

მიხეილ ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი

შრომების კრებული

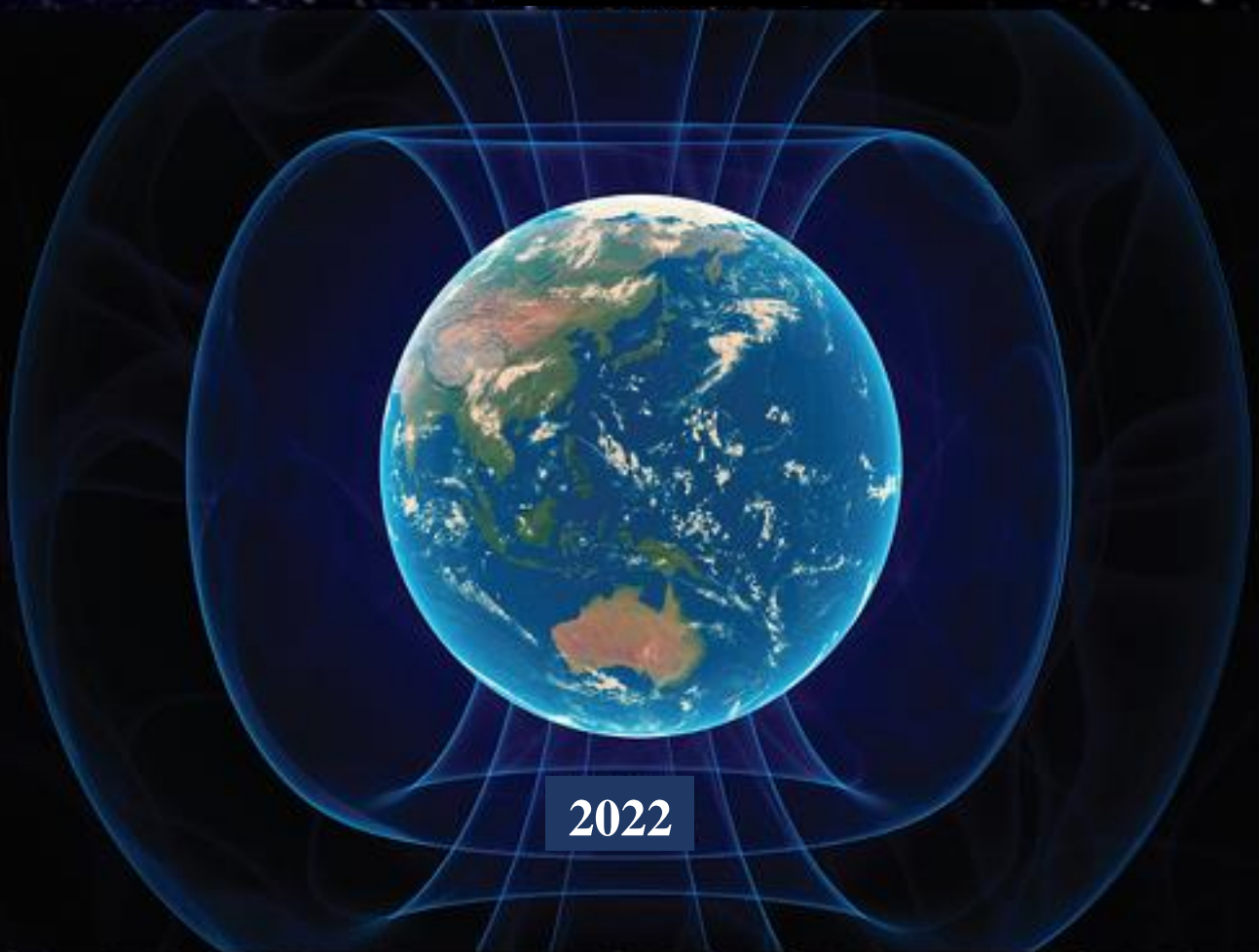
ИНСТИТУТ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА

СБОРНИК ТРУДОВ

MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS

TRANSACTIONS

LXXV



2022

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. И. ДЖАВАХИШВИЛИ
Институт геофизики им. М. З. Нодиа

შრომების კრებული

ტ. LXXV

TRANSACTIONS
vol. LXXV

СБОРНИК ТРУДОВ
т. LXXV



უნივერსიტეტის
გამომცემლობა

თბილისი - Tbilisi - Тбилиси
2022

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., კვინიკაძე მ., 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., ღლონტი 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), Kvinikadze M., 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., Гамкрелидзе 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), Квиникадзе М.С., 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, მოკლეინფორმაციები, 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>

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა

Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

დაიბეჭდა თსუ გამომცემლობის სტამბაში

Published by TSU Press

Напечатано в типографии ТГУ

0128 Tbilisi, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 1

14 Iliа Chavchavadze Avenue, Tbilisi 0128

0128 Тбилиси, просп. И.Чавчавадзе, 14

Tel 995 (32) 225 14 32

<http://www.press.tsu.edu.ge/>

ISSN 1512-1135

მეწინავე ტალღის საწყისი წერტილის განსაზღვრა

კიტოვანი დ.

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

Kitovani 56 @ mail.ru

კრისტალური ფუნდამენტის შესწავლა სეისმოძიების ერთდერთი ძირითადი ამოცანაა, ვინაიდან კრისტალურ ფუნდამენტთანაა დაკავშირებული ნავთობის, გაზის და მეტალური საბადოების არსებობა. ფუნდამენტის კვლევისას გამოიყენება სეისმოძიების სხვადასხვა მეთოდები: არეკვლილ ტალღათა მეთოდი (ატმ), საერთო სიღრმული წერტილის მეთოდი (სსწმ), გარდატეხილ ტალღათა მეთოდი (გტმ), შენაცვლებით ტალღათა მეთოდი (შტმ), ღრმა სეისმურიზონდირება (ღსზ). ამ მეთოდთაგან ყველაზე ზუსტი და დეტალურია ატმ და სსწმ. მათი საშუალებით კარგად ისაზღვრება ამრეკლი ზედაპირის ჩაწოლის სიღრმე და მისი გეომეტრია, მაგრამ რადგან საქმე გვაქვს არეკვლილ ტალღებთან, ვერ ხერხდება ტალღების შეღწევა თავად ფუნდამენტში და შესაბამისად მისი სიჩქარული მახასიათებლების დადგენა, რაც შეუძლებელს ხდის ფუნდამენტის ლითოლოგიის განსაზღვრას. შტმ-ის დროსაც შეისწავლება მხოლოდ გამყოფი ზედაპირის მდებარეობა და მისი რელიეფი, გარემოს მახასიათებლები არ ისაზღვრება. ღსზ იძლევა საშუალებას წარმოდგენა ვიქონიოთ კრისტალურ ფუნდამენტში ტალღების გავრცელების სიჩქარეზე, მაგრამ გამოყენებული ტალღების დაბალი სიხშირის გამო (მაღალი სიხშირის ტალღები უბრალოდ ჩაიხშობა) დეტალობა და სიზუსტე არაა დამაკმაყოფილებელია.

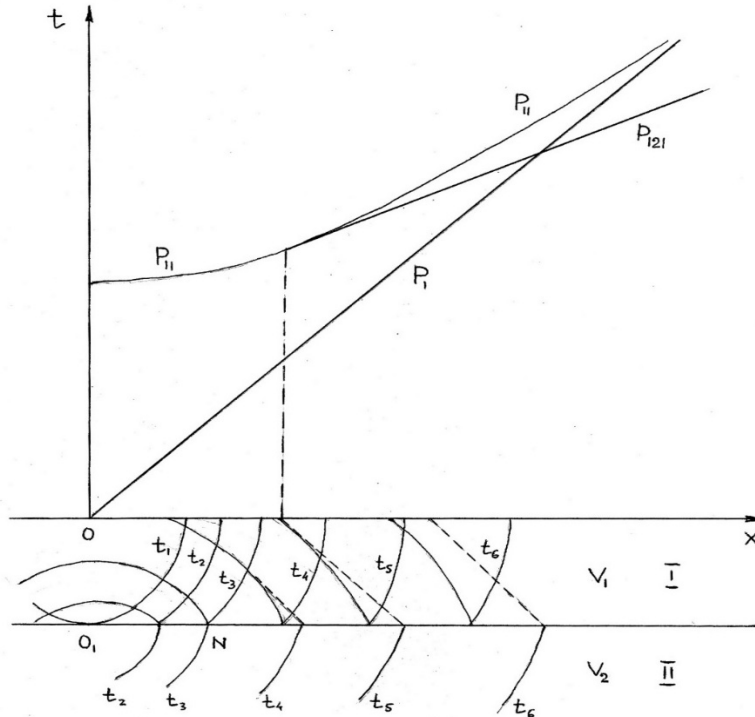
მეთოდი, რომელიც უზრუნველყოფს არა მარტო ფუნდამენტის ჩაწოლის სიღრმისა და გეომეტრიის, არამედ მასში დრეკადი ტალღების გავრცელების სიჩქარეების დადგენას, არის გტმ. ტალღას, რომელიც ამ ყველაფრის საშუალებას იძლევა, მეწინავე ტალღა ეწოდება.

თავისი არსებობის მანძილზე (დაწყებული 1920 წლიდან), გარდატეხილი ტალღების მეთოდმა მნიშვნელოვანი ევოლუცია განიცადა. თავიდან ეს მეთოდი ითვალისწინებდა მხოლოდ ტალღების პირველ შემოსვლებს. ამ პერიოდს ეკუთვნის გარდატეხილ ტალღებზე პირველი წარმოდგენების ფორმირება. იქნა დამუშავებული მეწინავე ტალღების ჰოდოგრაფების თეორია (ლ. მინტროპი, ა.ი. ზაბოროვსკი, გ.ა გამბურცევი და სხვ). ეს წარმოდგენები ემყარებოდა შემდეგ დებულებებს: 1. ტალღა ეცემა გამყოფ ზედაპირს ზღვრული კუთხით და სრიალებს მის გასწვრივ. 2. მეწინავე ტალღა წარმოიშობა იმ შემთხვევაში, თუ ქვედა ფენაში ტალღის გავრცელების სიჩქარე მეტია ზედა ფენასთან შედარებით.

გარდატეხილ ტალღათა კორელაციურ მეთოდზე (გტკმ, ანუ ვითვალისწინებთ არა მარტო პირველ, არამედ შემდეგ შემოსვლებსაც) გადასვლამ მოითხოვა გარდატეხილი ტალღების ფიზიკის უფრო ღრმა ანალიზი. პირველი წარმოდგენები მეწინავე ტალღების წარმოშობაზე ემყარებოდა ანალოგიებს ფიზიკის სხვა დარგებიდან (ბალისტიკური ტალღები, ვავილოვდჩერენკოვის გამოსხივება ოპტიკაში).

ექსპერიმენტული მონაცემების დაგროვებასთან ერთად, სულ უფრო ცხადი ხდებოდა, რომ სეისმურ ტალღებს გააჩნიათ ისეთი თავისებურებები, რომლებიც ვერ აიხსნებოდა ზემოთხსენებული ანალოგიებით ფიზიკის სხვა განხრებიდან. პირველ რიგში გასარკვევია ტალღის ტიპი: თუ ქვედა ფენაში სეისმური ტალღის გავრცელების სიჩქარე სიღრმესთან ერთად არ იცვლება

ბა, მაშინ საქმე გვაქვს მეწინავე ტალღასთან, ხოლო თუ სიჩქარე მატულობს, მაშინ ტალღა რეფრაგირებულია და მის შესაბამის ჰოდოგრაფში უნდა შევიტანოთ შესწორება რეფრაქციაზე. სიღრმული სეისმური ჭრილის აგების სიზუსტისათვის აგრეთვე დიდი მნიშვნელობა აქვს ტალღების მახასიათებლების განსაზღვრას მეწინავე ტალღის საწყისი წერტილის მიდამოებში და თვით ამ საწყისი წერტილის დადგენას.

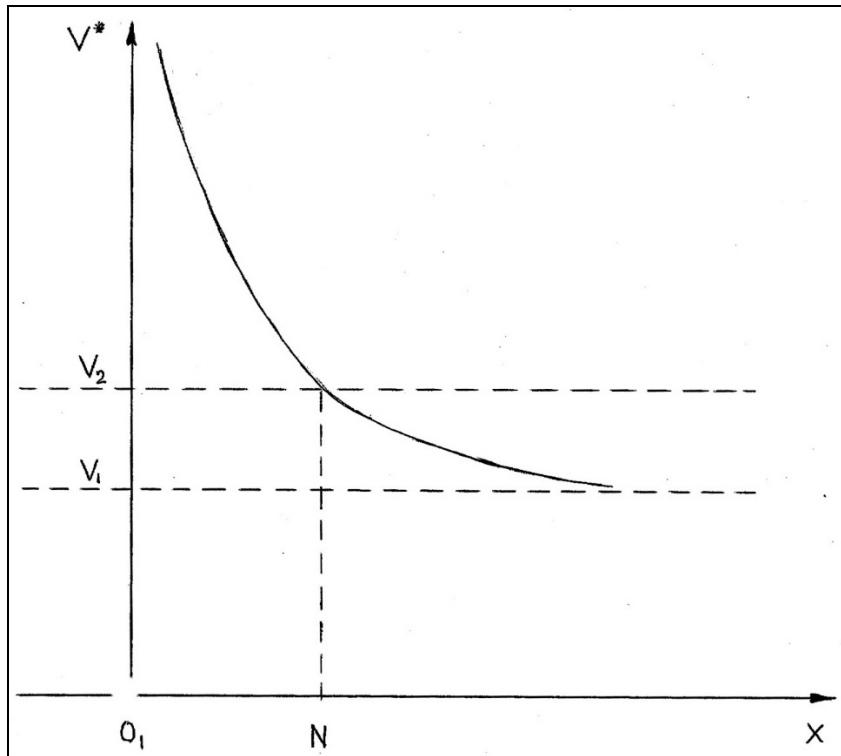


ნახ.1

განვიხილოთ შემთხვევა: ვთქვათ გვაქვს ორფენიანი გარემო და მათში სეისმური ტალღების გავრცელების სიჩქარეებია შესაბამისად V_1 და V_2 . ჩავთვალოთ $V_2 > V_1$ (წინააღმდეგ შემთხვევაში მეწინავე ტალღა დღიურ ზედაპირზე არ დაიმზირება). ჩავთვალოთ ასევე, რომ I და II გარემოს ტალღური წინაღობები განსხვავებულია $\rho_1 V_1 \neq \rho_2 V_2$

ვთქვათ დროის $t=0$ მომენტში დედამიწის ზედაპირის O წერტილში მოხდა აფეთქება. ყველა მიმართულებით V_1 სიჩქარით გავრცელდება ტალღა, რომელსაც პირდაპირი (P_1) ეწოდება. მისი ჰოდოგრაფი იწყება O წერტილში და სწორ ხაზს წარმოადგენს, რადგან ამ ტალღის მოჩვენებითი სიჩქარე მუდმივია და უდრის V_1 -ს. ეს ტალღა ვრცელდება მხოლოდ დამფარავ ფენაში და არანაირ ინფორმაციას არ შეიცავს ქვედა ფენების შესახებ. t_1 მომენტში ეს ტალღა მიაღწევს ფენების გამყოფ ზედაპირს O_1 წერტილში და მოხდება ამ ტალღის არეკვლა და გარდატეხა, რის შედეგადაც წარმოიშობა ორი მეორადი ტალღა – არეკვლილი (P_{11}) და გამავალი (P_{12}). პირველი მათგანი ვრცელდება I გარემოში V_1 სიჩქარით. ამ ტალღის ფრონტი დღიურ ზედაპირს ეცემა ცვალებადი კუთხით, ამიტომ მისი მოჩვენებითი სიჩქარე თავიდან უსასრულოა, ხოლო შემდეგ უახლოვდება V_1 . შესაბამისად არეკვლილი ტალღის ჰოდოგრაფი მრუდწირულია. გამავალი ტალღის ფრონტი სრიალებს ფენათა გამყოფ საზღვარზე და რაღაც N წერტილში შესრულდება პირობა

$$\sin i = V_1/V_2$$



ნახ.2

გამავალი ტალღა იწვევს ფენათა გამყოფი ზედაპირის შემადგენელი ნაწილაკების შემფოთებას, რის შედეგადაც წარმოიშობა ტალღა P_{121} , რომელსაც მეწინავე ეწოდება.. ზემოთ მოყვანილ ფორმულაში i არის კრიტიკული კუთხე, ხოლო N მეწინავე ტალღის საწყისი წერტილი. მეწინავე ტალღის ფრონტი ბრტყელია, იგი მუდმივი კუთხით ეცემა დღიურ ზედაპირს, ამიტომ მისი ჰოდოგრაფი სწორი ხაზია. სეისმომეტრიაში ეს მეტად მნიშვნელოვანი ტალღაა, რადგან მას მოაქვს ინფორმაცია II ფენის შესახებ (მისი რეალური სიჩქარე V_1 -ის ტოლია, რადგან იგი ვრცელდება I გარემოში, ხოლო მოჩვენებითი სიჩქარე უდრის V_2 -ს). შეგახსენებთ, მოჩვენებითი სიჩქარე განისაზღვრება ფორმულით

$$V^* = V / \sin \alpha$$

სადაც V არის ტალღის რეალური სიჩქარე მოცემულ გარემოში. α -ს ეწოდება დაცემის კუთხე (კუთხე ტალღის ფრონტსა და დღიურ ზედაპირს შორის). ზემოთ მოყვანილ თანაფარდობას ბენდორფის კანონი ეწოდება. თუ $\alpha = 90^\circ$ (ტალღის ფრონტი ზედაპირის პერპენდიკულარულია) მაშინ $V^* = V$, ხოლო თუ $\alpha = 0$ (ტალღის ფრონტი ზედაპირის პარალელურია) მაშინ $V^* = \infty$.

რაც შეეხება მეწინავე ტალღის საწყისი N წერტილის პოვნას, ეს საკითხი სამწუხაროდ არასათანადოდაა გაშუქებული სეისმომეტრიის სახელმძღვანელოთა უმეტესობაში. ვეცდები მეტი სიცხადე შევიტანო მასში.

ვნახოთ, თუ როგორ წარმოიშობა მეწინავე ტალღა და სად მდებარეობს მისი საწყისი წერტილი. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, როცა P_1 ტალღა ეცემა ფენათა გამყოფ ზედაპირს, წარმოიქმნება გამავალი ტალღა P_{12} მისი მოჩვენებითი სიჩქარე V^*_1 ემთხვევა პირდაპირი ტალღის მოჩვენებით სიჩქარეს V^*_1 , ტალღების გარდატეხის კანონის თანახმად. ეს უკანასკნელი, როგორც ჩანს ნახ. 2-დან მონოტონურად მცირდება, იმის მიხედვით რაც ტალღა შორდება აფეთქების წერტილის O_1 პროექციას ფენების გამყოფ ზედაპირზე (პირდაპირი ტალღის მოჩვენებითი სიჩქარე მცირდება ფენების გამყოფ ზედაპირზე, ხოლო მისი მოჩვენებითი სიჩქარე დღიური ზედაპირის მიმართ მუდმივია). მოკლედ V^*_1 მცირდება და მისიწრაფის მისი ზღვრული

მნიშვნელობისაკენ $V^*_1=V_1$. გამავალი ტალღის მოჩვენებითი სიჩარე V^*_2 გამყოფი ზედაპირის გასწვრივ ვერ იქნება ნაკლები მის რეალურ V_{12} სიჩქარეზე. მეორეს მხრივ N წერტილში, რომელიც აკმაყოფილებს პირობას $O_1N = \text{htg } i$ სადაც h გამყოფი ზედაპირის ჩაწოლის სიღრმეა, $V^*_1 = V_{12}$. N წერტილიდან ტალღის შემდგომი დაშორებისას $V^*_1 < V_{12}$. ამის გამო N წერტილში გამავალი ტალღის ფრონტი მოწყდება მისი აღმდგომელი პირდაპირი ტალღის ფრონტს და იწყებს გავრცელებას დამოუკიდებლად. ამის შედეგად I ფენაში წარმოიშობა P_{121} ტალღა, რომლის ფრონტი კონუსურია. მისი დაცემის კუთხე დღიურ ზედაპირთან მუდმივია (ამიტომ მისი ჰოდოგრაფი სწორხაზოვანია). ამ ტალღას მეწინავე ეწოდება და იგი შეიცავს ინფორმაციას ქვედა ჰორიზონტის შესახებ. ვინაიდან იგი ვრცელდება გამყოფი ხაზის გასწვრივ, მის სიჩქარეს საზღვრითი სიჩქარე ქვია, ხოლო N წერტილს, საიდანაც იწყება ტალღის საწყისი სხივი, მეწინავე ტალღის საწყის წერტილს უწოდებენ.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Гамбурцев Г.А. Основы сейсморазведки. Гостоптехиздат. Москва, 1959.
2. Гурвич И.И. Сейсморазведка. Изд. Недра. Москва, 1975.
3. Гурвич И.И., Боганик Г.Н. Сейсмическая разведка. Изд. Недра. Москва, 1980.

მეწინავე ტალღის საწყისი წერტილის განსაზღვრა

კიტოვანი დ.

რეზიუმე

სტატიაში ლაპარაკია მეწინავე ტალღის საწყისი წერტილის განსაზღვრის შესახებ.

საკვანძო სიტყვები: სეისმოძიება, მეწინავე ტალღა, საწყისი წერტილი.

DETERMINING THE STARTING POINT OF THE LEADING WAVE

Kitovani D.

Abstract

This article is talking about the starting point of leader wave.

Key words: seismic exploration, leader wave, starting point.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ТОЧКИ ГОЛОВНОЙ ВОЛНЫ

Китовани Д. Ш.

Реферат

В статье говорится о нахождении начальной точки головной волны.

Ключевые слова: сейсморазведка, головная волна, начальная точка.

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის II კორპუსში
 გეოფიზიკის კათედრის გრავიმეტრიულ ლაბორატორიაში ჩატარებული
 დახრისმზომითი დაკვირვების შედეგები

¹ქირია ჯ., ¹ცაგურია თ., ²საყვარელიძე ე., ¹დოვგალი ნ.,
¹დავითაშვილი ლ., ¹ქუთელია გ.

¹ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
 მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

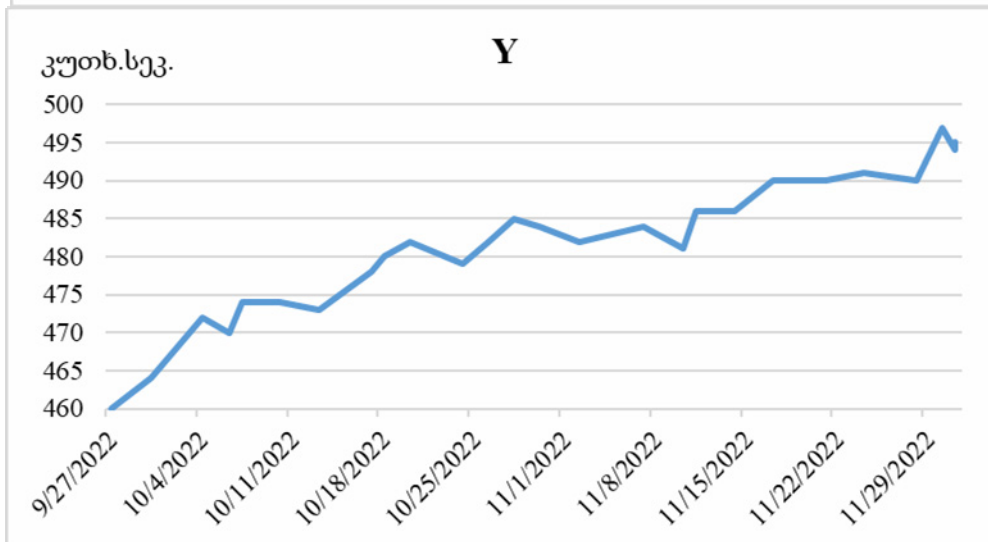
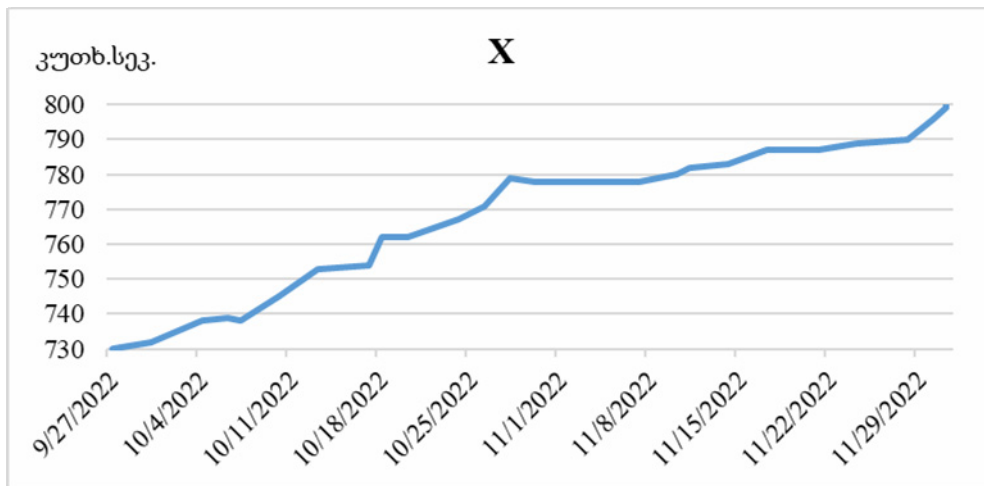
²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის კორპუსში ყოფილ ფიზიკის ფაკულტეტის გეოფიზიკის კათედრის გრავიმეტრიულ ლაბორატორიაში მდებარეობს საყრდენი გრავიმეტრიული ბეტონის პოსტამენტი. ეს პუნქტი შეიქმნა 1933 წელს, როცა უნივერსიტეტში ჩამოყალიბდა გეოფიზიკის კათედრა და გრავიმეტრიული ლაბორატორია [1]. ამიტომ საინტერესო იყო გამოგვეკვლია ამ პუნქტის მდგრადობის საკითხი თითქმის 90 წლის გასვლის შემდეგ. მით უმეტეს, რომ ამჟამად ეს პუნქტი წარმოადგენს კავკასიის ტერიტორიისათვის საყრდენ გრავიმეტრიულ პუნქტს, რომელიც გამოსავალ პუნქტადაა მიღებული ყველა გრავიმეტრიული გაზომვებისა და სამუშაოებისათვის. ამ პუნქტის მდგრადობის შესასწავლად ჩვენს მიერ გამოყენებულ იქნა მაღალი სიზუსტის ამერიკული წარმოების დახრისმზომი, რომლის მგრძნობიარობა 0,2 კუთხური წამია. სიცხადისათვის ავლნიშნავთ, რომ თუ პოსტამენტზე დაყენებული ხელსაწყო დაიხარა 1 კუთხ. სეკუნდით, ეს ნიშნავს, რომ 1 მ ბაზისა მქონე პოსტამენტის კიდე დაიხარა 0,005 მმ ანუ 5 მიკრონით. ხელსაწყო ზომავს პოსტამენტის დახრას ორი ურთიერთმართობული X და Y მიმართულებით (ხელსაწყო ორ კოორდინატია). პოსტამენტზე ის დგას გეოგრაფიული მდებარეობით ანუ: X ზომავს (ჩ -ს) მიმართულებით და Y (ა-დ) მიმართულებით.

ცხრილი 1

Date	X	mV	კუთ.სეკ.	Y	mV	კუთ.სეკ.
9/27/2022	7.3	7300	730	4.6	4600	460
9/30/2022	7.32	7320	732	4.64	4640	464
10/4/2022	7.38	7380	738	4.72	4720	472
10/6/2022	7.39	7390	739	4.7	4700	470
10/7/2022	7.38	7380	738	4.74	4740	474
10/10/2022	7.45	7450	745	4.74	4740	474
10/13/2022	7.53	7530	753	4.73	4730	473
10/17/2022	7.54	7540	754	4.78	4780	478
10/18/2022	7.62	7620	762	4.8	4800	480

10/20/2022	7.62	7620	762	4.82	4820	482
10/24/2022	7.67	7670	767	4.79	4790	479
10/26/2022	7.71	7710	771	4.82	4820	482
10/28/2022	7.79	7790	779	4.85	4850	485
10/30/2022	7.78	7780	778	4.84	4840	484
11/2/2022	7.78	7780	778	4.82	4820	482
11/7/2022	7.78	7780	778	4.84	4840	484
11/10/2022	7.8	7800	780	4.81	4810	481
11/11/2022	7.82	7820	782	4.86	4860	486
11/14/2022	7.83	7830	783	4.86	4860	486
11/17/2022	7.87	7870	787	4.9	4900	490
11/21/2022	7.87	7870	787	4.9	4900	490
11/24/2022	7.89	7890	789	4.91	4910	491
11/28/2022	7.9	7900	790	4.9	4900	490
11/30/2022	7.96	7960	796	4.97	4970	497
12/1/2022	7.99	7990	799	4.94	4940	494
12/1/2022	8	8000	800	4.95	4950	495



ნახ. 1

დაკვირვების შედეგად მიღებული მონაცემები მოყვანილია ცხრილ 1-ში. განვიხილოთ დაკვირვებით მიღებული შედეგები. ხელსაწყო დაყენებულ იქნა 2022 წლის 19 სექტემბერს. ხელსაწყო რეჟიმში შესვლას დასჭირდა 1 კვირა. ანუ ანათვლების აღება დავიწყეთ 27 რიცხვიდან. როგორც ნახ. 1 ჩანს X (ჩ-ს) მდგენელის დახრა ხდება ჩრდილოეთ მიმართულებით და რიცხობრივად ის 70 კუთხ. წმ ტოლია. Y (დ -ა) მდგენელი იხრება აღმოსავლეთით, მისი რიცხვითი მნიშვნელობა 35 კუთხ. წამს არ აღემატება. რეზულტირებული მდგენელის (ჩ -ა) რიცხვითი მნიშვნელობა დაახლოებით 78 კუთხ. წამია.

ჩვენ შეგვიძლია პოსტამენტის ზედაპირის კუთხური დახრა გადავიყვანოთ გადაადგილებაში. ვიყენებთ გადამყვან ფორმულას: $S=2L \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$ სადაც L არის ხელსაწყოთა ბაზა, რომელიც 20 სმ-ია, ხოლო α არის კუთხე რადიანებში. რადგან დახრის კუთხე სეკუნდებშია, ამიტომ $\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2}$ და ფორმულა მიიღებს სახეს: $S=2L \cdot \frac{\alpha}{2} = L \cdot \alpha$. გამოვთვალოთ X მიმართულებით: $S_x = L \cdot \alpha_x = 20 \text{ სმ} \cdot 70''/0,21 \approx 0,067 \text{ მმ}$; $S_y = L \cdot \alpha_y = 20 \text{ სმ} \cdot 35''/0,21 \approx 0,033 \text{ მმ}$

როგორც ვხედავთ, სამი თვის დაკვირვების მონაცემებმა გვიჩვენა, რომ პოსტამენტი განიცდის მცირე დეფორმაციას, თუმცა დეფორმაცია მაინც გვაქვს. ამიტომ სასურველია ვიცოდეთ რა დეფორმაცია გვექნება 1 წლის ან 2 წლის შემდეგ და, საერთოდ, ეს პოსტამენტი ძალიან მნიშვნელოვანია, ამიტომ სასურველია მასზე გეოფიზიკური დაკვირვება მუდმივ რეჟიმში ვაწარმოოთ.

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 დახრისმზომითი დაკვირვებების შედეგები. მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXVII, 2017 გვ. 96-104.

**თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის II კორპუსში
გეოფიზიკის კათედრის გრავიმეტრიულ ლაბორატორიაში
ჩატარებული დახრისმზომითი დაკვირვების შედეგები**

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

რეზიუმე

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის II კორპუსში გრავიმეტრიულ ლაბორატორიაში მდებარეობს საყრდენი გრავიმეტრიული ბეტონის პოსტამენტი. ეს პუნქტი წარმოადგენს კავკასიის ტერიტორიისათვის საყრდენ გრავიმეტრიულ პუნქტს, რომელიც გამოსავალ

პუნქტადაა მიღებული ყველა გრავიმეტრიული გაზომვებისა და სამუშაოებისათვის. ამ პუნქტის მდგრადობის შესასწავლად ჩვენს მიერ გამოყენებული იქნა მაღალი სიზუსტის ამერიკული წარმოების დახრისმზომი. ნაშრომში განხილულია მიღებული შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: გრავიმეტრია, დახრისმზომი.

THE RESULTS OF INCLINOMETRIC OBSERVATIONS CONDUCTED IN II BUILDING OF TBILISI STATE UNIVERSITY, IN THE GRAVIMETRIC LABORATORY OF THE DEPARTMENT OF GEOPHYSICS

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

Abstract

The gravimetric concrete pedestal is located in the gravimetric laboratory in the II building of Tbilisi State University. This point is the reference gravimetric point for the Caucasus region, which is taken as the starting point for all gravimetric measurements and work. To study the stability of this point, we used a high-precision American-made inclinometer. The results obtained are discussed in the article.

Key words: gravimetry, inclinometer.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАКЛОНОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ ВО II КОРПУСЕ ТБИЛИССКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА, В ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ КАФЕДРЫ ГЕОФИЗИКИ

Кирия Дж. К., Цагурия Т. А., Сакварелидзе Э. А., Довгали Н. Д., Давиташвили Л., Кутелия Г. А.

Реферат

Гравиметрический бетонный постамент находится в гравиметрической лаборатории во II корпусе Тбилисского государственного университета. Эта точка является реперной гравиметрической точкой для Кавказского региона, которая принимается за исходную точку для всех гравиметрических измерений и работ. Для исследования стабильности этой точки мы использовали высокоточный инклинометр американского производства. Полученные результаты обсуждаются в статье.

Ключевые слова: гравиметрия, инклинометр.

აქტიური სეისმოდამცავი სისტემები უძველეს ქვის შენობებში

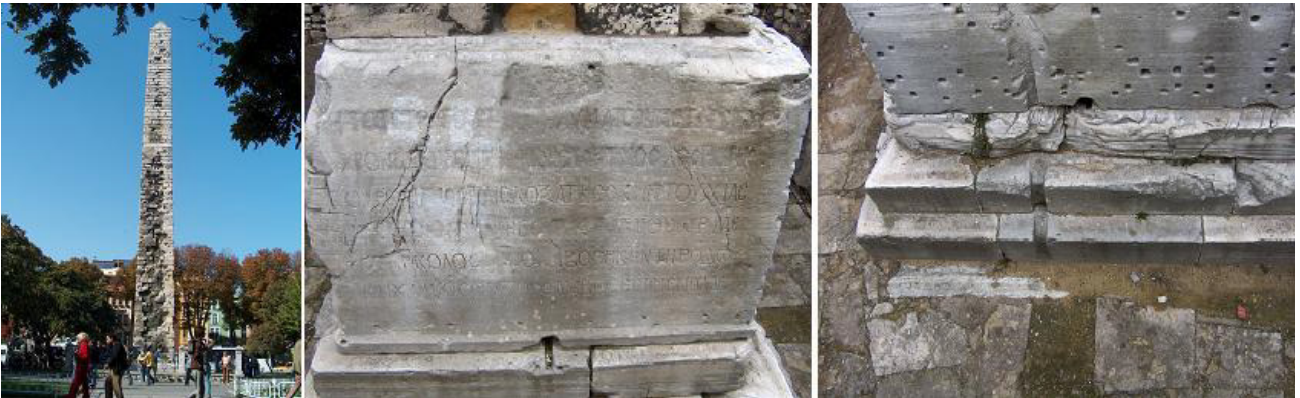
წაქაძე ა., ჭანტურია მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო მშენებლობის დეპარტამენტი

tsakadzea@gmail.com m.chanturia@gtu.ge

შესავალი. სეისმომდეგობა - შენობა-ნაგებობის მახასიათებელი, რომელიც აღწერს მათ მდგრადობას მიწისძვრის მიმართ დასაშვები რისკის ფარგლებში. ის წარმოადგენს მნიშვნელოვან პარამეტრს სეისმომდეგ მშენებლობაში.

ცნება სეისმომდეგობა თავდაპირველად ასოცირდებოდა საკმაოდ მტკიცე ნაშენთან, რომელსაც შეეძლო გაეძლო მიწისძვრის ზემოქმედებისთვის ადამიანთა მსხვერპლის და სრული ნგრევის გარეშე. დღემდე შემორჩენილ უძველეს ნაგებობებში აღმოჩენილია ისეთი ანტისეისმური საინჟინრო გადაწყვეტები, რომელიც დღესაც შეიძლება გამოყენებულ იქნას ქვის შენობა-ნაგებობებში. მეცხრამეტე საუკუნის ბოლოს სამშენებლო სივრცეში შემოდის ახალი სამშენებლო მასალები რკინაბეტონი და ლითონი, რომელმაც თითქმის მთლიანად ჩაანაცვლა ქვა, როგორც სამშენებლო მასალა. თუმცა ის სეისმოდამცავი ღონისძიებები, რასაც ჩვენი წინაპრები იყენებდნენ ქვის შენობების მშენებლობისას, შეიძლება გამოვიყენოთ თანამედროვე შენობა-ნაგებობებში, რითაც გავზრდით მათ საიმედოობას და უსაფრთხოებას. ჩვენი მიზანია გამოვიკვლიოთ ამ უძველესი ნაგებობების საძირკვლის სისტემები, რომლებშიც გამოყენებულია აქტიური სეისმოდამცავი საშუალებები სეისმური ტალღების ჩასახშობად. სურათ 1-ზე მოყვანილია ორმეტამ ობელისკი, რომელიც მდებარეობს ქ. სტამბოლში სულთან აჰმედის მოედანზე.



სურათი 1. ორმეტამ ობელისკი ორთოსტატის ქვებით, ჩვენი წელთა აღრიცხვით III ს.

ძირითადი ნაწილი. სეისმური ზემოქმედებისგან შენობების და ნაგებობების დაცვის ამოცანა ადამიანთა წინაშე დადგა კაცობრიობის ისტორიაში პირველი მიწისძვრის დროიდან და თავისი აქტუალობა დღემდე არ დაუკარგავს. მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარებასთან ერ-

თად, კვლევები ამ მიმართულებით განსაკუთრებით აქტუალურია. მთელს მსოფლიოში შეინიშნება მაღლივი შენობებისა და ცათამბჯენების პროექტირებისა და მშენებლობის „-““. მაღლივი შენობების დაპროექტება სხვადასხვა სეისმური ბალიანობის რეგიონისთვის განსხვავებული და ინდივიდუალურია. აქ შესაძლოა სეისმოდაცვისთვის გამოყენებულ იქნას ის პრინციპები, რასაც საუკუნეების წინ იყენებდნენ ჩვენი წინაპრები. ამ სტატიაში მაგალითად და გამოსაკვლევად მოყვანილ შენობებში მიწისძვრისგან დაცვის მთავარ კონცეფციას წარმოადგენს სეისმური ტალღების ჩამხშობების მოწყობა შენობის მიწისქვეშა ნაწილში - საძირკველში ისე, რომ შენობა-ნაგებობის მიწისზედა ნაწილი, ანუ ნაშენი არ განიცდის მნიშვნელოვან სეისმურ ზემოქმედებას. ამიტომაც გაუძღეს მათ საუკუნეებს; მათი საინჟინრო გადაწყვეტა კი დღესაც აოცებთ ინჟინრებს [1, 2].

რადგანაც სეისმური ზემოქმედება შენობას გადაეცემა მისი მიწისქვეშა ნაწილიდან - საძირკვიდან, შენობის მიწისზედა ნაწილის იზოლაცია მისი მიწისქვეშა ნაწილისგან წარმოადგენს კარკასზე სეისმური ზემოქმედების შემცირების ყველაზე ბუნებრივ მეთოდს. სეისმოდაცვის ასეთ მეთოდს ეწოდება სეისმოზოლაცია. მისი გამოყენება სისტემის რხევის ამპლიტუდის შემცირების შესაძლებლობას იძლევა და ამცირებს შენობის მიწისზედა ნაწილის კონსტრუქციებში ინერციულ ძალებს. სეისმოზოლაცია - ეს არის ისეთი სეისმოდამცავი სისტემა, რომელიც შენობის მიწისზედა ნაწილს გამოყოფს მიწისქვეშა ნაწილისაგან. ამ ძველი შენობების გამოკვლევა ცხადყოფს, რომ ეს კონცეფცია არ არის ახალი. მისი გამოყენება უძველესი დროიდან მოდის. სეისმურად მდგრად შენობებში გამოყენებული იყო სეისმოზოლაციის რამდენიმე მეთოდი, როგორცაა, მშენებლობა მრავალშრიან თლილ ქვებზე, ხის ნაჭრების დაყენება ან ქვიშის ბალიშების მოწყობა საძირკველსა და კედლებს შორის და სხვა. ზოგადად, როდესაც თანამედროვე უახლეს ტექნოლოგიას ვიყენებთ შესაძლოა ვგულისხმობდეთ, რომ ეს არის ახალი კონცეფცია, მაგრამ თუ საფუძვლიან კვლევას ჩავატარებთ, ცხადი გახდება, რომ ტექნოლოგია შეიძლება ახალია, მაგრამ თვითონ იდეა და კონცეფცია უძველესი დროიდან მოდის. საძირკვლის სისტემებზე სეისმოზოლაციის მოწყობა მნიშვნელოვანი გადაწყვეტაა ისტორიული ქვის შენობების ხანგამძლეობის უზრუნველსაყოფად [1].

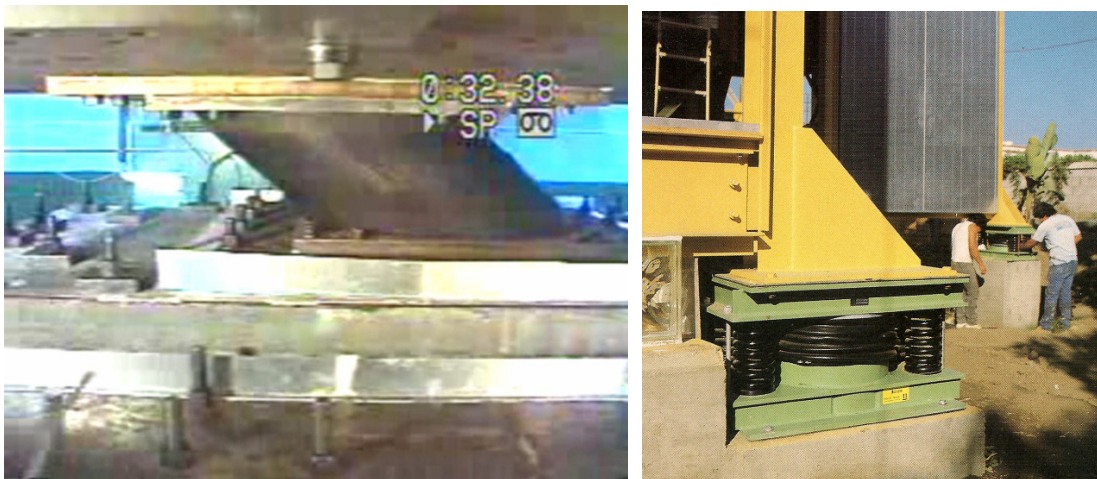
სამ ფენიანი ქვის სისტემა. სხვადასხვა ქვეყნებში ვხვდებით ძველ შენობებს, რომელთა საძირკვლის მოწყობის გადაწყვეტა ძალიან ჰგავს ერთმანეთს ერთ-ერთი მათგანია ზემოთ მოყვანილი ორმეტაშის ობელისკი სტამბოლში (სურ.1). ის არის მშრალი ქვის წყობით აგებული 32 მეტრიანი ობელისკი. ის აღმართულია მარმარილოს ორთოსტატის ქვების სამ ფენაზე. *ორთოსტატი არის დიდი ქვა მეტ-ნაკლებად ფილის მსგავსი წაკვეთილი პირამიდის ფორმის, რომელიც ხელოვნურად არის დაყენებული თავდაყირა (ასე რომ, კუბის ფორმის ბლოკი არ არის ორთოსტატი.* მიწისძვრის ტალღების დიფრაქცია მიწისქვეშა ნაწილში, მათი დახრილი ან ვერტიკალური მიმართულებით დარტყმა მიწის ზედაპირზე ორთოსტატის ქვებთან, რთული მექანიზმია. ორთოსტატის ქვების ეს მექანიზმი ემსახურება ამ ტალღების ენერჯის შთანთქმას, რის გამოც მიწისძვრის ძალების ზემოქმედება კონსტრუქციის მიწისზედა ნაწილზე მნიშვნელოვნად მცირდება. სწორედ ამიტომ შეძლო ამ ობელისკმა 17 საუკუნის მანძილზე გაეძლო ისეთ მაღალ სეისმურად აქტიურ რეგიონში, როგორც სტამბოლია, რომელსაც ამ ხნის მანძილზე 80-ზე მეტი საშუალო და ძლიერი მიწისძვრა დაატყდა თავს [3].

მსოფლიოს სხვადასხვა ადგილებში შეიძლება ნახოთ სვეტოვანი კონსტრუქციები - კოლონადა, რომლებმაც ასევე გაუძღეს ჟამთა სვლას. ამის მიზეზის შეიძლება ვეძებოთ საძირკვლის სამფენოვან სისტემაში. ამის მსგავსი ნაგებობები მრავლადაა საბერძნეთში (სურ. 2).



სურათი 2. პართენონისა და ერეხთეონის სვეტები საბერძნეთში, რომლებიც ჯერ კიდევ დგას მრავალი საუკუნის შემდეგ.

საიჟინრო დარგის მეცნიერები კომპიუტერული ანალიზით ცდილობენ ამ სისტემის მუშაობის მექანიზმის ამოხსნას, მაგრამ დღესდღეობით ვერც ერთმა კომპიუტერულმა პროგრამამ ვერ შეძლო სრულად ასეთი ანალიზის გაკეთება და მიზეზის ახსნა. თუმცა ამ მექანიზმის დეტალურად განხილვის შემდეგ, სასრულ ელემენტთა მეთოდის გამოყენებით, შესაძლებელი ამ ამოცანოს ამოხსნა. ფაქტი ფაქტად რჩება, ამ კონსტრუქციებმა გაუძლეს საუკუნეებს და სულ მცირე 4 ათასწლეულის მანძილზე წარმოადგენდნენ მიწისძვრის ძალებისგან დაცვის საშუალებას. ეს მეთოდი - სეისმოიზოლაციის სისტემების გამოყენება, მივიწყებული იყო მრავალი წლის მანძილზე, თუმცა ის კვლავ დაინერგა თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენებით 25 წელზე მეტია. დღესდღეისობით მსოფლიოში არანაკლებ 10000-ზე მეტ შენობაშია გამოყენებული სეისმოიზოლაციის თანამედროვე სისტემები, თუმცა ეს რიცხვი მსოფლიოში აგებულ შენობების საერთო რაოდენობასთან შედარებით ძალზედ დაბალია. სურათ 3-ში მოყვანილია თანამედროვე სეისმოიზოლაციური მეთოდები, რომელთა მუშაობის პრინციპი ორთოსტატის მუშაობის პრინციპის თითქმის ანალოგიურია [1].



სურათი 3. თანამედროვე სეისმოიზოლაციური სისტემები

ჩვენ ვაგრძელებთ ამ მიმართულებით კვლევას. კვლევის შედეგებს მალე გავასაჯაროებთ შემდგომ ნაშრომებში.

დასკვნა.

ანალიტიკურმა გამოკვლევებმა აჩვენა, რომ წარსულში გამოყენებული რეზისტენტობის მეთოდი იყო ისეთი, რომ მიწისძვრის ძალების გავლენა ნაგებობაზე ძალიან იყო შემცირებული, ანუ სეისმოიზოლაციის კონცეფცია იყო ადაპტირებული ამ მექანიზმის მუშაობისათვის. ხოლო ამ მეთოდის ანალიტიკური გამოკვლევა მოგვცემს საშუალებას, შევთავაზოთ მშენებლებს უფრო ეფექტური სეისმოდაცვის საშუალებები.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. კახიანი ლ., ბალანჩივაძე ლ., ჭანტურია მ. სამშენებლო კონსტრუქციების სეისმომდეგობა. გამომც. „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, 2018, 102 გვ.
2. ჭანტურია მ., მამარდაშვილი გ. ანტისეისმური პასიური და აქტიური სისტემები. ლექციების კურსი. ელ.ვერსია. სტუ-ს ცენტრალური ბიბლიოთეკა, CD-6416, 2020, 240 გვ.
3. Bayraktar A. “Yığma Yapıların Mühendislik Tarihi Gelişimi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı” (“Improvement of Engineering Masonry Structures and Design of Earthquake Protective Structures in the Time Process of History”), Sismik Güçlendirme Merkezi (SGM), Istanbul, 2009, (in Turkish).

აქტიური სეისმოდაცვა სისტემები უძველეს ქვის შენობებში

წაქაძე ა., ჭანტურია მ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ისტორიული ნაგებობები, რომლებიც მდებარეობენ სეისმურად აქტიურ რეგიონებში და რომლებმაც გაუძლეს ჟამთასვლას. ისინი წარმოადგენენ იმის მაგალითს, თუ როგორ შეიძლება დაპროექტდეს და აიგოს რთული გეგმარების ან ზემალაღი შენობები სეისმო-აქტიურ რეგიონებში რისკის გარეშე. აქ მიშვნელოვანია შენობის როგორც მიწისქვეშა, ისე მიწის-ზედა ნაწილის სწორი საინჟინრო გადაწყვეტა. ასეთ გადაწყვეტას შეიძლება წარმოადგენდეს ან სეისმოიზოლაციის, ან სეისმოჩამხშობი სისტემების - დემპფერების მოწყობა. აქტიურ სეისმო-ჩამხშობ სისტემებს იყენებდნენ უძველეს ნაგებობებშიც. ამ ტიპის სეისმოდაცვა საშუალებები ზრდიან შენობის უსაფრთხოებას და საიმედოობას.

საკვანძო სიტყვები: დემპფერი, სეისმოიზოლაცია, სეისმოჩამხშობი, სეისმომდეგობა, საიმედოობა, უსაფრთხოება.

ACTIVE SEISMIC PROTECTION SYSTEMS IN ANCIENT STONE BUILDINGS

Tsakadze A., Chanturia M.

Abstract

The article deals with historical buildings located in seismically active regions that have survived the passage of time. They are an example of how complex planning or high-rise buildings can be designed and built in seismically active regions without risk. Here, it is important to have the right engineering solution for both the underground and above-ground parts of the building. Such a solution can be either seismic isolation or the arrangement of seismic suppression systems - dampers. Active seismic damping systems were also used in ancient buildings. This type of seismic protection increases the safety and reliability of the building.

Key words: Damper, seismic isolation, seismic suppression, seismic resistance, reliability, safety.

СИСТЕМЫ АКТИВНОЙ СЕЙСМОЗАЩИТЫ В ДРЕВНИХ КАМЕННЫХ ПОСТРОЙКАХ

Цакадзе А., Чантурия М.

Реферат

В статье рассматриваются исторические постройки, расположенные в сейсмоактивных регионах, пережившие течение времени. Они являются примером того, как сложные планировочные или высотные здания можно проектировать и строить в сейсмически активных регионах без риска. Здесь важно правильное инженерное решение как подземной, так и надземной частей здания. Таким решением может быть либо сейсмоизоляция, либо обустройство сейсмоподавляющих систем – демпферов. Системы активного сейсмического демпфирования также использовались в древних зданиях. Этот вид средств сейсмозащиты повышает безопасность и надежность здания.

Ключевые слова: Демпфер, сейсмоизоляция, сейсмогашение, сейсмостойкость, надежность, безопасность.

სეისმურად აქტიურ რაიონებში გამოყენებული მსუბუქი კონსტრუქციების დაპროექტების თავისებურებები

ვერულაშვილი ფ., გოგოლიძე თ., კელეპტრიშვილი თ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტის სამოქალაქო და სამრეწველო
მშენებლობის დეპარტამენტი

f.verulashvili@gtu.ge gogolidze07@gmail.com tornike.keleptrishvili@gtu.ge

შესავალი. ადამიანი უხსოვარი დროიდან ცდილობდა დაემორჩილებინა ბუნება და თანდათან იპყრობდა კიდეც დედამიწის სივრცეებს. სამშენებლო საქმიანობა ჯერ კიდეც პალეოლითისა და ნეოლითის ხანაში დაიწყო, როდესაც სამუშაო იარაღს ქვის ნაკეთობა წარმოადგენდა, - დროთა განმავლობაში ადამიანები განვითარდნენ და მეტი მოთხოვნილება გაუჩნდათ. საცხოვრებლის მოწყობა დამოკიდებული იყო სამშენებლო იარაღებზე, მასალებზე, იმ დროისათვის არსებულ სამშენებლო საშუალებებზე და კლიმატურ პირობებზე.

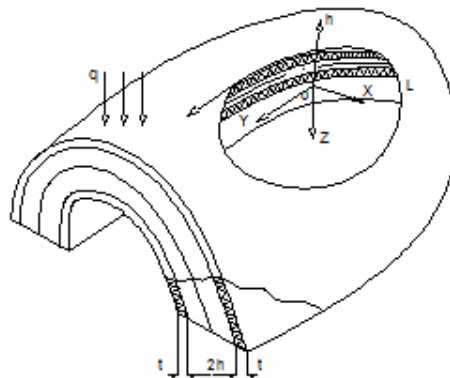
საცხოვრებელი ნაგებობის შექმნა, პირველ რიგში, დამოკიდებული იყო ადამიანის განვითარების დონეზე, ამიტომ იყო რომ საცხოვრებელი ადამიანებს ჯერ ხეებზე და ბუჩქებზე, შემდეგ გამოქვაბულებსა და მიწისქვეშა ორმოებში, ხოლო უფრო გვიან ხის ბოძებზე დადგმულ სახლებში ქონდათ.

გადიოდა დრო და ადამიანი წარმოუდგენელი სისწრაფით ვითარდებოდა, მისთვის გარდამტეხი პერიოდი მე-19 საუკუნის ბოლოდან დაიწყო, ამავე პერიოდში დაიწყო მიწისძვრის, როგორც ერთ-ერთი მრისხანე მოვლენის შესწავლა, დედამიწაზე ყოველწლიურად რამდენიმე ათეული ათასი მიწისძვრა ხდება, მათ შორის დაახლოებით ასი დამანგრეველი ძალისაა. სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით მიწისძვრისგან ყოველწლიურად იღუპება 14000 ადამიანი, საქართველოში ძლიერი მიწისძვრა მოხდა 1920 წელს რომელმაც დააზიანა ქალაქი გორი და მიმდებარე სოფლები, ბოლოს ძლიერი მიწისძვრა მოხდა 1991 წელს საჩხერე - რაჭის მიწისძვრა, სადაც დაინგრა ბევრი მცირე ზომის საცხოვრებელი სახლები.

მიწისძვრის წარმოქმნის თავიდან აცილება ადამიანებს დღეს არ შეუძლიათ, მისი პროგნოზირებაც ვერ ხერხდება, ამიტომ საჭიროა ვეცადოთ თავიდან ავიცილოთ ან შევამსუბუქოთ მისი შედეგები. აღნიშნულის გამო თემა მეტად აქტუალურია და მოითხოვს გაანგარიშების განსაკუთრებული მეთოდების შემუშავებას, მსუბუქი კონსტრუქციების განსაკუთრებულობათა გათვალისწინებით.

მიწისძვრებთან დაკავშირებული მოვლენები, სეისმური მოვლენებია, იგი გამოწვეულია დედამიწის ქერქის დეფორმაციით და ვულკანებით, მიწისძვრები წარმოიქმნება იმ რაიონებში, სადაც ტექტონიკური ბლოკების ინტენსიური ურთიერთმოძრაობა ხდება. ცნობილია, რომ მიწისძვრის ძალის ვერტიკალური მდგენელი პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია შენობის წონასთან. ამიტომ მსუბუქი კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში შეიძლება ჩაითვალოს ერთ-ერთ ანტისეისმურ ღონისძიებად.

ძირითადი ნაწილი. თანამედროვე მშენებლობაში გამოყენებული მსუბუქი კონსტრუქციები მზადდება ენერგოეფექტური სამშენებლო მასალებით, რაც ინვესტიციების დიდ დაზოგვასთან არის დაკავშირებული. მშენებლობაში გამოყენებული მსუბუქი კონსტრუქციებიდან ერთ-ერთი ყველაზე გამოყენებადი არის სენდვიჩ პანელი (სურ.1), რომელიც ძირითადად არის სამი ტიპის: სახურავის, კედლის და სამაცივრე პანელები [1].



სურათი 1. სამფენოვანი სენდვიჩპანელი

სენდვიჩ პანელი არის მოთუთიებულ ლითონის ფურცლებს შორის პოლიურეთანის ქაფით შევსებული სამშენებლო მასალა. იგი გამოირჩევა თბოიზოლაციით და მასალის მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობით, არის უნიკალური თვისებების მქონე სამშენებლო მასალა, მისი სტრუქტურიდან გამომდინარე ხასიათდება უსაფრთხოების მაღალი დონით, არის მსუბუქი მასალა, რაც განაპირობებს მისი ტრანსპორტირების, გადმოტვირთვის და მონტაჟის ღირებულების შემცირებას-სენდვიჩ პანელის გამოყენებით მშენებლობის პროცესი გაცილებით სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე ტრადიციული სამშენებლო მასალების მეშვეობით. მიჩნეულია, რომ თანამედროვე მშენებლობაში სენდვიჩ პანელი არის საუკეთესო სამშენებლო მასალა ნებისმიერი სირთულის ნაგებობისათვის (სურ.2).

სენდვიჩ პანელის უპირატესობებია:

- 1) ბგერათაიზოლაციის მაღალი კოეფიციენტი,
- 2) კონსტრუქციის სიმსუბუქე,
- 3) ცეხლგამძლეობა
- 4) ტვირთგამძლეობა,
- 5) კონსტრუქციის სიმარტივე
- 6) ნესტგამძლეობა,

7) კონსტრუქციის აგების მოქნილობა/სისწრაფე

8) თბოიზოლაცია.

9) მრავალჯერადი გამოყენების შესაძლებლობა

სენდვიჩ პანელი წარმოადგენს ტექნოლოგიურ მიღწევას სამშენებლო სფეროში, ექსპლუატაციის ხანგრძლივობით ის არ ჩამოუვარდება ტრადიციულ სამშენებლო მასალებს: როგორცაა-ხე, ქვა, ლითონი და რკინაბეტონი, თუმცა ჩამოთვლილი მასალებისაგან განსხვავებით არის გაცილებით მსუბუქი და იაფი. დღესდღეობით საქართველოში არის მოქმედი საწარმო მსუბუქი კონსტრუქციებისა, ეს არის საწარმო „პანექსინ, რომელიც ამზადებს და უშვებს მსუბუქ კონსტრუქციებს:

ესენია: 1) კედლის სენდვიჩ პანელი; 2) 5-კეხიანი სახურავის პანელი;

3) გოფირებული ლითონის ფურცლები [2];

5 და 3 კეხიანი სენდვიჩ პანელები გამოიყენება სახურავის მოწყობაში, იგი საუკეთესო მასალაა სხვადასხვა ტიპის სავაჭრო და კომერციული ნაგებობების გადახურვისათვის. რაც შეეხება კედლის პანელებს, მისი მოწყობა შეიძლება მოთხოვნების შესაბამისად, ამ პანელების გამოყენება განსაზღვრავს ახალი ტიპის-სადა, მარტივ და თანმიმდევრულ არქიტექტურას. რაც განსახვავებს მას ტრადიციული კონსტრუქციებისაგან. სისქის მიხედვით-სენდვიჩ პანელები არის-40მმ.-50მმ.-60მმ.-80მმ.-100მმ.-120მმ.-150მმ.-200მმ.

მსუბუქი კონსტრუქციები ეს არის თანამედროვე კონსტრუქციები, რომლებიც ძირითადად გამოიყენება ინდუსტრიული შენობების მშენებლობისათვის, ასევე შესაძლებელია მისი გამოყენება სამოქალაქო მშენებლობაში, განსაკუთრებით სეისმოაქტიურ რეგიონებში. ის ძირითადად გამოიყენება ისეთ სამოქალაქო შენობებში, როგორცაა ავტოფარეხები, გადახურვები, საცხოვრებელი კოტეჯები, საცხოვრებელი კონტეინერები და სხვა. მსუბუქ კონსტრუქციებს აქვთ მომავალში მშენებლობაში გამოყენების დიდი პერსპექტივა. ამის მაგალითია მომავლის „მინიქალაქის“ პროექტი (სურ.2).



სურათი 2. მომავლის „მინიქალაქი“. პროექტი (იაპონია).

მშენებლობაში გამოყენებული მსუბუქი კონსტრუქციებიდან ყველაზე მეტი აქტუალობით ხასიათდება ფოლადის მსუბუქი კონსტრუქციები. წარმოების პროცესი მთლიანად კომპიუ-

ტერიზირებულია,ზუსტად შეესაბამება არქიტექტურულ პროექტს და გამორიცხულია,თუნდაც მცირედი გადაცდომა ან უზუსტობა. ჩვენს ქვეყანაში ერთ-ერთი რეალიზებული პროექტი, არის ავეჯის სახლი "საბა", რომელიც მსუბუქი კონსტრუქციებით არის დაპროექტებული [1].

მსუბუქი კონსტრუქციები ეს არის თანამედროვე სამშენებლო მასალებისაგან დამზადებული კონსტრუქციები, რომელიც სულ უფრო მეტად პოპულარული ხდება თავისი ხელმისაწვდომობისა და კარგი მახასიათებლების გამო.

- 1) სიმყარის მიხედვით იგი არ ჩამოუვარდება სხვა სახის სამშენებლო მასალებს, როგორცაა ხე, ქვა და ლითონი-ამასთან ბევრად მსუბუქია, რაც შეეხება აგურს და ბეონს, მრავალი რიგი მახასიათებლების გამო იგი მნიშვნელოვნად უპირატესია-აგურისა და ბეტონის ბლოკებზე.
- 2) მშენებლობის სწრაფი ტემპი - მსუბუქი კონსტრუქციები საშუალებას გვამძლევს ნაკლები დროის დანახარჯებისა ფუნდამენტის შესაქმნელად, რადგან საჭირო არ არის მძიმე კონსტრუქციების შესაბამისი ფუნდამენტის მოწყობა. კონსტრუქციების მონტაჟისას არ გამოიყენება მძიმე სამშენებლო ტექნიკა, რაც ძალიან ხელსაყრელია ქალაქის პირობებში მშენებლობისას.
- 3) ცუდი ამინდი არ აფერხებს მშენებლობის პროცესს, შესაბამისად შენების სისწრაფე ერთნაირია ნებისმიერ კლიმატურ პირობებში -ე.ი. არ გააჩნია სეზონური შეზღუდვები მშენებლობისას,მისი ეს თვისება აახლოებს მას ხის კონსტრუქციებთან.
- 4) მსუბუქი მასალებისაგან დამზადებული თბოსაიზოლაციო საშუალებების გამოყენება მნიშვნელოვნად ამცირებს დანახარჯებს შენობის გათბობასა და გაგრილებაზე.მას აქვს დახვეწილი სტრუქტურა და ფერთა გამა-რაც ნაგებობას აძლევს ესთეტიკურ სახეს ,სწორედ ამ თვისებების გამო არ არის საჭირო მსუბუქი კონსტრუქციებისაგან განხორციელებული შენობა-ნაგებობების შიდა და გარე ფასადის მოპირკეთება.
- 5) მობილურობა-სატრანსპორტო დანახარჯების შემცირება-მსუბუქი ტრანსპორტირება, ეს ის უმთავრესი უპირატესობაა,რომელიც განასხვავებს მას სხვა მასალებისაგან. 1კვ. მ სენდვიჩ პანელის მიწოდებისათვის საჭიროა 40-ჯერ ნაკლები დანახარჯი ვიდრე აგურისა და რკინაბეტონისა.
- 6) არანაკლებ მნიშვნელოვანი ფაქტორია მსუბუქი კონსტრუქციების სეისმომდებლობა-კონსტრუქციის ერთიანობა განაპირობებს მის განსაკუთრებულ სიმყარესა და მედეგობას, ამიტომ ის მიჩნეულია როგორც კარგი სეისმომდებელი სამშენებლო მასალა.

მსუბუქი კონსტრუქციებისაგან განხორციელებული შენობანაგებობების ექსპლუატაციის ვადა აღემატება 40 წელს, მაგრამ აღსანიშნავია რომ ექსპლუატაციის ვადების გაზრდა შესაძლებელია ძალიან მარტივი ხერხებით, როგორცაა დაზიანებული ნაწილების ცალკეული ელემენტებით ცანაცვლება, ე.ი.ადგილობრივად დაზიანებული ნაწილის ახლით ჩანაცვლება.

დასკვნა.

არიგად კომპოზიტური კონსტრუქციები ხასიათდებიან მაღალი სიმტკიცითა და მდგრადობით, ამასთანავე გააჩნიათ მაღალი კუთრი სიმტკიცე. სამშენებლო კომპოზიტურ კონსტრუქციებს სხვა ტრადიციულ კონსტრუქციებთან შედარებით ახასიათებს სიმსუბუქე, რაც განაპირობებს მათი გამოყენების უპირატესობას სეისმურად აქტიურ რეგიონებში.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. ხმელიძე თ. ყიფიანი გ. ვერულაშვილი ფ. კომპოზიტური კონსტრუქციები მშენებლობაში. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2020, 327 გვ.
2. ხმელიძე თ. ხისა და პლასტმასის სამშენებლო კონსტრუქციები. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2008, 210 გვ.

სეისმურად აქტიურ რაიონებში გამოყენებული მსუბუქი კონსტრუქციების დაპროექტების თავისებურებები

ვერულაშვილი ფ., გოგოლიძე თ., კელეპტრიშვილი თ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია მიწისძვრებთან დაკავშირებული მოვლენები, სეისმური მოვლენებია, იგი გამოწვეულია დედამიწის ქერქის დეფორმაციით და ვულკანებით, მიწისძვრები წარმოიქმნება იმ რაიონებში, სადაც ტექტონიკური ბლოკების ინტენსიური ურთიერთმოძრაობა ხდება. ცნობილია, რომ მიწისძვრის ძალის ვერტიკალური მდგენელი პირდაპირპროპორციულ დამოკიდებულებაშია შენობის წონასთან. ამიტომ მსუბუქი კონსტრუქციების გამოყენება მშენებლობაში შეიძლება ჩაითვალოს ერთ-ერთ ანტისეისმურ ღონისძიებად. განხილულია სენდვიჩპანელები, როგორ ერთ-ერთი სამშენებლო მასალა და მოყვანილია მისი დადებითი თვისებები.

საკვანძო სიტყვები: სენდვიჩპანელი, სეისმომედეგობა, პოლიურეთანი

FEATURES OF THE DESIGN OF LIGHTWEIGHT STRUCTURES USED IN SEISMICALLY ACTIVE AREAS

Verulashvili F., Gogolidze T., Keleptrishvili T.

Abstract

The article deals with events associated with earthquakes, these are seismic events, they are caused by deformations of the earth's crust and volcanoes, earthquakes occur in areas where there is an intense mutual movement of tectonic blocks. It is known that the vertical force coefficient of an earthquake is directly proportional to the weight of the building. Therefore, the use of lightweight structures in construction can be considered as one of the anti-seismic measures. Sandwich panels are considered as one of the building materials and its positive properties are noted.

Key words: sandwich panels, seismic resistance, polyurethane.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕГКИХ КОНСТРУКЦИЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЙОНАХ

Верулашвили Ф., Гоголидзе Т., Келептришвили Т.

Реферат

В статье рассматриваются события, связанные с землетрясениями, это сейсмические события, они вызваны деформациями земной коры и вулканами, землетрясения происходят в районах, где происходит интенсивное взаимное движение тектонических блоков. Известно, что вертикальный коэффициент силы землетрясения прямо пропорционален весу здания. Поэтому использование легких конструкций в строительстве можно рассматривать как одну из антисейсмических мер. Рассмотрены сэндвич-панели как один из строительных материалов и отмечены его положительные свойства.

Ключевые слова: сэндвич-панели, сейсмостойкость, полиуретан.

მალლივ შენობებში სართულშუა გადახურვები მრავალსივრცეობრივი რკინაბეტონის ფილით

ჯერენაშვილი ქ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამშენებლო ფაკულტეტი

getijerenashvili@yahoo.com

მალლივი ეწოდება მრავალსართულიან შენობას, რომლის სიმაღლე მეტია 75 მ-ზე (მეტი 25 სართულზე) (სურ. 1). დიდი სიმაღლის გამო ასეთი შენობის გეგმარება, კონსტრუქცია და ტექნიკური აღჭურვილობა ხარისხობრივად განსხვავდება ამაღლებული (16-25 სართული), მაღალი (11-16 სართული), საშუალო (4-10 სართული) და დაბალი (1-3 სართული) სართულიანობის შენობებისგან. ყველა პროექტი უნიკალურია, რადგან მოითხოვს მრავალი სპეციფიკური პრობლემის ინდივიდუალურ გადაწყვეტას (ქარი, ხმაური, ტემპერატურის ცვალებადობა, ლიფტები, კომუნიკაციები, კონსტრუქციების მუდმივი მონიტორინგი და ა.შ.) [1].

აღსანიშნავია, რომ აშშ-ს კოდეზში, გერმანულ DIN-ში, ევროპულ EN-ში, ბრიტანულ EU-სა და სხვა განვითარებული ქვეყნების სამშენებლო მიმართულების ნორმატიულ დოკუმენტაციებში, მალლივი შენობების დაპროექტების ერთიანი ნორმები არ არსებობს. ეს, როგორც ზევით იყო აღნიშნული, გამოწვეულია მალლივი შენობების უნიკალურობით . [5].

ამჟამად მოქმედი საერთაშორისო ნორმების (ISO, EN, DIN, СНиП) თანხმად 75 მეტრზე მეტი სიმაღლის სამოქალაქო დანიშნულების შენობების დაპროექტება, როგორც უნიკალური შენობებისა, გამოდის მოქმედი სამშენებლო ნორმების ჩარჩოებიდან და მათი დაპროექტება ხდება ინდივიდუალურად. აქვე აღვნიშნავთ, რომ საცხოვრებელ მალლივ შენობებში არასაცხოვრებელი სათავსები შეიძლება დაგეგმარდეს მოქმედი ნორმატიული დოკუმენტების საფუძველზე.

მუსირებს აზრი, რომ მალლივ შენობებში უპირატესობა ენიჭება ფოლადის კონსტრუქციებს, რასაც ვერ დავეთანხმებით. საერთოდ მალლივ შენობებში მზიდ კონსტრუქციებზე მოდის ხარჯების 37-40%. რკინაბეტონის გამოყენება შენობებში 70 სართულამდე, საშუალებას იძლევა გავზარდოთ სიხისტე, ცეცხლმედეგობა, მექანიზირებული გავხადოთ სამშენებლო-სამონტაჟო პროცესები, ასევე გავამრავალფეროვნოდ შენობის არქიტექტური სახე. ამით მიიღწევა უფრო ეფექტური ეკონომიკური მაჩვენებლები.

გადახურვები ნებისმიერი სამოქალაქო, საზოგადოებრივი თუ სამრეწველო დანიშნულების შენობის მზიდი კონსტრუქციების განუყოფელი ნაწილია. დანიშნულების მიხედვით იგი შეიძლება იყოს: სარდაფის, ცოკოლის, სართულშუა და სხვენის; გამოყენებული მასალის მიხედვით – ხის, ლითონის და რკინაბეტონის. სადისერტაციო ნაშრომის შინაარსიდან გამომდინარე, ჩვენ განვიხილოთ მხოლოდ რკინაბეტონის სართულშუა გადახურვები.

სართულშუა გადახურვის დანიშნულებათა მომიჯნავე სათავსების გამოყოფა ერთმანეთისაგან სიმაღლეზე, სტატიკური და დინამიკური დატვირთვების მიღება და გადაცემა ქვედა მზიდ კონსტრუქციებზე (კედლები, საძირკვლები) (სურ.1, სურ.2), ასევე შენობის

სიხისტის უზრუნველყოფა ჰორიზონტალური მიმართულებით. იგი უნდა აკმაყოფილებდეს შემდეგ მოთხოვნებს [3, 4]:

- საკმარისი სიმტკიცე – უზრუნველყოფს მდგრადობას როგორც საკუთარი წონის, ასევე სასარგებლო (ავეჯი, ტექნიკა, ადამიანები და ა.შ.) დატვირთვების ზემოქმედებისას. სასარგებლო დატვირთვა განისაზღვრება სათავსის დანიშნულების მიხედვით. სხვენის გადახურვებისათვის იგი, როგორც წესი, არ აღემატება 100 კგ/მ², ხოლო ცოკოლისა და სართულშუა გადახურვებისათვის – 200 კგ/მ²;

- სიხისტე და საკმარისი სისქე – უზრუნველყოფს კონსტრუქციის მდგრადობას დეფორმაციების (ჩალუნვების) მოქმედი დატვირთვების მოქმედებისას;

- ბგერაიზოლაცია – განისაზღვრება სამშენებლო ნორმებისა და წესების მიხედვით სათავსის დანიშნულების მიხედვით;

- თბოიზოლაცია – აქტუალურია კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც ყოფენ სართულებს სხვადასხვა ტემპერატურით 10°C–დან ზევით (მაგალითად, პირველი სართულის სარდაფის ან ჭერის გადახურვა);

- ცეცხლმედეგობის ზღვარი – ვერცერთი სამშენებლო კონსტრუქცია ვერ ეწინააღმდეგება ღია ცეცხლის ზემოქმედებას ხანგრძლივი დროით, თუმცა სასურველია, რომ მათი ცეცხლმედეგობის ზღვარი იყოს რაც შეიძლება მეტი.



სურ. 1 . სარდაფის გადახურვა



სურ. 2. ცოკოლის გადახურვა

მრავალსივრცეობიანი (მრავალსივრცეობიანი) რკინაბეტონის გადახურვის ფილა წარმოადგენს მზიდ რკინაბეტონის ტიხარს განლაგებულს ჰორიზონტალურად. გამოიყენება სართულშუა და სასხვენო გადახურვებში. კონსტრუქციაში, წონის შემცირების თვალსაზრისით, გათვალისწინებულია რამდენიმე რიგის სივრცეობების (სივრცეობების) მოწყობა ფილის გრძივი მიმართულებით. სივრცეობებს შეიძლება ჰქონდეს წრის, ნახევარწრის ან ოვალის ფორმა. მზადდება მსუბუქი ან მძიმე ბეტონებისგან.

მრავალსივრცეობიანი ფილის ძირითადი დანიშნულებაა – ბეტონის, აგურის ან ბეტონის ბლოკების საცხოვრებელი მრავალსართულიანი მშენებარე სახლის სართულების შეპირაპირების ადგილებში გადახურვის მოწყობა. კონსტრუქციის ჰოპულარობას განაპირობებს დაბალი მასალათა ტევადობა (ბეტონის), სიმსუბუქე, ტრანსპორტაბელობა, კარგი თბო და ბერასაიზოლაციო თვისებები, მისაღები მზიდუნარიანობა, საკომუნიკაციო გაყვანილობებისათვის სივრცეობების გამოყენების შესაძლებლობა და სხვ.

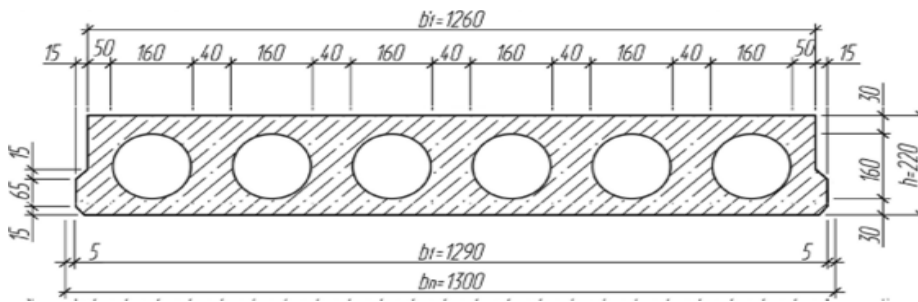
გადახურვის ფილის ტიპის შერჩევა დამოკიდებულია დროებითი სასარგებლო V დატვირთვის სიდიდეზე. როცა $V \leq 7,0$ კნ/მ²-ზე, მაშინ გამოიყენება მრავალსივრცეობიანი ფილები, რომელთა განივკვეთის სიმაღლეა 20 სმ-დან 24 სმ-მდე. ფილა შეიძლება იყოს დაუძაბავი ან წინასწარ დაძაბული. ფილის სიგანეა 90 ... 240 სმ.

ფილის მზიდუნარიანობა და საექსპლუატაციო მახასიათებლები დამოკიდებულია სივრცეობების ზომებზე. წრიული სივრცეობების ზომებია 140 მმ-დან 203 მმ-მდე; სისქე – 220 მმ, თუმცა არსებობს 160 მმ და 300 მმ სისქის ფილებიც; სიგრძე – 1,5 მ-დან 16 მ-მდე; სიგანე – 1; 1,2; 1,5 და 1,8 მ; ერთი ფილის მასა – 500 კგ-დან 4000 კგ-მდე; მზიდუნარიანობის სტანდარტული სიდიდე – 800 კგ/მ². გვხვდება სართულშუა გადახურვები გაანგარიშებული 1200-1250 კგ/მ² დატვირთვაზე; ფილის ბოლოების კედელზე დაყრდნობის სიღრმე – 90-250 მმ; გამოყენებული ბეტონის კლასი M300 და M400. ფილის მარკები რუსული ნორმების მიხედვით (ГОСТ 9561-91) – 1ПК (ПК), 2ПК, 3ПК, 4ПК, 5ПК, 6ПК, 7ПК, ПГ, ПБ. ფილის ზომები ემორჩილება მშენებლობის ერთიან მოდულურ სისტემას, რომელიც უზრუნველყოფს სამსენებლო პროცესების უნიფიკაციას, ტიპიზაციასა და სტანდარტიზაციას [5].

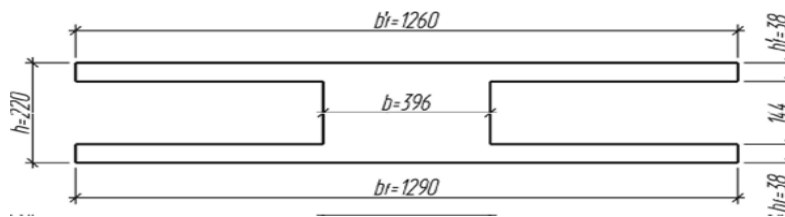
გადახურვებში რკინაბეტონის მრავალსივრცეობიანი ფილების გამოყენება საშუალებას იძლევა დამონტაჟების შემდეგ გადახურვა დაიტვირთოს ცემენტის მოჭიმვის მოწყობამდე, მივიღოთ ბეტონის საგრძნობი ეკონომია, შევამციროთ სატრანსპორტო და მონტაჟის დანახარჯები, შევამსუბუქოთ საძირკვლები, გავზარდოთ გადახურვის ბერა და თბოიზოლაციის ტექნიკური მახასიათებლები, შენობის სეისმომდეგობა და ა.შ [6].

გადახურვის რკინაბეტონის მრავალსივრცეობიანი ფილა მოკლე გვერდებით ყრდნობა რიგელებს და გაანგარიშდება როგორც ორ საყრდენზე თავისუფლად დაყრდნობილი ორტესებრი განივკვეთის კოჭი. წინასწარ ზუსტდება ფილის განივკვეთის ზომები და დაყავთ იგი ეკვივალენტურ ორტესებრი განივკვეთზე შემდეგი კონსტრუქციული მოთხოვნების შესაბამისად: სივრცეობების დიამეტრი, რაოდენობა და განლაგება ინიშნება ფილის მასის მაქსიმალურად შემცირების პირობიდან, ამასთანავე ფილის ზედა და ქვედა შრეების სისქე უნდა იყოს არა ნაკლები 25-30 მმ, ხოლო სივრცეობებს შორის მანძილი - 30-35 მმ; გრძივ გვერდითი კონტურების ზედაპირებს უკეთდება ნაშვერები დამონოლითების ხარისხის ასამაღლებლად, ხოლო ფილის ქვედა ზედაპირის განაპირა წიბოებზე - ნაზოლები, რომ ტრანსპორტირებისა და მონტაჟის დროს ფილის გვერდები არ დაზიანდეს. ფილის განივი კვეთის სქემა მოცემულია ნახ.

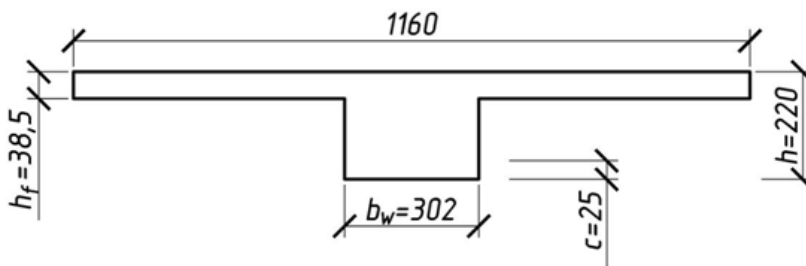
1 -ზე, ეკვივალენტური ორტესებრი განივკვეთი სქემა - ნახ.2. -ზე, ხოლო ეკვივალენტური ტესებრი განივკვეთი ნახ.3. -ზე.



ნახ.1. მრავალსივარტელებიანი ფილის განივკვეთი



ნახ.2. ეკვივალენტური ორტესებრი განივკვეთი



ნახ. 3. ეკვივალენტური ტესებრი განივკვეთი.

განგარიშება სიმტკიცეზე ნორმალური კვეთების მიხედვით

ფილის ეკვივალენტური ორტესებრი კვეთის ზომები მიიღება წრიული სივარტელების დიამეტრისა და რაოდენობის მიხედვით. წრიული ფორმის სივარტე იცვლება კვადრატული ფორმის სივარტელით გვერდის ზომით $a=0,9d$, სადაც d წრის დიამეტრია. ამიტომ როდესაც ფილის სიგანე ზევით b'_f , სიმაღლე h , სივარტელის დიამეტრი d , მაშინ ორტესებრი განივკვეთის ზომები იქნება:

- ზედა თაროს სიგანე - b'_f ;
- ქვედა თაროს სიგანე - b_f ;
- ზედა და ქვედა თაროების სიმაღლე - $h'_f = h_f = 0,5 \cdot (h - 0,9d)$;
- წიბოების სიგანე - $b = b'_f - n \cdot 0,9d$, სადაც n არის სივარტელების რაოდენობა.

განივკვეთის ნეიტრალური ღერძის ორი ვარიანტი განიხილება: როცა ღერძი გადის თაროში ($x \leq h'_f$) და მეორე, როცა ღერძი გადის თაროს კვეთის გარეთ ($x < h'_f$).

ფილის საანგარიშო მალი l_0 გამოითვლება ფორმულით:

$$l_0 = B - b - C_{კონ} - 2 \cdot C_{ლრ},$$

სადაც B არის სვეტებს შორის ბიჯი;

b – რიგელის სიგანე;

$C_{კონ}$ – რიგელის კონსოლის სიგანე (10 სმ);

$C_{ლრ}$ – ღრეჩო ფილის ბოლოსა და რიგელს შორის (2 სმ).

ფილის გეომეტრიის დადგენის შემდეგ გამოითვლება სრული საანგარიშო დატვირთვა ფილის 1 მ²-ზე (q) და ერთ გრძივ მეტრზე ($q_{გრძ}$), ასევე მაქსიმალური საანგარიშო მომენტი და განივი ძალა ფორმულებით:

$$M = 0,125 \cdot q \cdot l_0^2; \quad Q = 0,5 \cdot q_{გრძ} \cdot l_0.$$

როცა განივკვეთის ნეიტრალური ღერძი გადის თაროს ქვედა ნაწიშურის სიბრტყეში, მაშინ მღუნავი მომენტი გამოითვლება ფორმულით:

$$M_f = R_b \cdot b_f' \cdot h_f' \cdot (h_0 - 0,5 \cdot h_f'),$$

სადაც R_b არის ბეტონის პრიზმული საანგარიშო წინაღობა, ნ/სმ²;

h_0 – ფილის სამუშაო სიმაღლე, $h_0 = h - a$ (a არის ბეტონის დამცავი შრე).

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ხმელიძე თ., გურგენიძე დ., კლიმიაშვილი ლ., ხმელიძე ვ. სამშენებლო ენციკლოპედიური ლექსიკონი/პროფესორების დავით გურგენიძისა და თამაზ ხმელიძის საერთო რედაქციით. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკა. ონლაინვერსია. თბილისი, I-V ტომი, ISBN 978-9941-28-496-0, 2021.
2. ხმელიძე თ., ყიფიანი გ. კომპოზიტური კონსტრუქციები. სტუ, ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, ISBN 978-9941-491-82-2, 2022, 458 გვ.
3. ჯაფარიძე გ., ჩაკვეტაძე ო. სამშენებლო კონსტრუქციები. გამომცემლობა „საჩინო“. თბილისი, ISBN 978-9941-0-9670-9, 2017, 432 გვ.
4. კახიანი ლ., ავალიშვილი ლ., ბალანჩივაძე ლ. რკინაბეტონის კონსტრუქციების დაპროექტება ევრონორმების მიხედვით. საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“. თბილისი, 2016, 226 გვ.
5. https://siurgtu.ru/sveden/files/MU_080301_GHelezobetonnye_i_kamennye_konstrukcii_MU_k_KP.pdf (უკანასკნელად გადამოწმებული იყო 2022 წლის 01 ოქტომბერს).
6. Карпенко Н.И. Развития методов проектирования строительных конструкций, зданий и сооружений / Н.И. Карпенко, В.И. Травуш // Сб. ст. Международ. науч.-техн. конф. «Эффективные строительные конструкции: теория и практика». – Пенза, 2002, с. 5-8.

მაღლივი შენობებში სართულშუა გადახურვები მრავალსივრცეობიანი რკინაბეტონის ფილით

ჯერენაშვილი ქ.

რეზიუმე

მაღლივი ეწოდება მრავალსართულიან შენობას, რომლის სიმაღლე მეტია 75 მ-ზე (მეტი 25 სართულზე).

ყველა პროექტი უნიკალურია, რადგან მოითხოვს მრავალი სპეციფიკური პრობლემის ინდივიდუალურ გადაწყვეტას (ქარი, ხმაური, ტემპერატურის ცვალებადობა, ლიფტები, კომუნიკაციები, კონსტრუქციების მუდმივი მონიტორინგი და ა.შ.)

მაღლივ შენობებში ერთ-ერთი ძირითადი პრობლემაა რხევების ჩაქრობა ქარისა და სეისმური დატვირთვების მოქმედებისას, რაც მიიღწევა შენობის მასის შემცირებით. ამ პრობლემის გადაჭის საუკეთესო გზებია: მსუბუქი მასალების გამოყენება (სადაც ეს შესაძლებელია), კონსტრუქციების განივკვეთების შემცირება მაღალი კლასის ბეტონებით (B60-B80), ხისტი არმატურის გამოყენება, სართულშუა გადახურვების შემსუბუქება სივრცეების წარმომქმნელი სადებების შემოტანით (ბაზალდეკის, კობიაქსის სისტემები და სხვ.), ასევე მსუბუქი საშენი მასალისგან (მაგალითად, პერლიტი, ტუფი, პემზა, ქაფპლასტი, ფიჭაპლასტი, ქაფპოლიურატანი, ქაფპოლისტირენი და სხვ.) დამზადებული ბლოკების ჩართვით რკინაბეტონის მონოლითურ გადახურვებში.

დადგენილია, რომ გადახურვებში (განსაკუთრებით მაღლივ შენობებში) სივრცეობიანი სადებების გამოყენება ამცირებს ბეტონის ხარჯს 20-30%-ის ფარგლებში, ხოლო მშენებლობის საერთო სახარჯთაღრიცხვო ღირებულებას - 15%-მდე.

საკვანძო სიტყვები: მაღლივი შენობები, სართულშუა გადახურვა, შემსუბუქება, მრავალსივრცეობიანი ფილა

INTER-FLOOR ROOFS IN HIGH-RISE BUILDINGS WITH MULTI-GAP REINFORCED CONCRETE SLABS

Jerenashvili K.

Abstract

A high-rise is a multi-story building whose height is more than 75 m (more than 25 floors).

Every project is unique because it requires an individual solution as for many specific problems (wind, noise, temperature fluctuations, elevators, communications, constant monitoring of structures, etc.).

One of the main problems in high-rise buildings is the damping of vibrations under the action of wind and seismic loads, which is achieved by reducing the mass of the building. The best ways to overcome this problem are: use of light materials (where possible), reduction of cross-sections of structures with high-grade concrete (B60-B80), use of rigid reinforcement, reduction of inter-floor overlaps by introducing void-

forming linings (bubbledeck, Cobiax systems, etc.), as well as light by including blocks made of building materials (for example, perlite, tuff, pumice, foam plaster, fichaplast, foam polyurethane, foam polystyrene, etc.) in reinforced concrete monolithic roofs.

It is determined that the use of voids in roofs (especially in high-rise buildings) reduces the cost of concrete by 20-30%, and the total cost accounting cost of construction - up to 15%.

Key words: high-rise buildings, floor covering, mitigation, multi-cavity slab.

МЕЖЭТАЖНЫЕ КРЫШИ В ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЯХ С МНОГОЩЕЛЕВЫМИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ПЛИТАМИ

Джеренашвили К.

Реферат

Высотным считается многоэтажное здание, высота которого более 75 м (более 25 этажей).

Каждый проект уникален, так как требует индивидуального решения многих специфических проблем (ветер, шум, перепады температуры, лифты, коммуникации, постоянный мониторинг конструкций и т.д.).

Одной из основных проблем высотных зданий является гашение колебаний под действием ветровых и сейсмических нагрузок, что достигается за счет уменьшения массы здания. Лучшими способами преодоления этой проблемы являются: использование легких материалов (где это возможно), уменьшение сечений конструкций за счет бетона высокой марки (B60-B80), применение жесткой арматуры, уменьшение межэтажных перекрытий за счет введения пустотообразующих обделок (пузырьковые, системы Cobiax и др.), а также за счет легкого включения блоков из стройматериалов (например, перлита, туф, пемзы, пеноштукатурки, фичапласта, пенополиуретана, пенополистирола и др.) в армированные железобетонные монолитные кровли.

Определено, что использование пустот в кровлях (особенно в многоэтажных домах) снижает стоимость бетона на 20-30%, а общую хозрасчетную стоимость строительства - до 15%.

Ключевые слова: высотные здания, перекрытия, смягчение, многополостная плита.

ФАЗОВЫЙ СДВИГ РЕАКЦИИ ВОДЫ НА ГРАВИТАЦИЮ В СКВАЖИНАХ ГРУЗИИ

Кобзев Г.Н., Меликадзе Г.И., Джимшеладзе Т.Дж.

Институт геофизики им. М. Нодиа, ТГУ, Тбилиси, Грузия
kobzev47@gmail.com

Введение

В некоторых скважинах уровень воды заметно реагирует на изменение величины гравитации, особенно его вертикальной составляющей $tidalZ$. Реакция бывает разной: уровень воды может с опозданием реагировать на изменения гравитации; может опережать; может иногда запаздывать и иногда опережать. Приведем примеры.

Пример 1. В [1] отмечается случай, когда вода с задержкой реагирует на изменение гравитации (*phase shift* $\varphi < 0$) и делает это постоянно. Объяснение этому явлению дано в рамках confined layer модели при горизонтальном движении воды.

Пример 2. В [2] сообщается, что вода с опережением реагирует на изменение гравитации (*phase shift* $\varphi > 0$) и делает это постоянно. Объяснение дано в рамках unconfined layer модели при вертикальном движении воды.

Создавалось впечатление, подкрепленное моделями, что запаздывание (опережение) воды – гарантированный признак confined (unconfined) water layer. Но это не так.

Пример 3. В [3] приведен пример скважины в confined layer и имеющей *phase shift* $\varphi > 0$ (т.е. опережение воды), что контрастировало с примерами 1 и 2. Пояснение было дано уже в рамках leaky layer модели, когда проявляются более сложные случаи: одновременно горизонтальное движение воды и vertical leakage.

Перед подсчетом *phase shift* во всех примерах предварительно проводится фильтрация исходных данных. Для confined layer фильтрация значений уровня воды осуществляется в интервале 12.32-12.52 h (часа), охватывающий период $M_2 \approx 12.42$ h, где M_2 полусуточная лунная волна (semi-diurnal lunar wave). Для unconfined layer фильтрация проводится в интервале 25.7-25.9 h, т.е. в районе O_1 (главное суточное лунное склонение, principal lunar declinational diurnal).

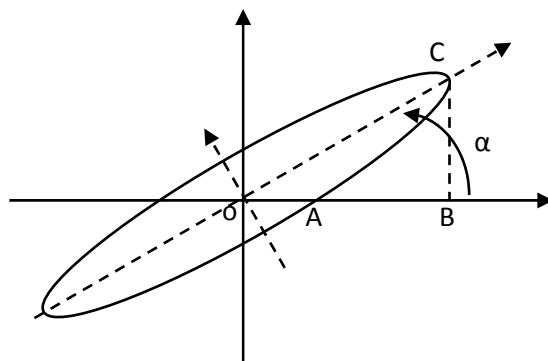


Рис.1

Наше внимание привлек сам способ подсчета *phase shift* методом построения эллипса, предложенный [Kabychenko,2008] в изложении [4, рис.5,6]:

- а) Фильтруются значения уровня воды во временном интервале 12.32-12.52 h;
- б) выбирается система X='water', Y='ground displacement', в мм; с) в системе XY визуализируется движение точки за сутки, происходящее по эллипсу. Далее вычисляется *phase shift* $\varphi = \arcsin (y_1/B)$.

Применим эту технологию для изучения *phase shift* к скважинам Грузии с использованием другой системы координат: X-“tidalZ”, Y-“minus water”, кПа. Позднее для этой системы укажем на связь *phase shift* $\varphi = \arcsin (OA/OB)$ с углом наклона эллипса α и его коэффициентом сжатия (рис.1). Здесь *OB* – максимальный размах и *OA* - значение эллипса при $y = 0$. Изучение этой формулы позволяет оценить силы, влияющие на величину *phase shift* (рис.8,9).

Предистория

Ранее мы изучали реакцию воды на гравитацию для разных скважин Грузии. Для этого сравнивали время достижения экстремума для уровня воды и для экстремума гравитации tidalZ. Влияние атмосферы было удалено, но фильтрация значений уровня воды в интервале 12.32-12.52 h не проводилась. В результате было отмечено, что в Лагодехи и Кобулети наблюдается ярко выраженная временная задержка реакции воды на гравитацию. В Марнеули наблюдалась как задержка времени, также и опережение.

Таблица 1. Описание скважин

Наименование	Широта, N	Долгота, E	Глубина, м	Фильтр, м
Кобулети	41.802	41.772	2000	187–640
Марнеули	41.436	44.755	3505	1235–1600
Накалакеви	41.424	43.317	600	255–367
Они	42.573	43.437	255	70–250

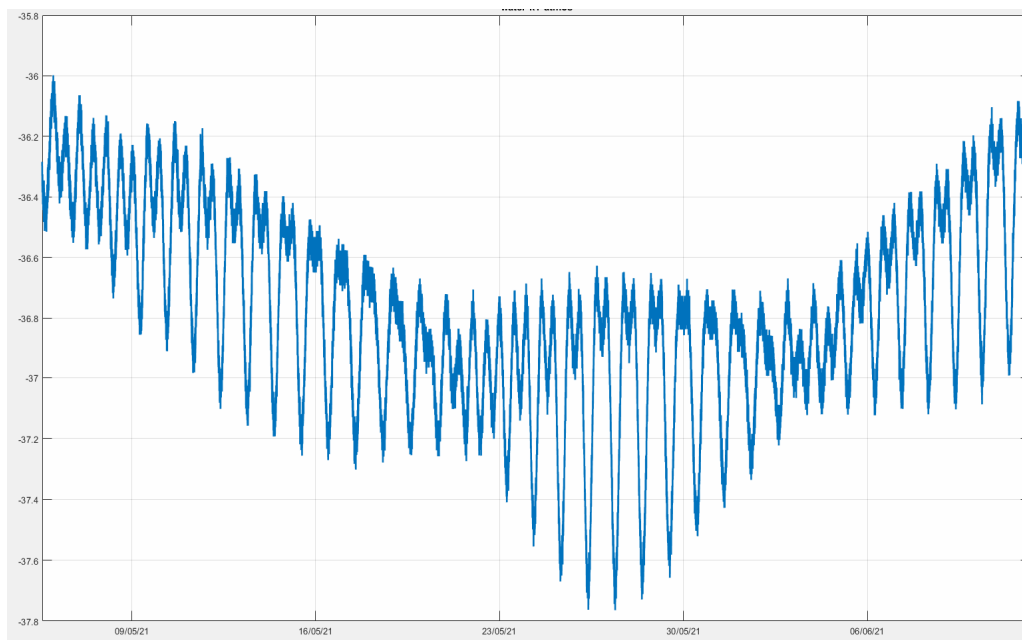


Рис.2. Марнеули, 2021, изменения уровня воды, кПа. Влияние атмосферы тут удалено

Результаты

Здесь приводятся результаты подсчета *phase shift* методом эллипса для 4 скважин Грузии для уровня воды за период март-июнь 2021. Предварительно проводилась фильтрация данных (12.32-12.52 h). Удаление атмосферы не проводилось.

Сравнение графиков *phase shift* для Марнеули, Они, Накалакеви и Кобулету (рис.3) показывает, что амплитуды графиков изменяются синхронно. Наибольшая амплитуда наблюдается у станции Они, которая имеет наименьшую длину скважины 255 м и, отметим, является наиболее чувствительной к землетрясениям. Для Кобулету значения $\varphi \in [-90^\circ, 10^\circ]$; для Марнеули $\varphi \in [-25^\circ, 25^\circ]$; для Накалакеви $\varphi \in [-60^\circ, 40^\circ]$; для Они $\varphi \in [-80, 80^\circ]$.

Для Марнеули характерны следующие свойства *phase shift* φ :

1) периодический характер (период 15-17 дней). 2) При больших значениях гравитации наблюдается опережение. Запаздывание наблюдается при малых значениях гравитации. 3) Отрицательные значения (запаздывание, <0) идут подряд и продолжаются примерно 5 дней. Примеры: 3,4,4,5,6,4,2,5 дней. 4) Положительные значения (опережение, >0) идут подряд группами длиной [8-12] дней. Примеры: 11,9,12,8,11,10,12 дней.

Для Они отрицательные значения (запаздывание, <0) идут подряд и продолжаются 5,4,2,4,6,6,3,7,3 дней. Положительные значения (опережение, >0) идут подряд группами и продолжаются 2, 9,12,14,8,9,11,9,7 дней.

Для Накалакеви отрицательные значения (запаздывание, <0) идут подряд и продолжаются 6,7,2,5,3,3,3,5,4 дней. Положительные значения (опережение, >0) идут подряд группами и продолжаются 9,11,13,9,11,12,12,7 дней.

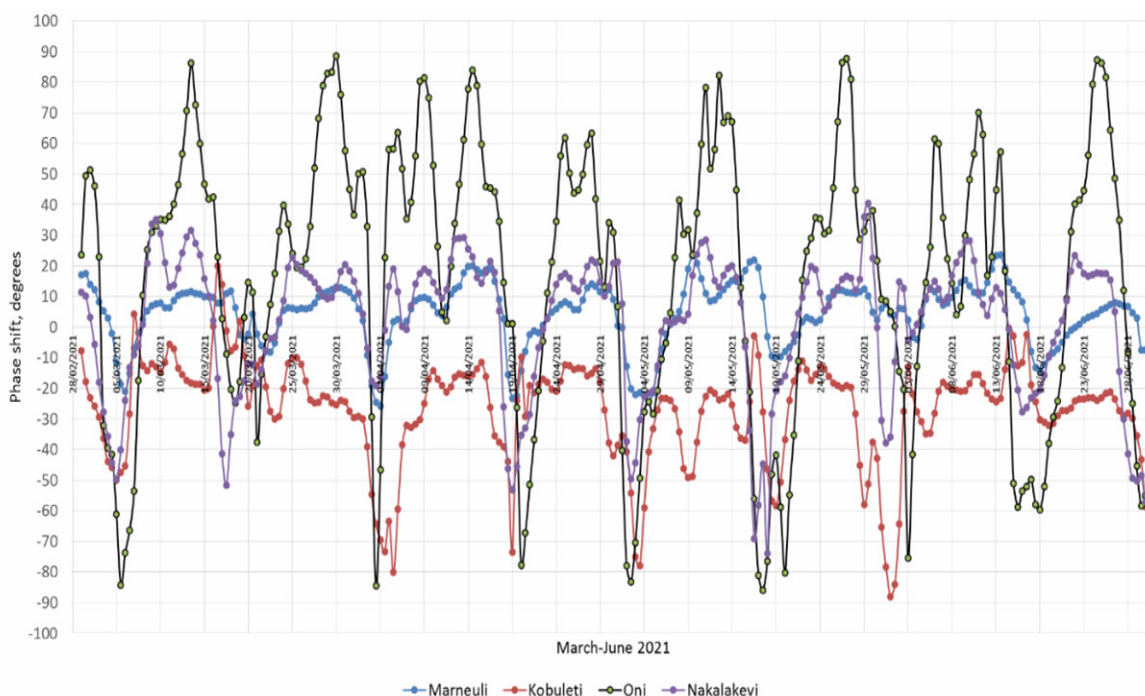


Рис.3. *Phase shift* около $M_2=12.42$ h для Марнеули, Кобулету, Они, Накалакеви, Март-июнь 2021, фильтрация 12.32-12.52 h.

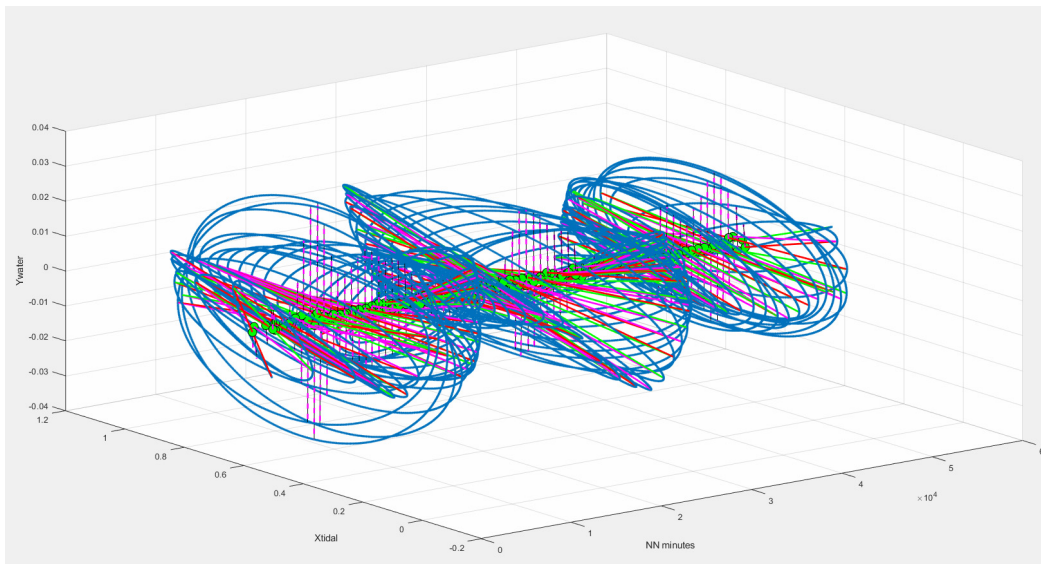


Рис.4. Взаимосвязь гравитации и уровня воды (X=tidalZ, Y=minus water)

Из 2d-графиков (рис.3) неясно, как изменяется во времени траектория эллипсов, на основании которых и вычисляется *phase shift*, хотя общие тенденции видны. При 3d-визуализации закономерности реакции воды на гравитацию становятся более очевидными. Как пример, на рис.4,7 видно, что угол наклона эллипсов (это один из компонентов, влияющих на величину *phase shift*) является переменной периодической величиной. Укажем, что угол наклона эллипса для Марнеули изменяется в пределах 6° - 16° (март – июнь 2021).

Отвлечемся от конкретных значений *phase shift* и посмотрим только на его знак. На нижеприведенных рис. движение по часовой стрелке (ClockWise direction) означает *phase shift* $\varphi > 0$ (опережение, зеленый цвет); движение против часовой стрелки (CounterClockWise direction) означает $\varphi < 0$ (вода с запаздыванием реагирует на изменения гравитации, синий цвет). При фильтрации 12.32-12.52 h наблюдается периодичность появления $\varphi < 0$ (синий цвет) При фильтрации данных в интервале 25.7-25.9 h, в районе $O_1=25.8193$ h (principal lunar declinational diurnal) наблюдается другая периодика (рис.5,6).

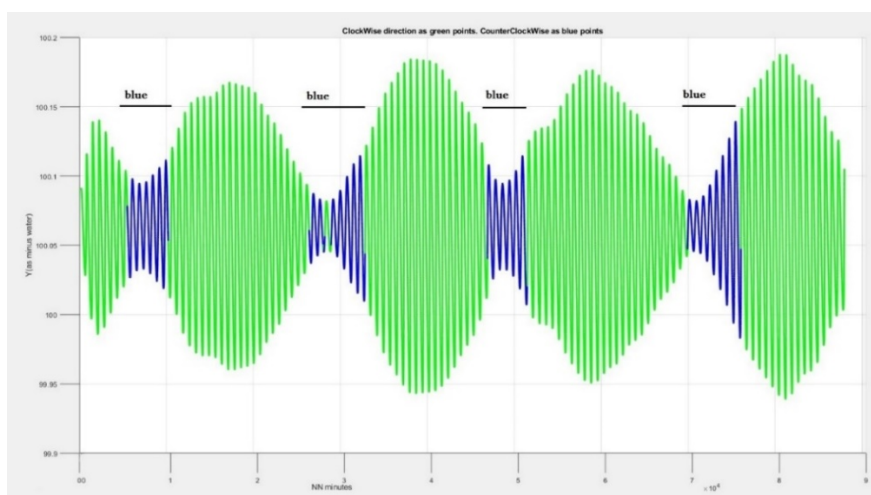


Рис.5. Марнеули, 1 марта - 1 июня 2021, water как Y, фильтр 12.32-12.52 h, около $M_2=12.4206$ h

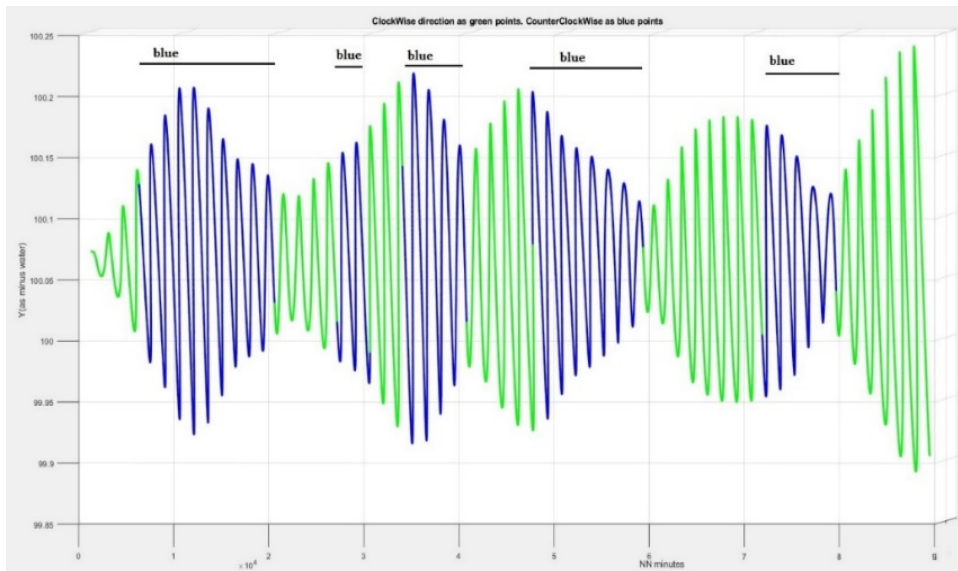


Рис.6. Марнеули, 1 марта - 1 июня 2021, water как Y, фильтр 25.7-25.9 h (около $O_1=25.8193$ h)

Видно, что синие линии (CounterClockWise direction, $\varphi < 0$) наблюдаются, когда $tidalZ$ находится в интервале $[-0.4 \div 0.2]$ кПа, центром симметрии является -0.2 кПа.

Изучение графиков показывает, что для Марнеули большая полуось “ a ” эллипсов изменяется по предсказуемому закону и достигает своих минимумов каждые 14-15 дней.

Величина малой полуоси “ b ” эллипсов изменяется по более сложным правилам. Угол наклона эллипсов имеет свою выраженную периодичность, его наибольшие значения наблюдаются при наименьших значениях большой “ a ” полуоси эллипса. *Phase shift* φ достигает своих наименьших значений немного позднее минимума угла наклона.

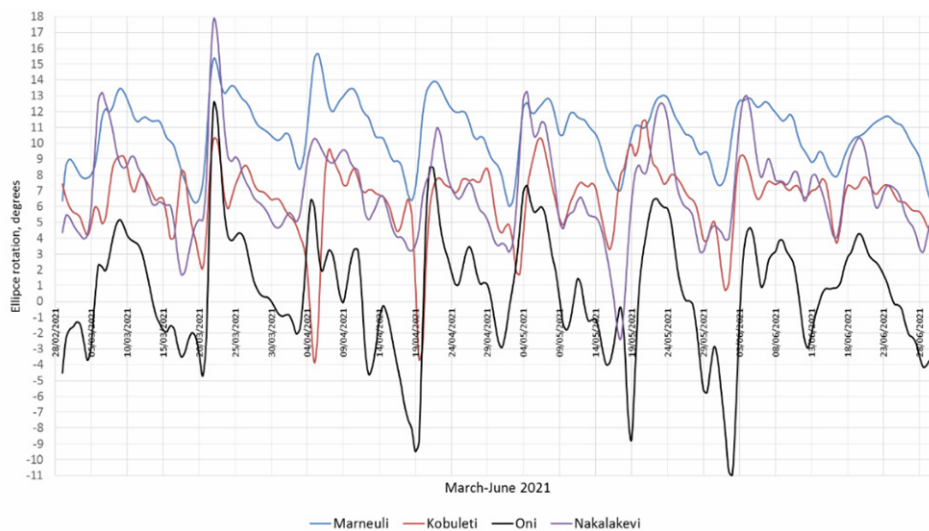


Рис.7. Изменение угла наклона эллипса для Марнеули, Кобулету, Они, Накалакеви. Март-июнь 2021. Фильтр 12.32-12.52 h.

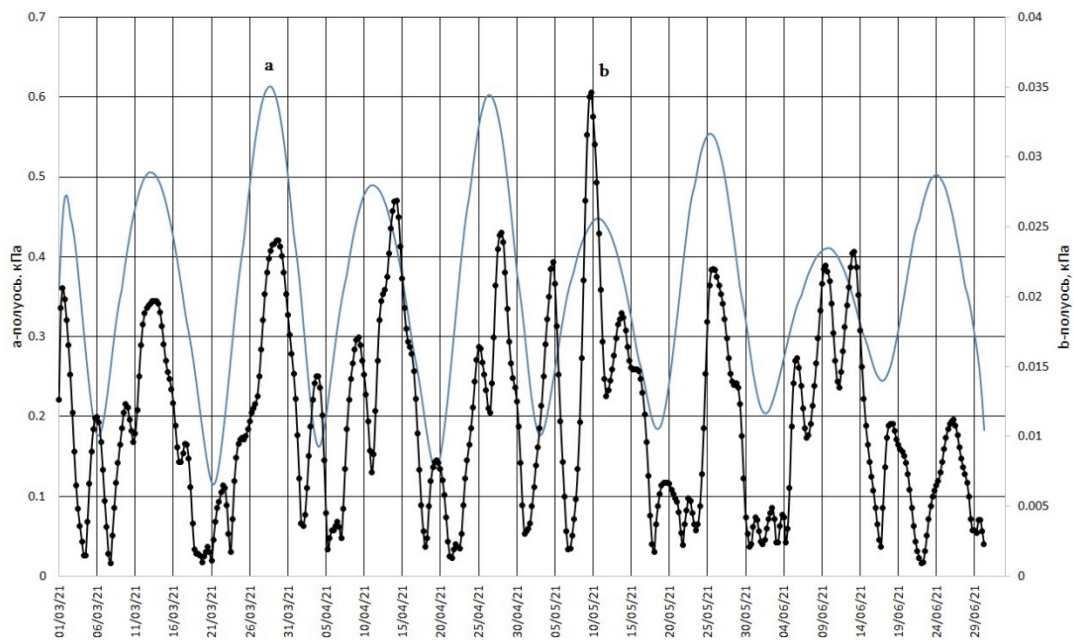


Рис.8. Изменение величины большой a –полуоси и малой b –полуоси эллипсов в Марнеули. Март – июнь 2021, кПа, фильтр 12.32-12.52 h

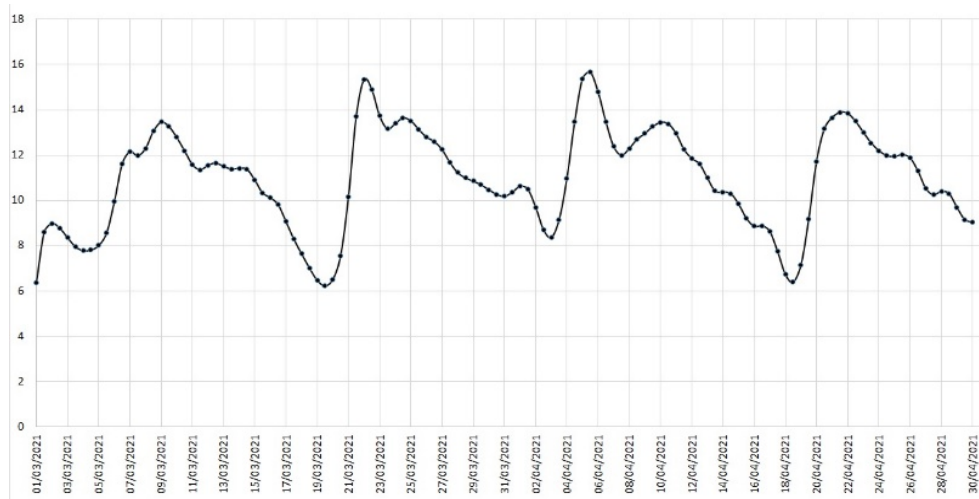


Рис.9. Изменение величины угла наклона эллипсов в Марнеули, градусы 1 марта – 1 июня 2021, фильтр 12.32-12.52 h

Укажем на формулу связи *phase shift* с коэффициентом сжатия эллипса (b/a) и его углом наклона α . Пусть a и b - большая и малая полуоси эллипса и $k = \tan(\alpha)$, где α – угол наклона эллипса (рис.1). Если обозначить $m = k^2$ и $n = (b/a)^2$, то *phase shift* φ можно вычислять так

$$\varphi = \arcsin \left(\frac{1 + m}{[(1 + m/n)(1 + mn)]^{1/2}} \right)$$

Доказательство этой формулы приведено ниже.

Примечание. Если движение идет против часовой стрелки (CounterClockWise direction), то φ надо умножить на “-1”. Изучая формулу, отметим также, что если коэффициент сжатия эллипса $(b/a)=0$, то $n = 0$, далее $1/n = \infty$, и тогда $\varphi = 0$, т.е. опережения или отставания воды не будет.

Заключение

Для вычисления задержек или опережения реакции воды на гравитацию (*phase shift*) для скважин Грузии к системе X-‘tidalZ’, Y-‘minus water’ был применен метод эллипса. Исходные данные предварительно подвергались фильтрации в интервале 12.32-12.52 h. При этих условиях в рассматриваемых скважинах графики *phase shift* изменяются единообразно: практически одновременно увеличивают и уменьшают свои значения. Отрицательные значения *phase shift* (запаздывание) наблюдаются в трех скважинах в случае, когда величина гравитации становится меньше порогового значения. Для 4й скважины, Кобулети, запаздывание воды происходит постоянно.

Амплитуда размаха графика *phase shift* в скважине Они больше, чем в Накалакеви. Амплитуда размаха в скважине Накалакеви больше, чем у Марнеули. Неясно, есть ли связь величины амплитуды размаха графика *phase shift* с чувствительностью скважины, но известно, что скважина Они примерно 2.7 раза значительнее реагирует на землетрясения, чем Накалакеви. Станция Накалакеви чувствительнее на землетрясения, чем Марнеули.

Приводится формула связи *phase shift* с углом наклона эллипса и его коэффициентом сжатия, а также величин большого и малого полуосей эллипса. Указывается на периодические, прогнозируемые, и непериодические компоненты этой формулы.

Связь *phase shift* φ с параметрами эллипса

Взяв за основу [Vinogradov et al.,2017,рис.5], после некоторых преобразований получаем, что *phase shift* $\varphi = \arcsin(OA/OB)$, где *OA* есть *x*-координата повернутого эллипса при $y = 0$, и *OB* – максимальный размах (рис.1). Допустим, имеем старую XY и новую X’Y’ системы координат. Свяжем φ с параметрами эллипса и с его углом наклона α к старой системе координат. Каноническое уравнение эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (1)$$

Здесь *a* и *b* - большая и малая полуоси эллипса. Коэффициентом сжатия эллипса называют величину b/a . Для любой точки *M* координата (x',y') новой системы связана с координатой (x,y) старой системы уравнениями

$$x' = x * \cos(\alpha) + y * \sin(\alpha); \quad y' = -x * \sin(\alpha) + y * \cos(\alpha) \quad (2)$$

Этап 1. Вычисление *OA*.

Если $y=0$, то $x' = x * \cos(\alpha); \quad y' = -x * \sin(\alpha) \quad (3)$

Если в уравнении (1) вместо *x* и *y* записать x' и y' , далее заменить их формулами (3), то

$$\left(\frac{x' + y' \tan \alpha}{a}\right)^2 + \left(\frac{-x' \sin \alpha}{b}\right)^2 = 1; \quad x'^2 \left(\frac{\cos^2 \alpha}{a^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{b^2}\right) = 1$$

$$x'^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{\tan^2 \alpha}{b^2}\right) = \frac{1}{\cos^2 \alpha}; \quad x'^2 \left(\frac{1}{a^2} + \frac{\tan^2 \alpha}{b^2}\right) = 1 + \tan^2 \alpha$$

Если обозначить $\tan(\alpha) = k$, где *k* - коэффициент наклона новой системы к старой, то

$$x'^2 = (1 + k^2) / \left(\frac{b^2 + a^2 k^2}{a^2 b^2}\right) = (1 + k^2) / \left(\frac{1 + (ak/b)^2}{a^2}\right)$$

$$x'^2 = a^2 * \frac{1 + k^2}{1 + (ak/b)^2} \quad (4)$$

В нашей системе XY (где X='tidal', Y='minus water') *phase shift* φ определяется как $\varphi = \arcsin(OA/OB)$ для $y = 0$.

Этап 2. Вычисление OB .

При подсчете OB отметим: CB - касательная к эллипсу под углом $\angle OCB = 90^\circ - \alpha$.

Существует формула для нахождения на горизонтально расположенном эллипсе точки (x_1, y_1) , через которую можно провести касательную с заранее заданным наклоном $k = \text{tg}(\alpha)$. Она такая:

$$x_1 = \pm k a^2 / (k^2 a^2 + b^2)^{1/2} \text{ и } y_1 = \mp b^2 / (k^2 a^2 + b^2)^{1/2}$$

В этих формулах необходимо заменить k на $1/k$, поскольку у нас угол $90^\circ - \alpha$ и

$$\text{tg}(90^\circ - \alpha) = \text{ctg}(\alpha) = \frac{1}{\text{tg}(\alpha)} = 1/k$$

Тут (x_1, y_1) в новой системе координат. При переходе к старой системе координат, повернув горизонтальный эллипс на угол $-\alpha$, получим

$$x_2 = x_1 * \cos(\alpha) - y_1 * \sin(\alpha) = a * \cos(\alpha) * (1 + (kb/a)^2)^{1/2}$$

Очевидно, что $OB = x_2$.

Этап 3. Вычисление $\varphi = \arcsin(OA/OB)$.

Поскольку $OA = x_0$, и $\cos(\alpha) = 1/\sqrt{1+k^2}$ в силу соотношений между $\cos(\alpha)$ и $\text{tg}(\alpha)$, то

$$\frac{OA}{OB} = \frac{x_0}{x_2} = \frac{1+k^2}{(1+(ak/b)^2)^{1/2}(1+(bk/a)^2)^{1/2}}$$

Если обозначить $m = k^2$ и $n = (b/a)^2$, то

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{1+m}{[(1+m/n)(1+mn)]^{1/2}}\right)$$

или так

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{1+m}{[1+m(n+1/n)+m^2]^{1/2}}\right)$$

Примечание. Если движение идет против часовой стрелки, то φ надо умножить на “-1”.

REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Hsieh P.A., Bredehoeft J.D., Farr J.M. Determination of aquifer transmissivity from earth tide analysis, Water Resour. Res., 23, 1987, pp.1824–1832.
2. Alle`gre V., Brodsky E.E., Xue L., Nale S.M., Parker B.L., Cherry J.A. Using earth-tide induced water pressure changes to measure in situ permeability: A comparison with longterm pumping tests, Water Resour. Res., 52, 2016, pp. 3113–3126, doi:10.1002/2015WR017346.
3. Wang C.-Y., Doan M.-L., Xue L., Barbour A. J. Tidal response of groundwater in a leaky aquifer— Application to Oklahoma. Water Resources Research, 54, 2018, pp. 8019–8033. <https://doi.org/10.1029/2018WR022793>.
4. Vinogradov E., Gorbunova E., Besedina A., Kabychenko N. Earth Tide Analysis Specifics in Case of Unstable Aquifer Regime. Pure Appl. Geophys. Springer International Publishing AG, 2017, DOI 10.1007/s00024-017-1585-z.
5. Gao X., Sato K., Horne R. N. General solution for tidal behavior in confined and semiconfined aquifers considering skin and wellbore storage effects. Water Resources Research, 56, 2020, e2020WR027195. <https://doi.org/10.1029/2020WR027195>.

ФАЗОВЫЙ СДВИГ РЕАКЦИИ ВОДЫ НА ГРАВИТАЦИЮ В СКВАЖИНАХ ГРУЗИИ

Кобзев Г.Н., Меликадзе Г.И., Джимшеладзе Т.Дж.

Реферат

Для глубоких скважин Грузии вычисляются изменения во времени величины фазового сдвига между уровнем воды и гравитацией. Для этих целей используется метод эллипса. Приводится формула связи фазового сдвига с параметрами эллипса.

Ключевые слова: фазовый сдвиг, уровень воды, гравитация, метод эллипса.

საქართველოს ჭაბურღილებში წყლის დონის გრავიტაციაზე რეაქციის ფაზური წანაცვლების განსაზღვრა

კობზევი გ., მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ.

რეზიუმე

საქართველოში არსებული ღრმა ჭაბურღილებისათვის განისაზღვრა წყლის დონესა და გრავიტაციას შორის ფაზური წანაცვლების დროში ცვლილება. ამ მიზნისათვის გამოყენებულ იქნა ელიფსების მეთოდი. სტატიაში მოყვანილია ფორმულა, რომელიც გვიჩვენებს ფაზურ წანაცვლებასა და ელიფსის პარამეტრებს შორის კავშირს.

საკვანძო სიტყვები: ფაზური წანაცვლება, წყლის დონე, გრავიტაცია, ელიფსის მეთოდი.

PHASE SHIFT OF WATER RESPONSE TO GRAVITY IN GEORGIAN WELLS

Kobzev G., Melikadze G., Jimsheladze T.

Abstract

For deep wells in Georgia, time changes in the magnitude of the phase shift between water level and gravity are calculated. For these purposes, the ellipse method is used. A formula for the relationship between the phase shift and the ellipse parameters is given.

Key words: phase shift, water level, gravity, ellipse method.

საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი განვითარების პერსპექტივები შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის

დემეტრაშვილი დ.

თსუ მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
demetr_48@yahoo.com

თავისი გეოპოლიტიკური მნიშვნელობითა და უნიკალური ჰიდროლოგიური სტრუქტურით შავი ზღვა დიდი ხანია იპყრობს მეცნიერთა და ფართო საზოგადოების ყურადღებას. დიდა შავი ზღვის გავლენა საქართველოს სოციალურ-ეკონომიკურ მდგომარეობაზე. გარდა იმისა, რომ შავი ზღვა ბიოლოგიური და მინერალური რესურსების მნიშვნელოვანი წყაროა, მას დიდი სატრანსპორტო და რეკრეაციული მნიშვნელობა გააჩნია.

მნიშვნელოვანია შავი ზღვის როლი რეგიონული ამინდისა და კლიმატის ფორმირებაში. შავი ზღვა და ატმოსფერო ერთიანი ჰიდროდინამიკური სისტემის კომპონენტებია, რომელთა შორის უწყვეტად მიმდინარეობს ენერგიებისა და ნივთიერებათა გაცვლის პროცესები.

შავი ზღვისადმი ინტერესი მნიშვნელოვნად გაიზარდა ბოლო ათეულ წლებში, რის ერთ-ერთი მიზეზიცაა შავი ზღვის მზარდი დაბინძურება სხვადასხვა მიწარევებით. ეს გამოწვეულია ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურებით და ზღვის აუზის სპეციფიკური ჰიდროლოგიური თავისებურებებით. შავი ზღვა მეტად მგრძობიარეა გარეშე ანთროპოგენური დატვირთვის მიმართ, რადგან იგი თითქმის ჩაკეტილი წყალსატევია და მხოლოდ ბოსფორის ვიწრო სრუტით უკავშირდება მსოფლიო ოკეანეს.

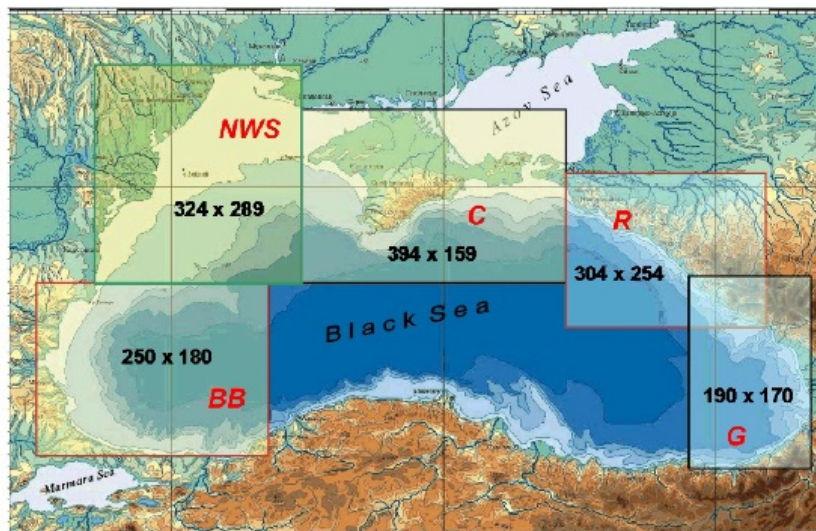
განსაკუთრებული პრესის ქვეშაა შავი ზღვის სანაპირო ზონა და მათ შორის შავი ზღვის საქართველოს სექტორი, სადაც ადამიანის ყოფითი და სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურება მნიშვნელოვან საშიშროებას უქადის ზღვის სანაპირო ეკოსისტემას.

შავი ზღვის საქართველოს სექტორის უმნიშვნელოვანესი ნაწილია აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო ზონა, სადაც საგრძნობლად იზრდება სამეურნეო საქმიანობა: ყოველწლიურად მატულობს ტურისტთა ნაკადი, ინტენსიურად ვითარდება სანაპირო ინფრასტრუქტურა (თუ არ მივიღებთ მხედველობაში 2020-2021 წლებს COVID-19 პანდემიასთან დაკავშირებით). ამ ზონაში მდებარეობს ბათუმისა და ფოთის პორტები, რომელთა მეშვეობით ხორციელდება მნიშვნელოვანი საპორტო ოპერაციები და საზღვაოდსატრანსპორტო გადაზიდვები. დღეისათვის, შავი ზღვა აქტიურად ასრულებს სატრანსპორტო დერეფნის როლს ნავთობპროდუქტებისა და სხვა პროდუქციის გადატანაში აღმოსავლეთიდან დასავლეთის მიმართულებით, ხოლო ახლო მომავალში მოსალოდნელია ზღვის სატრანსპორტო ფუნქციის კიდევ უფრო გაზრდა დაგეგმილი ახალი საზღვაო ინფრასტრუქტურების მშენებლობასთან დაკავშირებით.

ინტენსიური ანთროპოგენური დატვირთვის პირობებში მნიშვნელოვან აქტუალობას იძენს მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე საზღვაო პროგნოზული სისტემა, რომელიც დროულად უზრუნველყოფს ზღვის მდგომარეობის პროგნოზს დაბინძურების ზონების იდენტიფიცირებით.

დაახლოებით, ბოლო ორ ათეულ წელიწადში შავი ზღვის დინამიკის კვლევებმა რიცხვითი მოდელების გამოყენებით ფართო განვითარება მოიპოვა. კომპიუტერული ტექნიკის პროგრესმა ხელი შეუწყო მაღალი გარჩევისუნარიანი მათემატიკური მოდელების შემუშავებას, რომლებსაც უნარი შესწევთ ჰიდროფიზიკური პროცესების საკმაოდ მაღალი ადეკვატურობით რეპროდუცირება. თანამედროვე მათემატიკური მოდელები, ძირითადად, ერთმანეთისგან განსხვავდება გამოყენებული საკოორდინატო სისტემით, ფიზიკური პროცესების პარამეტრიზაციის მეთოდებით (ტურბულენტობა, მზის რადიაციის შთანთქმა ზღვის ზედა ფენაში და ა.შ.), ამოხსნის ალგორითმით (მაგ., [1-5]).

XXI საუკუნის დასაწყისის შავი ზღვის ოპერატიული ოკეანოგრაფიის მნიშვნელოვანი სამეცნიერო-ტექნიკური მიღწევაა შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის შემუშავება, რაც შესაძლებელი გახდა შავი ზღვისპირა ქვეყნების წამყვანი ოკეანოგრაფიული ცენტრების, მათ შორის ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდუას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის (ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორი), თანამშრომლობით ევროკავშირის საერთაშორისო-ტექნიკური პროექტების ARENA (2003-2006) და ECOOP(2007-2009) ფარგლებში. სისტემა მოიცავს დისტანციურ (თანამგზავრულ) და კონტაქტურ დაკვირვებებს, მონაცემთა შეკრება-დამუშავებისა და ასიმილაციის მეთოდებს, ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტის (ზჰი, სევასტოპოლი) ზღვის აუზის მასშტაბის შავი ზღვის დინამიკის მათემატიკურ მოდელს და მაღალი გარჩევისუნარიან რეგიონულ მოდელებს ზღვის ცალკეული სანაპირო რეგიონებისათვის [6-8].



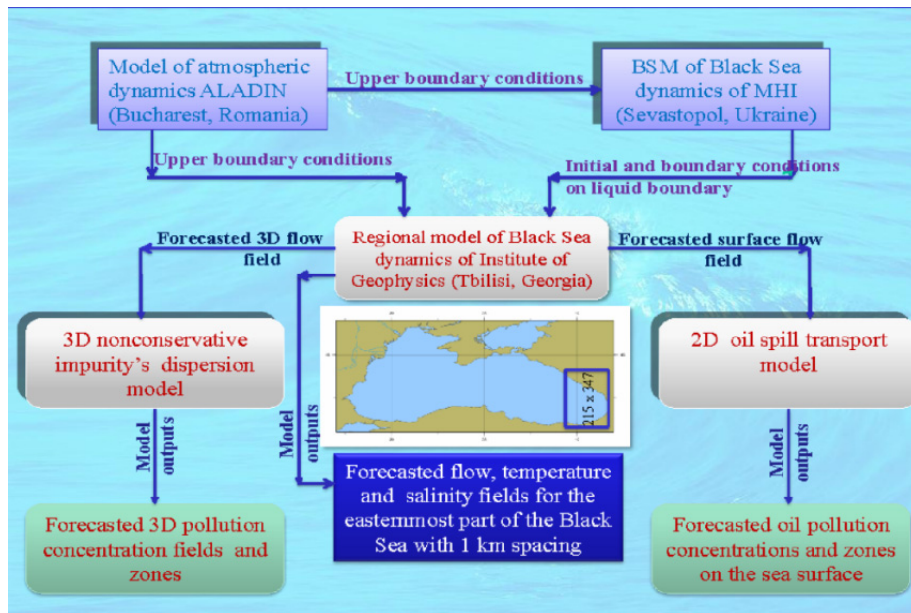
ნახ.1. შავი ზღვის სანაპირო რეგიონები, სადაც გამოითვლება დინამიკური ველების პროგნოზი მაღალი გარჩევისუნარიანობით [7]. რიცხვებით აღნიშნულია რიცხვითი მოდელების სათვლელ ბადეთა კვანძების რაოდენობა ჰორიზონტებზე.

ნახ.1-ზე ნაჩვენებია [7]-ში მოყვანილი სურათი ბულგარეთის, რუმინეთის, უკრაინის, რუსეთისა და საქართველოს სანაპირო არეების ჩვენებით, სადაც გამოითვლება ზღვის რეგიონული პროგნოზი უფრო მაღალი გარჩევისუნარიანობით, ვიდრე ზჰი-ის ზღვის დინამიკის მოდელით მთელი აუზის მასშტაბით. ნახაზზე თითოეული სანაპირო აკვატორიისათვის ნაჩვენებია მოდელების სათვლელ ბადეთა კვანძების რაოდენობა ჰორიზონტებზე, მაგრამ საქართველოს აკვატორიისათვის არასწორადაა მითითებული ბადის კვანძების რაოდენობა, რაც ქვემოთ იქნება მოყვანილი.

შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთი შემადგენელი ნაწილია რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის, რომელიც შემუშავებულია ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში [9-18]. რეგიონული სისტემა მოიცავს ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიას, შემოსაზღვრულს დასავლეთიდან 39.08° ა. გ. მერიდიანზე გამავალი პირობითი თხევადი საზღვრით (მერიდიანი გადის, დაახლოებით, ქ. ტუაფსეზე/რუსეთი).

შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო გრანტის (2013-2015) ფარგლებში განხორციელდა რეგიონული პროგნოზული სისტემის სრულყოფა მინარევების გავრცელების ორი და სამგანზომილებიანი რიცხვითი მოდელების ჩართვის გზით პროგნოზულ სისტემაში.

შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიის რეგიონული პროგნოზული სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირების სქემა ნაჩვენებია ნახ.2-ზე. სისტემის ძირითადი ბირთვია მაღალი გარჩევისუნარიანი მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შავი ზღვის დინამიკის რიცხვითი მოდელი, რომლის სათვლელი ბადე (სივრცითი ბიჯით 1 კმ) ჩადგმულია ზჭი-ის აუზის მასშტაბის ზღვის დინამიკის მოდელში 5 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით. აქ გამოყენებულია ცალმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (one-way nesting), რაც უზრუნველყოფს ზღვის აუზის მასშტაბის პროცესების ზემოქმედების გათვალისწინებას სანაპირო პროცესებზე ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში.



ნახ. 2. რეგიონული პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა [13]. ნახაზის შუა ნაწილში მართკუთხედით აღნიშნულია მოდელირებისა და პროგნოზის არე შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში.

ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელთან შეწყვილებულია მინარევების გავრცელების ორი და სამგანზომილებიანი რიცხვითი მოდელები, რომლებიც გამოიყენებენ ზღვის დინამიკის მოდელით გამოთვლილ ცირკულაციურ პარამეტრებს.

შავი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელი მიღებულია ზღვის აუზის მასშტაბის დინამიკის მოდელის [19] ადაპტირების გზით ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილისათვის და სივრცითი გარჩევისუნარიანობის გაზრდით 5 კმ-დან 1 კმ-მდე. რეგიონულ მოდელს საფუძვლად უდევს

ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემა ჰიდროსტატიკურ და უკუმ-შვადი სითხის მიახლოებაში, ხოლო მინარევების გავრცელების მოდელები დაფუძნებულია არაკონსერვატიული მინარევის გადატანა-დიფუზიის არასტაციონარულ განტოლებაზე.

პროგნოზულ სისტემაში შემავალი რიცხვითი მოდელების განტოლებათა ამოხსნა ეფუძნება, ძირითადად, ერთიან მეთოდოლოგიურ მიდგომას, კერძოდ, გახლეჩის ორციკლიანი მეთოდის გამოყენებას ფიზიკური პროცესებისა და სივრცითი კოორდინატების მიმართ. გახლეჩის მეთოდი ოკეანისა და ატმოსფეროს დინამიკის ამოცანათა ფართო კლასის ამოხსნის ერთდერთი ეფექტური საშუალებაა, რომელსაც საფუძვლად უდევს ამოცანის ძირითადი ოპერატორის წარმოდგენა უფრო მარტივი ოპერატორების ჯამის სახით და არსებითად ამარტივებს გეოფიზიკური ჰიდროდინამიკის რთული არასტაციონარული მათემატიკური მოდელების რეალიზაციას [20, 21].

რეგიონული საზღვაო პროგნოზის სისტემა საშუალებას იძლევა გამოვთვალოთ შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში ძირითადი ჰიდროფიზიკური სამგანზომილებიანი ველების - ზღვის დინების, ტემპერატურის, მარილიანობისა და სიმკვრივის 3-დღიანი პროგნოზი 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ხოლო საგანგებო სიტუაციების დროს ვიწინასწარმეტყველოთ, აგრეთვე, ზღვაში მოხვედრილი ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების არეები და კონცენტრაციები. როგორც ARENA და ECOOP პროექტებით იყო გათვალისწინებული, გამოთვლებისათვის საჭირო ყველა მონაცემი რიცხვითი მასივების სახით მიიღება ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში ყოველდღიურად ინტერნეტის მეშვეობით. ეს მონაცემებია:

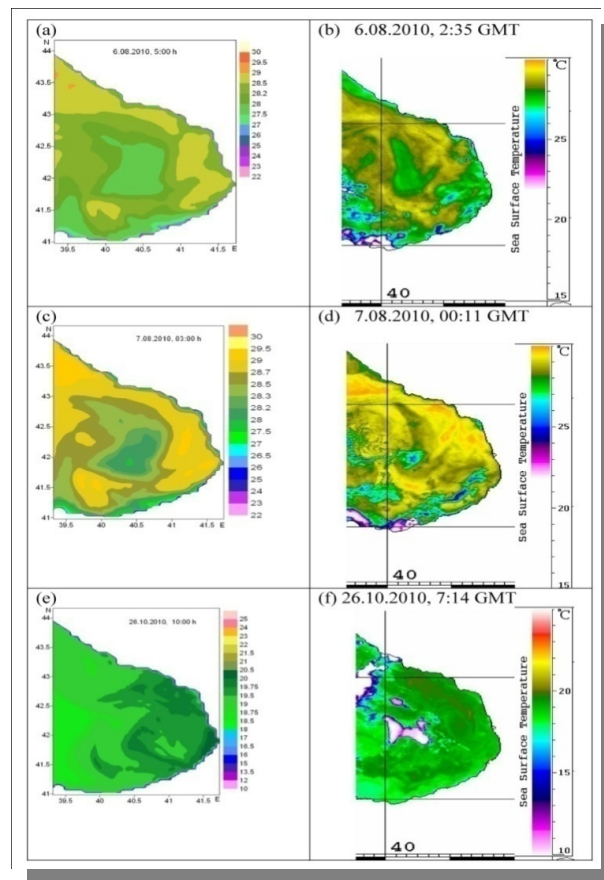
- დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის სამგანზომილებიანი საწყისი ველები;
- დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის მნიშვნელობები დასავლეთის თხევად საზღვარზე;
- პროგნოზული მეტეოროლოგიური ველები ზღვის ზედაპირზე - ქარის ხახუნის ტანგენციალური მდგენელები, სითბოს ნაკადი, ატმოსფერული ნალექები და აორთქლება ზღვის ზედაპირიდან.

შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ვალიდაცია წარმატებით განხორციელდა 2005 წლის 22-26 ივლისს, როდესაც შავი ზღვის ოკეანოგრაფიის ისტორიაში პირველად ჩატარდა პილოტური ექსპერიმენტი პროგნოზის სისტემის ფუნქციონირების გამოცდის მიზნით ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში. პილოტურ ექსპერიმენტში, შავიზღვისპირა ქვეყნების ოკეანოლოგ-ექსპერტებთან ერთად მონაწილეობდნენ მ. ნოდისას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორის თანამშრომლები (*ა. კორძაძე, დ. დემეტრაშვილი*). პილოტურ ექსპერიმენტს კოორდინაციას უწევდა უკრაინის ეროვნული მეცნიერებათა აკადემიის ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტი (*ქ. სევასტოპოლი*). პილოტური ექსპერიმენტის წარმატებით ჩატარებამ ფართო გამოხმაურება ჰპოვა, არა მარტო სპეციალისტთა შორის, არამედ საზოგადოების ფართო ფენებშიც. გაზეთმა „Слава Севастополя“ (19 ავგუსტა 2005, № 153 (22088)) სპეციალური სტატია მიუძღვნა ამ ექსპერიმენტს, სადაც აღნიშნული იყო ქართველ მეცნიერთა წვლილიც ექსპერიმენტის ჩატარების პროცესში.

ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელისა და მინარევების გავრცელების სამგანზომილებიანი მოდელის კომპიუტერული რეალიზაცია ხდება ბადეზე, რომელიც ვერტიკალზე მოიცავს 30 სათვლელ დონეს არათანაბარი ვერტიკალური ბიჯებით, ხოლო თითოეულ ჰორიზონტზე ბადის კვანძების რაოდენობაა 215 x 347. სივრცითი ჰორიზონტალური ბიჯია 1 კმ, ხოლო დროითი ბიჯი - 0.5 სთ.

2010 წლიდან რეგულარულად ხორციელდება ჰიდროფიზიკური ველების მოკლევადიანი პროგნოზის გამოთვლები, რომლის შედეგების განთავსება ხდება ინტერნეტში შემდეგ მისამართებზე: www.ig-geophysics.ge , www.oceandna.ge.

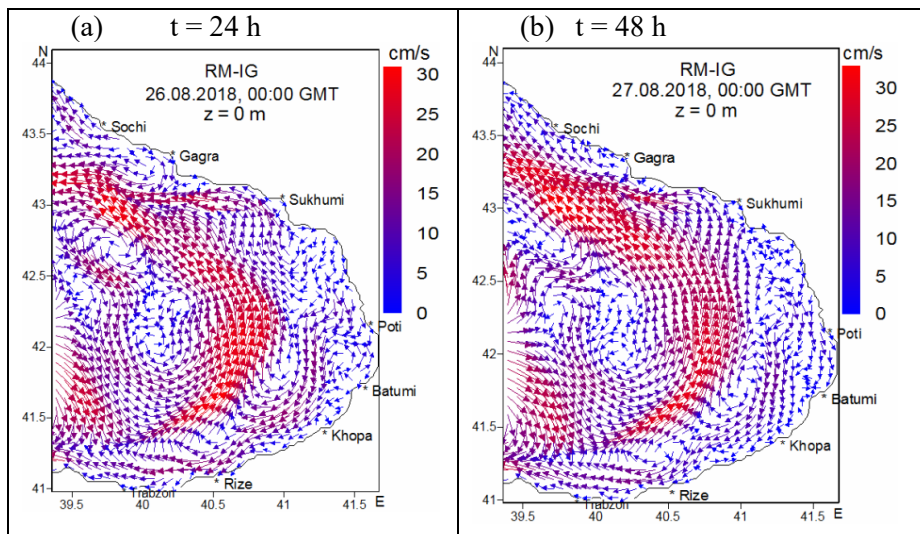
გამოთვლის შედეგების შედარებამ ჩვენთვის ხელმისაწვდომ დაკვირვების მონაცემებთან აჩვენა, რომ პროგნოზული და დაკვირვებული ველები კარგ თანხმობაშია ერთმანეთთან.



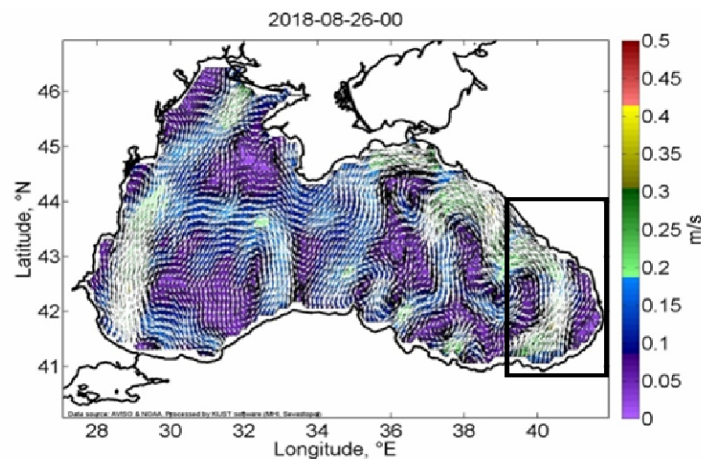
ნახ. 3. პროგნოზული (მარცხნივ) და NOAA თანამგზავრიდან მიღებული ზღვის ზედაპირის ტემპერატურა შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილში 2010 წლის 6, 7 აგვისტოს და 26 ოქტომბერს [9].

ილუსტრაციის მიზნით, ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია რეგიონული მოდელის საფუძველზე გამოთვლილი ზღვის ზედაპირული ტემპერატურის ველები და NOAA დედამიწის ხელოვნური თანამგზავრებიდან მიღებული ზღვის ზედაპირული ტემპერატურის სურათები შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის, რომლებიც შეესაბამებიან 2010 წლის 6, 7 აგვისტოს და 26 ოქტომბერს [9]. პროგნოზული ველების შედარება ხდებოდა იმ თანამგზავრულ სურათებთან, რომლებიც დაახლოებით შეესაბამებოდნენ პროგნოზული ველების შესაბამის დროით მომენ-

ტებს. შედარების მიზნით შეირჩა ის დღეები, როცა შავი ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიის ზემოთ ცა თითქმის თავისუფალი იყო ღრუბელთა საფარისაგან. 26 ოქტომბერს მცირე მოღრუბლულობა დაიკვირვებოდა მხოლოდ განსახილველი ტერიტორიის ცენტრალურ და ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში. ნახ.3-დან ჩანს, რომ გამოთვლილი ველები კარგ თანხმობაშია თანამგზავრულ დაკვირვების მონაცემებთან, მოდელირებული და თანამგზავრული სურათები თითქმის ერთნაირად ასახავენ ტემპერატურული ველების თავისებურებებს. მაგალითად, ნახაზიდან შეიძლება შევნიშნოთ, რომ 2010 წლის 6 და 7 აგვისტოს როგორც პროგნოზული, ასევე თანამგზავრული ტემპერატურის ველებში დაიკვირვებოდა ნაპირის გასწვრივ შედარებით მაღალი ტემპერატურები და დაბალი ტემპერატურები განსახილველი არის ცენტრალურ ნაწილი. 26 ოქტომბერს კი შესამჩნევი იყო წყლის გაცივების საერთო ტენდენცია საქართველოს ნაპირებიდან ზღვის სიღრმისაკენ.



ნახ.4. ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელით გამოთვლილი ზედაპრული დინების პროგნოზული ველები 24 სთ (a) და 48 სთ (b) შემდეგ. პროგნოზის ინტერვალია 25-28 აგვისტო 2018, 00:00 GMT.



ნახ.5. გეოსტროფიული დინების ველი 00:00 GMT, 2018 წლის 26 აგვისტოს, რომელიც აღდგენილია ალტიმეტრიული თანამგზავრული დაკვირვებების საფუძველზე. მართკუთხედით აღნიშნულია პროგნოზის არე განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიაში.

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია რეგიონული პროგნოზული სისტემის საფუძველზე გამოთვლილი ზედაპირული ცირკულაციის ველები 2018 წლის 26 და 27 აგვისტოს 24 და 48 საათის შემდეგ (დრო ათვლილია პროგნოზის საწყისი მომენტიდან) შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში [16]. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ დროის ამ პერიოდისათვის რეგიონული ცირკულაცია ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ ნაწილში ხასიათდებოდა ვიწრო ციკლონური ხასიათის ჭავლით, რომელიც ახლოს ჩაუვლიდა საქართველოს სანაპიროს. გამოთვლების თანახმად, ჭავლური დინების სიჩქარე დაახლოებით 25-30 სმ/წმ -ია. გარდა ამისა, ნახაზზე კარგად ჩანს მცირე მასშტაბის გრიგალური წარმონაქმნებიც.

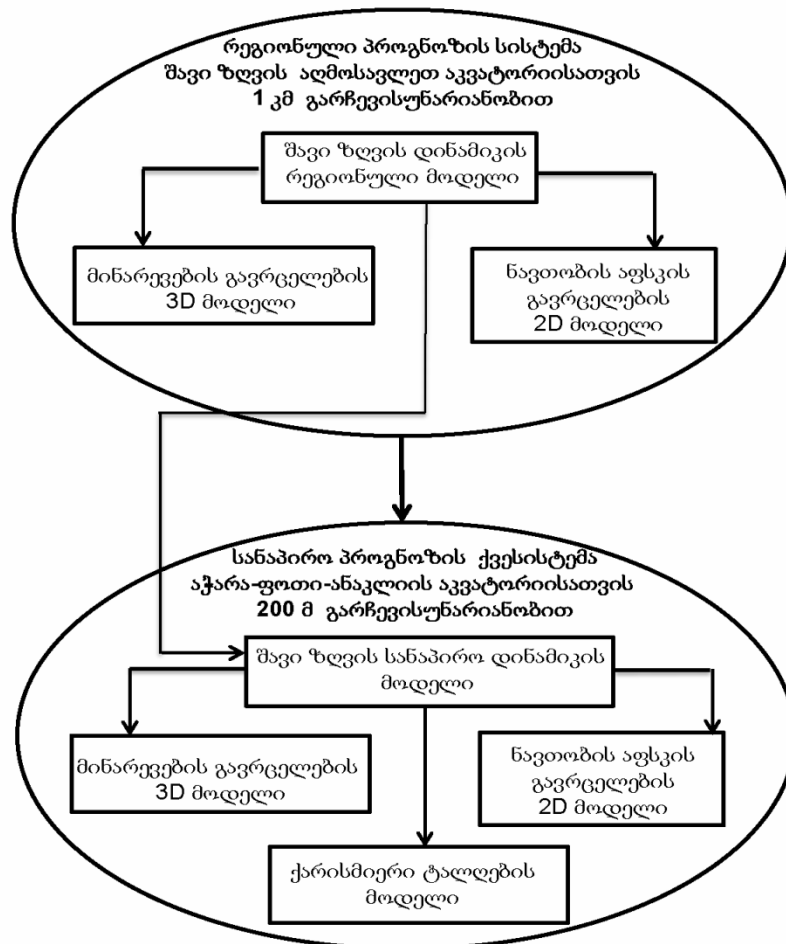
ნახ.5-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის ზედაპირული გეოსტროფიული ცირკულაციის სურათი 2018 წლის 26 აგვისტოსათვის, რომელიც აღდგენილია თანამგზავრული ალტიმეტრიული დაკვირვების მონაცემების საფუძველზე (<http://dvs.net.ru/mp/data/main.shtml>). აქ მართკუთხედით აღნიშნულია ჩვენი მოდელირების არე განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიაში. გამოთვლილი პროგნოზული დინების ველის შედარება (ნახ.4) გეოსტროფიული დინების ველთან (ნახ.5) გვიჩვენებს, რომ მოდელი კარგად აღწერს ციკლონურ ჭავლურ დინებას, რომელიც შეიძლება მივიჩნიოთ, როგორც შავი ზღვის ძირითადი დინების აღმოსავლეთ ტოტი. რაც შეეხება მცირე გრიგალურ წარმონაქმნებს, რომელსაც ჩვენი მოდელი აფიქსირებს, გეოსტროფიული მიახლოება ვერ ახდენს ასეთი მცირე ზომის გრიგალების იდენტიფიცირებას.

რეგიონული პროგნოზის სისტემის ფუნქციონირებამ საშუალება მოგვცა შეგვექმნა უნიკალური მონაცემთა ბაზა, რომელიც მოიცავს დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3-განზომილებიან ველებს 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით შავი ზღვის საქართველოს სექტორსა და მიმდებარე აკვატორიაში 2010-2021 წწ. პერიოდისათვის. ამ მონაცემთა ანალიზმა შესაძლებლობა მოგვცა შეგვესწავლა დინამიკური ველების ცვალებადობის ზოგიერთი თავისებურებები [10-12, 14]. შემდგომში, მონაცემთა უფრო დეტალური ანალიზი საშუალებას მოგვცემს უფრო სრულყოფილი გავხადოთ ჩვენი ცოდნა ზღვის აღმოსავლეთ აკვატორიაში განვითარებული ჰიდროთერმოდინამიკური პროცესების შესახებ, გამოვავლინოთ თერმოხალინური ველების ტრენდი ბოლო 10-12 წლის განმავლობაში, რასაც მნიშვნელოვანი მეცნიერული ღირებულება გააჩნია კლიმატის თანამედროვე ცვლილების თვალსაზრისით.



ნახ. 6. რეგიონული და სანაპირო პროგნოზის არეები შავი ზღვის აღმოსავლეთ ნაწილში.

რეგიონული პროგნოზული სისტემა შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის არ წარმოადგენს საბოლოო ვერსიას. მისი შემდგომი განვითარება და სრულყოფა დაკავშირებულია ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანობის მქონე (სივრცითი ბიჯით 150-200 მ) პროგნოზული ქვესისტემის შემუშავებასთან აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო ზონისათვის, რომელიც არსებული რეგიონული პროგნოზის სისტემის შემადგენელი კომპონენტი იქნება. ამ ქვესისტემის დანიშნულებაა დააზუსტოს და უფრო დეტალიზირებული გახადოს დინამიკური და სხვა ველების პროგნოზი აღნიშნულ აკვატორიაში. ნახ. 6-ზე ნაჩვენებია პროგნოზის არე, სადაც ხდება ამოცანათა რეალიზაცია 1 კმ სივრცით გარჩევისუნარიანობით და ბათუმი-ფოთი-ანაკლიის აკვატორია, სადაც გამოითვლება პროგნოზი 150-200 მ გარჩევისუნარიანობით.



ნახ. 7. საზღვაო პროგნოზული სისტემის გაუმჯობესებული ვერსიის სტრუქტურა.

ნახ. 7-ზე ნაჩვენებია საზღვაო რეგიონული პროგნოზის სისტემის გაუმჯობესებული ვერსიის სტრუქტურა.

როგორც ნახ. 7-დან ჩანს, პროგნოზული ქვესისტემის შემადგენელი კომპონენტები იქნება:

- ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი 3-განზომილებიანი სანაპირო დინამიკის რიცხვითი მოდელი (150-200 მ ბადის სივრცითი ბიჯით), რომელიც ჩადგმული იქნება 1 კმ გარჩევისუნარიან ზღვის დინამიკის მოდელში.
- 2-განზომილებიანი ნავთობის აფსკის გავრცელების რიცხვითი მოდელი.
- 3-განზომილებიანი არაკონსერვატიული მინარევის გავრცელების რიცხვითი მოდელი.

- ზედაპირული გრავიტაციული ტალღების მოდელი.

სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემის ძირითადი ბირთვი იქნება ზღვის დინამიკის მოდელის ახალი მაღალგარჩევისუნარიანი ვერსია, რომელიც მიიღება არსებული რეგიონული მოდელის ადაპტირების გზით აჭარა-ანაკლიის აკვატორიისათვის და სივრცითი გარჩევისუნარიანობის გაზრდით 1 კმ ბადის ბიჯიდან 150-200 მ ბადის ბიჯამდე. ამავე დროს სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემა გაფართოვდება ზღვის ზედაპირული ტალღების პროგნოზის ამოცანით. დაგეგმილია, რომ ქარისმიერი ზედაპირული ტალღების მოდელი დაფუძნებული იქნება სპექტრალური ტალღური ენერჯის ბალანსის განტოლებაზე. აღსანიშნავია, რომ ამავე განტოლებას ეფუძნება ლიტერატურაში კარგად ცნობილი SWAN (Simulating Waves Nearshore) მოდელი, რომელიც საკმაოდ სრულად აღწერს ტალღური მოძრაობის ფორმირებასა და ტრანსფორმაციას სანაპირო ზონებში და ფართოდ გამოიყენება ქარისმიერი ტალღების გამოსათვლელად მთელ რიგ სანაპირო ზონებში [22-24].

სანაპირო პროგნოზული ქვესისტემის ფუნქციონირება შესაძლებელი იქნება არსებულ რეგიონულ სისტემასთან ერთობლივად ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის გამოყენებით (nesting modeling), რაც საშუალებას მოგვცემს გამოვთვალოთ არა მარტო დინამიკური ველებისა და მინარევების გავრცელებისა და კონცენტრაციების პროგნოზი, არამედ ზედაპირული ტალღების სიმაღლე და მიმართულება 150-200 მ გარჩევისუნარიანობით აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო ზონისათვის.

კომპლექსური რეგიონული პროგნოზული სისტემის ახალი ვერსიის პროგრამული უზრუნველყოფა წარმოდგენილი იქნება ერთიანი კომპლექსური პროგრამული პაკეტისაგან, რომელიც შემუშავებული იქნება ალგორითმულ ენაზე „ფორტრანი“. პროგრამული პაკეტი შედგება ცალკეული მოდულებისაგან, რომლებსაც გარკვეული ფუნქციონალური დატვირთვა გააჩნიათ.

ამგვარად, შეიქმნება კომპლექსური ოპერატიული რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც გააერთიანებს 1 კმ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ სისტემას და 150-200 მ გარჩევისუნარიან პროგნოზულ ქვესისტემას აჭარის სანაპირო ზონისა და ფოთი-ანაკლიის მიმდებარე აკვატორიისათვის. აღნიშნული გაუმჯობესებული რეგიონული პროგნოზული სისტემის შემუშავებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება მისი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით, რადგანაც ასეთი სისტემის ფუნქციონირება ოპერატიულ რეჟიმში საშუალებას მოგვცემს უზრუნველყოთ საზღვაო პროგნოზით ისეთი სახალხო-სამეურნეო დარგები, რომელთა სრულფასოვანი ფუნქციონირება საჭიროებს ოპერატიულ ინფორმაციას შავი ზღვის მდგომარეობის შესახებ.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Staneva I. V., Dietrich D. E., Stanev E. V., Bowman M. J. Mesoscale circulation in the Black Sea: New results from DieCAST model simulations. *J. Mar. Sys.* v.31, 2001, pp.137-157.
2. Korotaev G., Oguz T., Nikiforov A., Koblinsky C. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data. *J. Geophys. Res.*, v.108, No. C4, 3122, 2003, pp. 19-15.
3. Stanev E. Understanding Black Sea dynamics: Overview of recent numerical modeling. *Oceanography*, v.18. № 2, 2005, pp. 52-71.
4. Zalesny V. B., Gusev A. V., Moshonkin S. N. Numerical model of the hydrodynamics of the Black Sea and the sea of Azov with variational initialization of temperature and salinity. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 49, № 6, 2013, pp. 699-716.

5. Demyshev S. G., Dymova O. A. Numerical analysis of the mesoscale features of circulation in the Black Sea coastal zone. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 49, № 6, 2013, pp. 603-610, DOI:[10.1134/S0001433813060030](https://doi.org/10.1134/S0001433813060030)
6. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeyev V. L., Demyshev S. G., Kubryakov A. I., Ratner Yu. B. Development of the Black Sea nowcasting and forecasting system. *Ocean Science*, 7, 2011, pp. 629-649. DOI:10.5194/os-7-629-2011/.
7. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev 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.
8. Marchuk G. I., Paton B. E., Korotaev G. K., Zalesny V. B. Data-computing technologies: a new stage in the development of operational oceanography. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol.49, № 6, 2013, pp. 579-591.
9. 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. doi: 10.5194/os-7-793-2011. www.ocean-sci.net/7/793/2011/.
10. 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. З. Нодиа. т. LXIV, 2013, 2013, с. 117-130.
11. 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.
12. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Черного моря. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, т. 49, № 6, 2013, с. 733-745.
13. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. Easternmost Black Sea Regional Forecasting System. *Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment –MEDCOAST 2015*, 6-10 October, Varna, Bulgaria, 2015, pp. 769-780.
14. კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2017, 187 გვ.
15. 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, Mellieha, Malta, t.2, 2017, pp.1215-1224.
16. Demetrashvili D., Kukhalashvili V. High-resolving modeling and forecast of regional dynamic and transport processes in the easternmost Black Sea basin. *Proceed. of the International Conference on Geosciences (GEOLINKS 2019)*, 26-29 March 2019, Athens, Greece, Book 3, vol.1, 2019, pp. 99-107.
17. Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Surmava A., Kvaratskhelia D., Modeling of variability of the regional dynamic processes, developed during 2017-2019 in the easternmost part of the Black Sea. *Proceed. of the International Conference GEOLINKS 2020*, Plovdiv, Bulgaria, ISSN 2603-5472, ISBN 978-619-7495-09-6, Book 2, V.2, 2020, pp. 111-120. DOI 10.32008/GEOLINKS2020/B2/V2.
18. Demetrashvili D., Kukhalashvili V., Kvaratskhelia D., Surmava A. Marine forecast for the easternmost part of the Black Sea. *Conference Proceedings GEOLINKS -2021*, Book 1, Volume 3, 17-18 May 2021, Online Edition, ISSN 2603-5472, ISBN 978-619-7495-17-1, DOI 10.32008/GEOLINKS 2021/B1/V3, pp. 453-460.
19. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U., Gvelesiani A. I. The vortical motions in the Black Sea obtained by the 3D thermo-hydrodynamical numerical model, *Advances in Geosciences*, 14, 2008, pp. 295-299, <http://www.adv-geosci.net/14/295/2008/adgeo-14-295-2008.html>
20. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
21. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Москва, Наука, 1982, 319 с.
22. Rusu E., Silva D., C. Guedes Soares. Evolution of the shoreline dynamics in a coastal sector of the Portuguese nearshore. *Maritime Technology and Engineering*, 3, London, 2016, pp. 1079-1086, ISBN 978-1-138-03000-8.
23. Rusu E., Strategies in using numerical wave models in ocean/coastal applications. *J. Marine Science and Technology*, vol. 19, N. 1, 2011, pp. 58-75, <http://jmst.ntou.edu.tw/marine/19-1/58-75.pdf>.

საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი განვითარების პერსპექტივები შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის

დემეტრაშვილი დ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია რეგიონული საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი შემდგომი განვითარებისა და სრულყოფის პერსპექტივები საქართველოს შავი ზღვის სექტორისათვის. რეგიონული პროგნოზის სისტემა, რომელიც შემუშავებულია ევროკავშირის საერთაშორისო სამეცნიერო-ტექნიკური პროექტების ARENA და ECOOP ფარგლებში და წარმოადგენს მთლიანად შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთ შემადგენელ კომპონენტს, უზრუნველყოფს ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების - დინების, ტემპერატურისა და მარილიანობის 3 დღიან პროგნოზს შავი ზღვის განაპირა აღმოსავლეთ აკვატორიისათვის 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ასევე, ზღვაში მოხვედრილი ნავთობისა და სხვა მინარევების გავრცელების პროგნოზს საგანგებო სიტუაციების შემთხვევაში. პროგნოზული სისტემის შემდგომი განვითარება დაკავშირებულია ქარისმიერი ზღვის ზედაპირული ტალღების პროგნოზის მოდელის ჩართვასა და ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი პროგნოზული ქვესისტემის შემუშავებასთან აჭარა-ფოთი-ანაკლიის სანაპირო აკვატორიისათვის. საზღვაო რეგიონული პროგნოზის სისტემის ახალი ვერსია მნიშვნელოვანი წინგადადგმული ნაბიჯი იქნება საქართველოს სანაპირო ზონის ეკოლოგიური და ნავიგაციური უსაფრთხოებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: ზღვის დინამიკის მოდელი, პროგნოზის სისტემა, ზედაპირული ტალღები, განტოლებათა სისტემა.

MARINE FORECASTING SYSTEM AND PROSPECTS FOR ITS DEVELOPMENT FOR THE GEORGIAN SECTOR OF THE BLACK SEA

Demetrashvili D.

Abstract

The article discusses the regional maritime forecasting system and the prospects for its further development and improvement for the Georgian sector of the Black Sea. The regional forecasting system, developed within the framework of the EU international scientific and technical projects ARENA and ECOOP and being one of the components of the Black Sea basin-scale nowcasting /forecasting system, provides a 3-day forecast of main hydrophysical fields –the current, temperature and salinity with a spatial resolution of 1 km, and in emergency situations - forecasting the spread of oil and other impurities in the sea. Further development of the regional forecasting system is associated with the development of a forecasting

subsystem with a very high resolution for the Adjara-Poti-Anaklia coastal zone and the inclusion of a model of wind-induced surface waves in the subsystem. The new version of the Maritime Regional Forecasting System will be an important step forward for the ecological and navigation security of the Georgian coastal zone.

Key words: sea dynamics model, forecasting system, surface waves, system of equations.

СИСТЕМА МОРСКОГО ПРОГНОЗА И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ ДЛЯ ГРУЗИНСКОГО СЕКТОРА ЧЕРНОГО МОРЯ

Деметрашвили Д.И.

Реферат

В статье обсуждается региональная система морского прогноза и перспективы ее дальнейшего развития и совершенствования для грузинского сектора Черного моря. Региональная система прогнозирования, разработанная в рамках международных научно-технических проектов Евросоюза ARENA и ECOOP и являющаяся одной из компонентов системы диагноза и прогноза Черного моря в бассейновом масштабе, обеспечивает трехдневный прогноз основных гидрофизических полей - течения, температуры и солености с пространственным разрешением 1 км, а в чрезвычайных ситуациях - прогноз распространения нефти и других примесей в море. Дальнейшее развитие системы регионального прогноза связано с разработкой подсистемы прогнозирования с очень высоким разрешением для прибрежной зоны Аджария-Поти-Анаклия и включением модели прогноза ветровых поверхностных волн в подсистему. Новая версия Морской региональной системы прогнозирования станет важным шагом вперед для экологической и навигационной безопасности прибрежной зоны Грузии.

Ключевые слова: модель динамики моря, система прогнозирования, поверхностное волнение, система уравнений.

მანქანური სწავლების (ML) და დიდი მონაცემების (BD) გამოყენება გარემოს ინოვაციურ გადაწყვეტილებებში

ტატიშვილი მ., ფალავანდიშვილი ა.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

m.tatishvili@gtu.ge; an.palavandishvili@gmail.com

შესავალი

კლიმატის ცვლილება ერთ-ერთი ყველაზე სერიოზული გლობალური პრობლემაა, რომელიც საფრთხეს უქმნის დედამიწის ბიომრავალფეროვნებას, ეს ასევე სერიოზული ინტერდისციპლინარული პრობლემაა, რომელიც გავლენას ახდენს მეცნიერების თითქმის ყველა სფეროზე. მსოფლიოში ეკონომიკური და სხვა ზარალი სტიქიური უბედურებების შედეგად იზრდება. კატასტროფების საერთაშორისო მონაცემთა ბაზის (EM-DAT) მიხედვით, ბოლო 70 წლის განმავლობაში, ჰიდრომეტეოროლოგიურმა კატასტროფებმა აჩვენა ყველაზე მაღალი ზრდის ტემპი ნებისმიერი ტიპის სტიქიურ უბედურებებთან შედარებით. პარალელურად, სწრაფად განვითარდა ტექნოლოგიური შესაძლებლობები მსგავს კატასტროფებთან გამკლავებისთვის. კლიმატის ცვლილების გამო, პროგნოზირებულია კლიმატთან დაკავშირებული რისკების ხანგრძლივობა, სიდიდე, სიდიდე და სიხშირე, რომელიც გაიზრდება და გაუარესდება [3]. კლიმატის ცვლილებასთან დაკავშირებული HMR მოიცავს ექსტრემალურ ტემპერატურას, ქარს, გვალვას, ძლიერ ნალექს, ჭექა-ქუხილს, სეტყვას, წყალდიდობას და მეწყერს; მათი სიხშირე და მასშტაბები მომავალში მოსალოდნელია გაიზრდება.

ტერმინი Big Data პოპულარული გახდა ახალი ტექნოლოგიებისა და ინოვაციების წყალობით, რომლებიც გაჩნდა გასული ათწლეულის განმავლობაში, დიდი მოცულობის და სწრაფად წარმოქმნილი ჰეტეროგენული მონაცემების ანალიზის საჭიროების გათვალისწინებით, ამიტომ შეგროვება და დამუშავება ხდება მაღალი სიჩქარით. ხელოვნური ინტელექტის ტექნოლოგიები შესაძლებელს ხდის დიდი მონაცემების ინტეგრირებას პროგნოზირებად და დანიშნულების მართვის ინსტრუმენტებში კლიმატის სისტემების მდგრადობის გასაუმჯობესებლად [1].

დიდი მონაცემები მიზნად ისახავს ხელი შეუწყოს კლიმატთან დაკავშირებულ რისკებზე მოქმედებებს მონაცემთა დიდი მოცულობის, მრავალფეროვნებისა და ხარისხის მიწოდებით შაბლონების იდენტიფიცირებისა და მონაცემების ხელმისაწვდომობის მიზნით. ამრიგად, დიდი მონაცემების მიდგომა შეიძლება გახდეს ძირითადი ინფორმაციის წყარო გადაწყვეტილების მიმღებთათვის შესაბამისი სტრატეგიების შექმნისა და ადაპტაციის, მიმდინარე და მომავალი პრობლემების იდენტიფიცირების და დროული მოქმედებისთვის. დიდი მონაცემების მეთოდები მანქანურ სწავლებასთან დაკავშირებით საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ადამიანების დამოკიდებულება გარემოს ცვლილებებთან და შესისწავლოს ისინი [1,7]. დიდი მონაცემები და მანქანური სწავლების მიდგომები სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვანია ჰეტეროგენული ჰიდრომეტეოროლოგიური მონაცემთა მასივების შექმნისთვის.

მოსალოდნელია, რომ ჰიდრომეტეოროლოგიური საფრთხეები, როგორცაა ძლიერი წყალდიდობა, ქარიშხალი, მეწყერი, ზვავი, სეტყვა, ქარიშხალი, გვალვა და ა.შ. უფრო ხშირი და

მომე გახდება კლიმატის ცვლილების, ეკოსისტემის დეგრადაციის, მოსახლეობის ზრდისა და ურბანიზაციის გამო. ინოვაციური გადაწყვეტილებები, რომლებშიც ბუნებრივი პროცესები და ეკოსისტემები ეხმარებიან სხვადასხვა ტიპის სოციალური და ეკოლოგიური პრობლემების გადაჭრას - ე.წ. ახალი ინოვაციური მიდგომა -ბუნებაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებები (NBS)-ის გამოყენება ჰიდრომეტეოროლოგიური რისკების შესარბილებლად და კლიმატისადმი მდგრადი ლანდშაფტების შესაქმნელად იძლევა შესაძლებლობას შევამციროთ ტრადიციული ბეტონის კონსტრუქციები და ხელახლა დავუკავშიროთ მიწის მართვისა და განვითარების პრაქტიკა ბუნებასთან, რათა მივიღოთ მრავალი სარგებელი ეკოსისტემის სერვისებისა და ეკოსისტემის ფუნქციებისთვის.

როგორც აღიარებულია ევროკავშირის მიერ, NBS გთავაზობთ მდგრად, ხარჯთეფექტურ, მრავალფუნქციურ და მოქნილ ალტერნატივებს მრავალი მიზნისთვის; მათ შორისაა ბიომრავალფეროვნება და ეკოსისტემები, ბუნებრივი რესურსების მართვა, მდგრადი ურბანული განვითარება, კლიმატის ცვლილების ადაპტაცია და შერბილება და კატასტროფების რისკის შემცირება. მწვანე ინფრასტრუქტურას შეუძლია ხელი შეუწყოს გარემოს ტემპერატურის რეგულირებას, ქარიშხლის ჩამონადენის შემცირებას, ენერჯის მოხმარების შემცირებას, ნახშირბადის დაგროვებას და ხელმისაწვდომი რეკრეაციული შესაძლებლობების შექმნას მოსახლეობის ჯანმრთელობისა და კეთილდღეობის გასაუმჯობესებლად. ბუნებასთან მუშაობამ და არა მის წინააღმდეგ, ასევე შეიძლება დააჩქაროს მწვანე და კონკურენტუნარიანი ეკონომიკაზე გადასვლა.

მონაცემები და მეთოდები. საქართველოში სტიქიური მოვლენები სახელმწიფოს მდგრადი განვითარების მუდმივ უარყოფით ფაქტორად უნდა განიხილებოდეს. ამ საფრთხეებიდან გამომდინარე პრობლემების მნიშვნელობა ასტიმულირებს მათში მიმდინარე გამომწვევი მიზეზებისა და ფიზიკური პროცესების აქტიურ შესწავლას.

დიდი მონაცემი გროვდება სხვადასხვა წყაროდან და ეს უფრო სწრაფად ხდება მონაცემთა ახალი ინოვაციების წყალობით:

1. მონაცემთა დიდი რაოდენობა გროვდება დისტანციური ზონდირების, როგორც წესი, სატელიტური ან საჰაერო აპარატების ზონდირების საშუალებით, მათ შორის უპილოტო საჰაერო აპარატების მზარდი გამოყენების ჩათვლით. ეს მოიცავს პასიურ ზონდირებას, როგორცაა ფოტოგრაფია ან ინფრაწითელი გამოსახულება და აქტიური ზონდირება, როგორცაა RADAR/LIDAR. ღია თანამგზავრული მონაცემების ხელმისაწვდომობის გაზრდა დედამიწისა და გარემოსდაცვითი მეცნიერებების მთავარი ტენდენციაა. მაგალითად, ევროკავშირის კოპერნიკუსის პროგრამა და მასთან დაკავშირებული Sentinel მისიები ან NASA Earth Observing System-ის თანამგზავრები, Landsat არქივი. მაღალი ან ძალიან მაღალი გარჩევადობის სტერეოსკოპული გამოსახულებები საჭიროა საშიშროების ვიზუალური ინტერპრეტაციისთვის, რომლებიც ავტომატურად ვერ მიიღება სატელიტური სურათებიდან (როგორცაა მეწყერი), ასევე მთიანი და მთიანი რაიონების გეომორფოლოგიური ინტერპრეტაციისთვის [5,9]. ძალიან მაღალი გარჩევადობის გამოსახულება (QuickBird, IKONOS, WorldView, GeoEye, SPOT-5, Resourcesat, Cartosat, Formosat და ALOS-PRISM) გახდა საუკეთესო ვარიანტი სატელიტური გამოსახულების ვიზუალური რუკებისთვის.

2. მონაცემები გროვდება დედამიწის მიწისპირა მონიტორინგის სისტემების მეშვეობით, რომლებიც შედგება სენსორული ტექნოლოგიების სპექტრისგან, რომლებიც ზომავენ სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ პარამეტრებს (ტემპერატურა, ქარი, ნალექი).

3. მოდელის თვლის შედეგები ასევე არის გარემოსდაცვითი მონაცემების მნიშვნელოვანი წყარო

ამრიგად, დიდი მონაცემი მოიცავს მიწისპირა გაზომვების და დისტანციური ზონდირების დაკვირვებების, მოდელის შედეგების (ERA 5 და NCEP რეანალიზის) მონაცემებს [5], რომლებიც გამოიყენება შემდეგი საფრთხის წინააღმდეგ: ექსტრემალური ტემპერატურა, წყალდიდობა, გვალვა, სეტყვა, ჭექა-ქუხილი, ძლიერი ქარი, ძლიერი წვიმა და მეწყერი. მეტეოროლოგი-

ური პარამეტრების ცვალებადობის ბუნება დიდწილად დამოკიდებულია მზის გვირგვინოვანი მასის გამოფრქვევებზე, როგორც კვლევები აჩვენებს, ისინი იწვევენ მოკლევადიან ატმოსფერულ შემფოთებას. ამ შემფოთების ინტენსივობა იზომება გეოინდექსებით: kp, dst და ა.შ. შესაბამისად, მათი გამოყენება შეიძლება სასარგებლო იყოს მეტეოროლოგიური ექსტრემუმების სივრცითი--დროითი ხასიათის დასადგენად [2,4].

შედეგები და განხილვა. ევროპაში, ევროკომისიის და ევროპის კოსმოსური სააგენტოს (ESA) გლობალური მონიტორინგი გარემოსა და უსაფრთხოებისთვის (GMES) ინიციატივა აქტიურად უჭერს მხარს სატელიტური ტექნოლოგიების გამოყენებას კატასტროფების მართვისთვის ისეთი პროექტების მეშვეობით, როგორცაა PREVIEW (პრევენცია, ინფორმაცია და ადრეული ოპერატიული სერვისები). რისკის მართვის მხარდასაჭერად), LIMES (მიწისა და საზღვაო გარემოს და უსაფრთხოების ინტეგრირებული მონიტორინგი), GMOSS (გლობალური უსაფრთხოებისა და სტაბილურობის მონიტორინგი), SAFER (მომსახურებები და პროგრამები გადაუდებელ სიტუაციებზე რეაგირებისთვის).

გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის პლატფორმა კოსმოსური ინფორმაციის გამოყენებისათვის კატასტროფებზე და საგანგებო სიტუაციებზე რეაგირებისთვის (UN-SPIDER, 2010) შეიქმნა გაეროს მიერ, რათა უზრუნველყოს, რომ ყველა ქვეყანას ჰქონდეს წვდომა კოსმოსურ ინფორმაციაზე და განავითაროს მისი გამოყენების შესაძლებლობა სტიქიური უბედურებების დროს დახმარებისთვის. რისკის მართვის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პროცესია რისკის კომუნიკაცია, ანუ რისკის ინფორმაციის ინტერაქტიული გაცვლა რისკის შემფასებლებს, მენეჯერებს, მედიას, ინტერესთა ჯგუფებსა და ფართო საზოგადოებას შორის. მისი მნიშვნელოვანი კომპონენტია რისკის ვიზუალიზაცია. იმის გამო, რომ რისკი სივრცობრივად ცვალებადი ფენომენია, GIS ტექნოლოგია არის სტანდარტული მიდგომა რისკის შესახებ ინფორმაციის წარმოებისა და წარდგენისთვის.

NBS-ს შეუძლია წვლილი შეიტანოს შემდეგი მრავალმასშტაბიანი ურთიერთდაკავშირებული პრობლემების გადაჭრაში: (ა) მდგრადობის სოციალური განზომილება(ბ) ეკონომიკური განვითარება და (გ) გარემოზე დადებითი ზემოქმედება. გარემოსდაცვითი სარგებლობის თვალსაზრისით, ეს მოიცავს კლიმატის რეგულირებას, სტიქიური უბედურებების მართვას, წყლის მართვას, ეროზიის კონტროლს, მწვანე სივრცის მართვას და ა.შ. ეს ასევე სერიოზული ინტერდისციპლინარული ამოცანაა, რომელშიც მონაწილეობენ მეტეოროლოგები, კლიმატოლოგები, ეკოლოგები, ჰიდროლოგები, ნიადაგმცოდნეები, ბიოლოგები, ქიმიკოსები, ფიზიკოსები და სტატისტიკოსები. პოლიტიკაზე ზემოქმედებისა და კარგად ინფორმირებული ადაპტაციისა და შერბილების სტრატეგიების შემუშავების აუცილებლობის გამო, მზარდი ყურადღება ექცევა სოციალურ მეცნიერებებს და სამეცნიერო ცოდნის გავრცელებას [1,7].

კლიმატის საკითხების სირთულე მოითხოვს ადაპტირებულ საჯარო პოლიტიკის სტრატეგიებს, ქმედებებს, რომლებიც ასტიმულირებს სოციალურ ქცევას და ეკონომიკურ ცხოვრებაზე მარეგულირებელი და საბაზრო რეაგირების განვითარებას. ამ რთული სოციალური მოთხოვნის დასაკმაყოფილებლად, კვლევა ფოკუსირებულია კლიმატის ცვლილების მიზეზების გაგებაზე, პროგნოზირებადი მოდელებისა და შემარბილებელი გადაწყვეტილებების შემუშავებაზე და სოციალური დამოკიდებულების ჩამოყალიბების შესაძლებლობების შესწავლაზე.

დასკვნა

კატასტროფების რისკის შემცირება სენდაის 2015-2030 წლების კატასტროფების რისკის შემცირების ჩარჩოს მიხედვით მიზნად ისახავს თავიდან აიცილოს ახალი და არსებული კატასტროფების რისკები, ხოლო კლიმატის ცვლილების ადაპტაცია მიზნად ისახავს ადაპტაციური შესაძლებლობების ჩამოყალიბებას და დაუცველობის შემცირებას კლიმატის

ცვლილების გარდაუვალი უარყოფითი შედეგების მიმართ. ანთროპოგენური სათბურის გაზების გამოყოფის შედეგად. მოწყვლადობის, რისკის განმსაზღვრელი ფაქტორების და ხალხის დამოკიდებულების გაგება ერთნაირად მნიშვნელოვანია ორივესთვის.

DRR და კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის პროგრამების თანხვედრა ქმნის პირობებს უფრო დიდი პოლიტიკური ზემოქმედებისთვის, რესურსების უფრო ეფექტური გამოყენებისა და უფრო ეფექტური ქმედებებისთვის სიცოცხლის, საარსებო წყაროებისა და ღირებული აქტივების დასაცავად. ინტეგრაციის ნაკლებობა იწვევს არასაკმარის დაცვას და რესურსების ფუჭად გამოყენებას

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Tatishvili M.R., Palavandishvili A.M., Tsitsagi M.B., Suknidze N.E. The Use of Structured Data for Drought Evaluation in Georgia Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127 Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(1), 2022, pp. 45-51.
2. Tatishvili M., Mkurnalidze I., Samkharadze I., Tsintsadze N. Impact of solar coronal mass ejections (CME) on formation of Earth climate and weather pattern. International Scientific Journal. Journal of Environmental Science, ISBN -13:978-1721539185, v.7, issue 1, 2018, pp. 1-5.
3. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013)
4. Tatishvili M., Khvedelidze Z., Mkurnalidze I., Samkharadze I., Kokosadze Kh. The connection of geomagnetic activity and weather formation in Georgian region. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 2018.
5. Tatishvili M. Developing Weather Forecasting System in Georgia. Ecology & Environmental Sciences, 2 (7), 2017, DOI:10.15406/mojes. 2017.02.00046.
7. Tatishvili M., Palavandishvili A. The Big Data and Machine Learning in Environmental Monitoring in Georgia. Proceedings of International Conference on Sustainable Cities and Urban Landscapes (ICSULA 2022) 25/11/2022, ISBN: 978-625-8246-85-8, pp. 56
8. Tatishvili M., Bolashvili N., Palavandishvili A. Impact of short-term geomagnetic activity on meteorological parameters variability on the middle latitude region. Georgian Geographical Journal, Volume 2 <https://doi.org/10.52340/ggj.2022.756> 2022
9. Tatishvili M.R., Mkurnalidze I.P., Samkharadze I.G., Chinchaladze L.N. Application of Satellite Imaginary in Forestry for Georgia. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN: 1512-1127, v. 21(1), 2018, pp. 18-25, <https://openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/2484>.

მანქანური სწავლების (ML) და დიდი მონაცემების (BD) გამოყენება გარემოს ინოვაციურ გადაწყვეტილებებში

ტატიშვილი მ., ფალავანდიშვილი ა.

რეზიუმე

დიდი მონაცემებისა და მანქანური სწავლების მეთოდების გამოყენება ინოვაციური გარემოსდაცვითი გადაწყვეტილებებისთვის განხილულია წარმოდგენილ ნაშრომში. ეს საკითხი სულ უფრო აქტუალური ხდება, განსაკუთრებით მას შემდეგ, რაც დაიწყო მისი შესწავლა დედამიწის სადამკვირვებლო მისიის თანამგზავრების მიერ. მოდელის შედეგები ასევე მნიშვნელოვანი მონაცემთა წყაროა გამოსაყენებლად. დაგროვდა დიდი რაოდენობით ინფორმაცია, რომლის დამუშავება ახალ მიდგომებს მოითხოვს. დიდი მონაცემები და მანქანური სწავლება აქტუალური გახდა კლიმატის ცვლილების შეფასებისას. კლიმატის ცვლილების ნეგატიური ზემოქმედების შერბილება

შესაძლებელია ბუნებაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებების გამოყენებით, რომელთა განხორციელება მოითხოვს დიდი მონაცემებისა და მანქანური სწავლების მიდგომებს.

საკვანძო სიტყვები: დიდი მონაცემები, მანქანური სწავლება, ბუნებაზე დაფუძნებული გადაწყვეტილებები, კლიმატის ცვლილება

APPLYING MACHINE LEARNING (ML) AND BIG DATA (BD) TO INNOVATIVE ENVIRONMENTAL SOLUTIONS

Tatishvili M., Falavandishvili A.

Abstract

The use of big data and machine learning methods for innovative environmental solutions are discussed in presented paper. This issue is becoming more and more actual, especially after it began to be studied by satellites of the Earth observation mission. The model outcomes are also important data source to be used. A large amount of information has been accumulated, the processing of which requires new approaches. Big data and machine learning have become relevant in the assessment of climate change. The negative impact of climate change can be mitigated by using Nature Based Solutions, which implementation requires Big Data and Machine Learning approaches.

Key words: big data, machine learning, nature-based solutions, climate change.

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ (ML) И БОЛЬШИХ ДАННЫХ (BD) К ИННОВАЦИОННЫМ ЭКОЛОГИЧЕСКИМ РЕШЕНИЯМ

Татишвили М., Палавандишвили А.

Реферат

В представленной статье обсуждается использование больших данных и методов машинного обучения для инновационных экологических решений. Этот вопрос становится все более актуальным, особенно после того, как его начали изучать спутники миссии наблюдения Земли. Результаты модели также являются важным источником данных для использования. Накоплен большой объем информации, обработка которой требует новых подходов. Большие данные и машинное обучение стали актуальными для оценки изменения климата. Негативное воздействие изменения климата можно смягчить, используя решения, основанные на природе, для реализации которых требуются подходы к большим данным и машинному обучению.

Ключевые слова: большие данные, машинное обучение, основанные на природе решения, изменение климата.

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАДОВЫХ И ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУЗИИ

^{1,2}Бердзенишвили Н.М., ³Киркитадзе Д.Д.

¹Якоб Гогебашиვილი Телавский государственный университет, Телави, Грузия

²Академия экологических наук Грузии, Тбилиси, Грузия

nana.berdenishvili@tesau.edu.ge

³Институте геофизики им. М. Нодиа, ТГУ, Тбилиси, Грузия

Введение

К опасным метеорологическим явлениям (ОЯ) относятся явления погоды, которые интенсивностью, продолжительностью и временем возникновения представляют угрозу безопасности людей, а также могут нанести значительный ущерб отраслям экономики. К ним относятся ураганные ветры, смерчи (торнадо), шквалы, град, грозы, гололёд и изморозь, гололедица, метели, ливни, продолжительные дожди, снегопады, туманы, пыльные бури, аномальная жара, понижения горизонтальной и вертикальной дальности видимости. В Грузии, в той или иной степени, наблюдаются практически все перечисленные ОЯ погоды. В данной работе представлен обзор работ грузинских ученых по исследованиям града и гроз в последние десятилетия.

Град

Грузия является одним из градоопасных регионов мира. О градобитиях, как о чрезвычайно опасном явлении для Грузии, упоминают древние летописцы. В частности, упоминается о разрушении языческих идолов градом и ураганом в предхристианскую эпоху (IV век) в Грузии, которые были вызваны молитвами Святой Нино [https://ka.wikipedia.org/wiki/საქართველო_IV_საუკუნეში]. Вахушти Багратиони [1] упоминает частые градобития в местности от Хеви до Сванетии, существенно повреждавшие выращиваемые здесь пшеницу, ячмень, овес. Однако, в этом труде Вахушти Багратиони нет упоминаний о серьезном вреде от градобитий в других частях Грузии, в том числе в Кахетии, где в средние века выращивали зерновые культуры, виноград, фрукты, хлопок, рис и др. Причиной этого, по мнению авторов [2], могла быть то, что более 80% территории Кахетии в 1730-1740 гг. была покрыта лесом. Со временем площадь лесов здесь уменьшилась и усилились конвективные процессы, приводящие к градобитиям.

С середины XIX века грузинские газеты начали систематически публиковать сообщения о градобитиях и их последствиях. Так, в июле 1877 года газета «Иверия» сообщала о выпадении града с голубинное яйцо в Гурджаанском районе, который уничтожил посевы и виноградники [3].

Поэтому не удивительно, что исследованиям градовых процессов в Грузии уделялось и уделяется особое внимание [4-11], включая использование этих исследований для практических целей – борьбе с градобитиями [12-16]. В частности, в работе [12] предложена количественная характеристика интенсивности градобитий, названная степенью градоопасности, которая изменяется от 0 до 1. В соответствие с [12] Грузия относится к наиболее градоопасным районам бывшего СССР, где проводились противоградовые работы (степень градоопасности = 1).

В настоящее время в Грузии град выпадает повсеместно. Так, по данным работ [4-8, 17,18-21] меньше всего градобитий наблюдается на Черноморском побережье и в Колхидской низменности (среднее число дней с градом в год около 2, а наибольшее - достигает 9 в Поти). Град здесь выпадает круглогодично. В Восточной Грузии годовое число дней с градом в Кахетии составляет 2–3, на Южно-Грузинском нагорье – 7–10, в центральной части Большого Кавказа – более 6. Максимальное число дней с градом в течение года на Южно-Грузинском нагорье и в центральной части Большого Кавказа превышает 20. В этих регионах градовые процессы наблюдаются в теплое полугодие (в основном с апреля по октябрь), и наиболее активны весной и в первой половине лета.

В таблице 1 представлены статистические характеристики осредненного по климатическим районам (зонам) числа дней с градом в теплое полугодие (апрель-октябрь) для 123 метеостанций Грузии в 1941-1990 гг. [17].

Таблица 1. Статистические характеристики осредненного по климатическим зонам числа дней с градом в теплое полугодие (ЧДГ) для 123 метеостанций Грузии в 1941-1990 гг.

Регион, климатическая зона	Колич. станций	Площадь, км ²	Площадь на одну станцию, км ²	Макс.	Среднее
I. Южная часть Черноморского побережья.	4	900	225	2	0.30
II. Северная часть Черноморского побережья.	9	2000	220	4	0.37
III. Внутренняя равнинная часть Западной Грузии с предгорьями.	29	10900	375	6	0.32
IV. Имеретинская возвышенность.	10	3700	370	8	0.61
V. Верхнекартлийская и Нижнекартлийская равнины с предгорьями.	16	7000	440	10	1.4
VI. Алазанская долина с предгорьями.	5	4200	840	8	1.68
VII. Иорское плоскогорье с прилегающими степями.	4	5600	1400	7	1.06
VIII. Периферийная часть Западного Кавкасиони.	3	2900	970	12	1.47
IX. Внутренняя часть Внутреннего Кавкасиони.	13	9900	760	15	1.58
X. Предгорье и среднегорье Восточного Кавкасиони.	3	4400	1470	7	0.89
XI. Высокогорье Восточной Грузии.	4	2200	5500	15	2.03
XII. Северные склоны Кавкасиони.	2	2500	1250	8	1.17
XIII. Западная часть Южно-Грузинского нагорья.	4	2600	650	13	1.4
XIV. Южные склоны Месхетского и Триалетского хребтов.	10	5500	650	13	3.15
XV. Южная часть Южно-Грузинского нагорья.	7	5700	815	20	3.65

В этой же таблице представлены примерные площади климатических районов и значение площадей, приходящихся в среднем на одну метеостанцию в соответствующей зоне. К сожалению,

плотность метеостанций, имеющих 50-летний ряд наблюдений за числом дней с градом, в различных климатических районах различна. При средней плотности 1 метеостанция на 570 км² по всей территории Грузии в 1 и 2 климатических зонах эта плотность составляет соответственно, 1 метеостанция на 225-220 км², тогда как для районов 4 и 10 – 1 метеостанция на 1400 и 1470 км².

Из таблицы 1 также следует, что распределение ЧДГ по климатическим районам Грузии, как и для отдельных станций (диапазон изменения от 0 для всех станций до 20 для Ниноцминда, климатическая зона N 15, высота 2077 м над ур. моря; диапазон изменения средних значений от 0,2 – Сенаки и Ацана, зона N 3, высота 45 и 190 м над ур. моря соответственно до – 3,76 для Корулдаш, зона N 9, высота 1947 м над ур. моря), носит довольно неравномерный характер. В соответствие со статистическим анализом редких событий средние по метеостанциям числа дней с градом не отличаются друг от друга для следующих пар климатических зон: 1-2 и 3; 2 и 3; 5-6,8,9,12 и 13; 6-8,9,11 и 13; 7-10 и 12; 9 и 13; 10 и 12; 12 и 13; 14 и 15. Для остальных пар районов, с достоверностью не менее 90%, имеются различия.

По данным последних лет (2006-2021) для 41 пункта Грузии максимальное среднегодовое количество ЧДГ наблюдается в Ахалцихе (3.4), максимальное годовое количество дней с градом наблюдается в Мирвети (16). В 25 пунктах Грузии в холодный период года (ноябрь-март) градовых процессов не наблюдалось [22]. К сожалению, количество метеостанций в Грузии в последние годы существенно уменьшилось, что затрудняет иметь полную картину изменчивости числа дней с градом в результате изменения климата.

С высотой местности число дней с градом увеличивается примерно до 3000 м над уровнем моря, а затем – убывает [3, 4, 8, 17]. Это увеличение связано из-за развития восходящих потоков перед препятствиями, усиления турбулентности в приземном слое воздуха и, как следствие, увеличения конвективной облачности. В то же время, характер изменения числа дней с градом с высотой зависит от конкретного района, его климатических особенностей, экспозиции склона и других факторов.

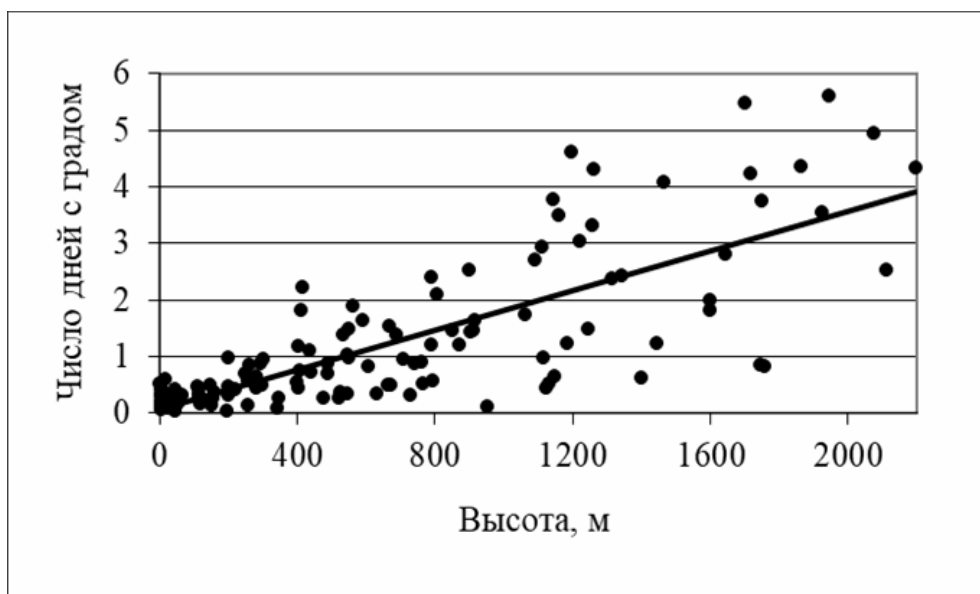


Рис. 1.

Вертикальное распределение среднего числа дней с градом в теплое полугодие для 122 метеостанций Грузии в период с 1941 по 1990 гг. [17].

Для примера на рис. 1 представлено распределение с высотой среднего ЧДГ в теплое полугодие для 122 метеостанций Грузии в период с 1941 по 1990 гг. в диапазоне высот от 2 до 2197 м над ур. моря (без станции Казбеги высокогорная, высота 3656 м над ур. моря где наблюдается резкое уменьшение среднего числа дней с градом – 1,5) [17]. Коэффициент корреляции в данном случае равен 0,77 (рис. 1), уравнение регрессии: $ЧДГ = 0,0018 \cdot H + 0,0698$. С учетом станции Казбеги высокогорная коэффициент корреляции между ЧДГ и H убывает составляет 0,71. Однако, это уменьшение не является значимым.

Максимальная активизация градовых процессов в Кахетии происходит, в основном, в мае и июне, а в Центральной части Большого Кавказа вторичный максимум выпадения града отмечается в сентябре. Интенсивность градобитий в существенно зависит от размеров градин и продолжительности градобития. Диаметр градин колеблется в широких пределах, от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Согласно В.М. Гигинеишвили [4] в Восточной Грузии максимальный диаметр выпавшего града составляет 4–5 см. В Самсарском районе Восточной Грузии отмечается выпадение градин диаметром 3 см [23], в Алазанской долине в основном выпадают градины диаметром 1.4–1.8 см [24,25]. В целом, для исследуемой территории в большинстве случаев характерно выпадение мелкого интенсивного града – около 70%. Повторяемость выпадения среднего (20-30 мм) и крупного (диаметром более 30 мм) града составляет 25-30%. Повторяемость града диаметром 30-50 мм доходит до 10%, в 4% случаев градобитий выпадает град диаметром более 50 мм [8, 20].

В последние годы, указанные выше данные о размерах выпавшего града существенно не изменились. Так, по данным работы [26] в 2014-2018 гг. на территории Кахетии размер выпавшего града варьировал в диапазоне от 8 до 20 мм. Во время интенсивного градового процесса 28 мая 2019 г. по данным радиолокационных измерений размера градин в облаках (с последующим пересчетом их диаметра у поверхности) на трассе Тбилиси – Рустави размер градин изменялся от 0 до 26.7 мм (средний диаметр – 13.5 мм); в Кварельском муниципалитете - от 0 до 26.5 мм (средний диаметр – 8.0 мм); в муниципалитете Сагареджо - от 0 до 35.3 мм (средний диаметр – 21.6 мм) [27]. В работе [28] представлены результаты статистического анализа таких параметров градовых процессов для отдельных муниципалитетов Кахетии в период с 2016 по 2019 гг., как: максимальная высота градовых облаков, максимальный диаметр градин в облаках, количество градовых облаков различных категорий, повторяемость градовых облаков различных категорий, средний относительный коэффициент градовой опасности. В частности, получено, что в градовых облаках средний максимальный размер градин над различными муниципалитетами Кахетии составлял: Ахмета – 16.2 мм, Гурджаани – 21.5 мм, Дедоплисцкаро – 16.0 мм, Телави – 18.3 мм, Лагодехи – 19.4 мм, Сагареджо – 17.3 мм, Сигнаги – 19.0 мм, Кварели – 17.4 мм.

В работах [29, 30] представлены результаты моделирования распределения градин по среднему максимальному диаметру (D) на территориях муниципалитетов Кахетии, а также зависимости D от высоты местности. Для моделирования были использованы данных об уровне нулевой изотермы и радиолокационных измерений максимальных размеров града в облаках в 2016-2019 гг. [28].

В отдельных муниципалитетах значения D в различные месяцы градового сезона следующие [29].

- Ахмета. Апрель: $0.63 \div 1.17$ см; май: $1.12 \div 1.69$ см; июнь: $1.31 \div 1.94$ см; июль: $1.13 \div 1.86$ см; август: $0 \div 1.11$ см; сентябрь: $1.13 \div 1.79$ см; апрель-сентябрь: 1.32 см.

- Дедоплисцкаро. Апрель: 0.52÷0.76 см; май: 1.05÷1.22 см; июнь: 1.24÷1.41 см; июль: 1.04÷1.25 см; август: 0÷0 см; сентябрь: 1.05÷1.24 см; апрель-сентябрь: 0.84 см.
- Гурджаани. Апрель: 0.57÷0.82 см; май: 1.08÷1.27 см; июнь: 1.27÷1.46 см; июль: 1.08÷1.31 см; август: 0÷0 см; сентябрь: 1.08÷1.29 см; апрель-сентябрь: 0.88 см.
- Кварели. Апрель: 0.57÷1.17 см; май: 1.08÷1.55 см; июнь: 1.27÷1.74 см; июль: 1.08÷1.63 см; август: 0÷0.76 см; сентябрь: 1.09÷1.59 см; апрель-сентябрь: 0.98 см.
- Лагодехи. Апрель: 0.56÷1.17 см; май: 1.07÷1.59 см; июнь: 1.26÷1.78 см; июль: 1.07÷1.68 см; август: 0÷0.83 см; сентябрь: 1.07÷1.63 см; апрель-сентябрь: 0.93 см.
- Сагареджо. Апрель: 0.63÷0.95 см; май: 1.13÷1.38 см; июнь: 1.31÷1.57 см; июль: 1.13÷1.43 см; август: 0÷0.30 см; сентябрь: 1.13÷1.40 см; апрель-сентябрь: 0.94 см.
- Сигнаги. Апрель: 0.55÷0.79 см; май: 1.07÷1.25 см; июнь: 1.26÷1.43 см; июль: 1.06÷1.28 см; август: 0÷0 см; сентябрь: 1.07÷1.26 см; апрель-сентябрь: 0.82 см.
- Телави. Апрель: 0.61÷1.17 см; май: 1.11÷1.61 см; июнь: 1.30÷1.80 см; июль: 1.11÷1.70 см; август: 0÷0.86 см; сентябрь: 1.11÷1.65 см; апрель-сентябрь: 1.03 см.

Значения D в диапазоне высот от 110 до 3840 м над уровнем моря в различные месяцы года меняются следующим образом [30]. Апрель: 0.52÷1.17 см; май: 1.05÷1.69 см; июнь: 1.24÷1.94 см; июль: 1.04÷1.86 см; август: 0÷1.11 см; сентябрь: 1.05÷1.79 см.

Эффект воздействия на внешнюю среду существенно зависит от размеров градин. Так, градины диаметром более 5 см оказывают очень сильный – катастрофический эффект. С уменьшением размеров градин эффект воздействия уменьшается и градины диаметром менее 5 мм ущерба практически не наносят. Выпавшие градины на поверхности земли образует градовые дорожки, которые исследовались многими авторами [4, 9]. По данным В.М. Гигинеишвили [4], в Восточной Грузии средняя длина градовых дорожек колеблется в пределах 20–30 км, а средняя ширина колеблется в пределах 5–7 км. Таким образом площадь занятая градобитием составляет в среднем 100–200 км². Максимальная длина градовых дорожек, также по данным В.М. Гигинеишвили, составляет 100 км, а максимальная ширина равна 10 км.

В работах [3, 11, 20, 21], с учетом анализа литературных данных, предложена шкала интенсивности градобитий с учетом размера выпавших градин, площадей 100% повреждения и возможного повреждения и ущерба.

Градобития интенсивностью 1 балл (диаметр градин ≤5 мм, площадь повреждения менее 100 га, эффект слабый). При таких градобитиях частично повреждаются посевы и листья деревьев.

Градобития интенсивностью 2 балла (диаметр градин 6-10 мм, площадь повреждения 100 - 500 га, эффект умеренный). Заметно повреждаются сады, виноградники, зерновые культуры и посевы.

Градобития интенсивностью 3 балла (диаметр градин 11-20 мм, площадь повреждения 600 - 1000 га, эффект средний). Повреждаются парники, окна зданий и транспортных средств, матерчатые перекрытия и навесы, частично повреждаются крыши зданий, сады, виноградники и посевы зерновых культур.

Градобития интенсивностью 4 балла (диаметр градин 21-50 мм, площадь повреждения 1100 - 5000 га, эффект сильный). Полностью уничтожаются посевы, пробиты крыши домов, разбиты стекла окон, побиты домашние птицы и мелкий скот. Повреждаются стены кирпичных зданий, разбиты стекла транспортных средств и повреждаются их корпуса. Существует риск повреждения корпусов легких самолетов.

Градобития интенсивностью 5 баллов (диаметр градин более 50 мм, площадь повреждения более 5000 га, эффект очень сильный). Полное уничтожение урожая сельскохозяйственных культур,

посевов и пастбищ. Разрушение деревянных зданий, серьезное повреждение кирпичных зданий, корпусов самолетов и автомобилей, разрушение крыш некоторых зданий. Имеются жертвы домашнего скота, наличие риска гибели людей.

Следует отметить, что указанная шкала градобитий имеет достаточно общий характер. При сопровождении градобитий сильным или ураганным ветром значительно повышается степень повреждения как растений, так и строений и транспортных средств. В этих случаях даже градины небольшого диаметра, характерные для интенсивности 1-2 балла, могут приводить к ущербу, присущему градобитиям 3 и более баллов, не говоря о выпадении более крупного града. Крупные градины, вкупе с сильным или ураганным ветром, могут приводить к катастрофическим последствиям как экономического, так и гуманитарного характера (разрушение домов, транспортных средств, электропередающих коммуникаций, гибель домашних животных и людей, и др.). Еще более тяжелые последствия могут быть при сопровождении указанных процессов интенсивными ливнями, приводящими, помимо сказанного выше, к наводнениям, селям, оползням.

В Восточной Грузии повторяемость продолжительности града следующая: менее 5 мин около 60% случаев менее 10 мин. - 80% случаев; более получаса - 3% случаев; более часа - менее 1% случаев. Средняя продолжительность градобития составляет 9–10 мин. В частности, наиболее продолжительные градобития отмечены 21 мая 1982 года в Кахетии (Сигнахи, Анага, Гурджаани, Тобаани - выпадение града длилось 240 минут), а также 8 июня 1986 года на Южно-Грузинском нагорье (Цалка - градобитие продолжалось 210 мин.) [3, 11].

Принимая во внимание, что градобития наносят существенный ущерб сельскохозяйственным культурам, в 1960-1989 годах (Кахетия, Южная Грузия) на общей площади около 1.2 млн гектаров проводились крупномасштабные опытные, опытно-производственные и производственные работы по воздействию на градовые процессы [31]. Положительный эффект этих работ изменялся в интервале 20 - 95% со средним значением 75 - 85%. В последующие четверть века, после прекращения этих работ, ущерб сельскому хозяйству от града возрос и вернулся к уровню, бывшему до начала противоградовых работ, который в среднем составлял 4.75 % по отношению к площади сельхозугодий [11, 32]. Учитывая это, правительством Грузии было принято решение о возобновлении противоградовых работ, для начала в Кахетии. Современная противоградовая служба в Кахетии начала функционировать в мае 2015 г. [32] с перспективой расширения в других регионах Грузии [16].

В годы работы противоградовой службы в советский период времени (1967-1989 гг.) оценка ущерба от градобитий проводилась органами государственного страхования, местными агропромышленными организациями (РАПО – районные агропромышленные объединения), а также специальным экономическим отделом Службы борьбы с градом. Обычно, размеры ущерба, определенные этими организациями, отличались друг от друга. Ниже представлена некоторая информация об ущербе от градобитий на основании анализа данных госстраха по обследованию поврежденных градом территорий в Кахетии в 1982, 1984-1989 гг. [11].

Так, в день с градобитием наиболее часто повреждались территории площадью менее 1, а также от 1 до 5 км² (соответственно в 46 и 37.9% случаев). Территории площадью 6-10 км² повреждались на 100% в менее 7% случаев, 11-50 км² – в 9% случаев, более 50 км² – в менее 1% случаев. В среднем в день с градом на 100% поврежденная территория составляла 4.0 км².

Наиболее часто в день с градом ущерб от градобитий составлял 100-500 тыс. долларов США (чуть более 41% случаев), ущерб до 100 тыс. долларов был в 32.3% случаев. В 9.7% случаев градобития в день с градом повреждали сельскохозяйственные культуры на сумму от 0.5 до 1 млн.

долларов, от 1.0 до 2.0, от 2.0 до 3.0, от 3.0 до 5.0, от 5.0 до 10.0 и более 10 млн. долларов соответственно в 6.5, 5.6, 1.6, 2.4 и 0.8 % случаев. В среднем в день с градом ущерб составлял 0.827 млн. долларов.

Наибольший ущерб в Кахетии приносили градобития интенсивностью 4 балла (площадь повреждения на 100 % 11-50 км², ущерб - 43.3% от общего экономического ущерба). Примерно одинаковый экономический ущерб приходился на градобития интенсивностью 2 и 5 баллов (соответственно, площади повреждения 1-5 км² и более 50 км², ущерб - 20.1 и 21.4% от общего экономического ущерба). Наименьший экономический ущерб приходился на градобития интенсивностью 1 балл (площади повреждения менее 1 км², ущерб - 4.0% от общего экономического ущерба). Градобития интенсивность 3 балла (площади повреждения 6-10 км²) приносили экономический ущерб в размере 11.2% от суммарного экономического ущерба [11].

За указанный промежуток времени всего пострадали сельхозугодия 123 населенных пунктов. При этом, наибольшее число этих населенных пунктов относилось к Телавскому и Гурджаанскому муниципалитетам (по 21 населенному пункту, наименьшее – к Кварельскому муниципалитету (11 населенных пунктов)). За этот период времени на 123 населенных пунктах всего было зафиксировано 547 случаев с градом (или, в среднем, 78 случаев с градом). Наибольшее число дней с градом было зафиксировано на территориях 21 населенного пункта Телавского муниципалитета (28.9 % случаев), наименьшее – территориях 15 населенных пунктов Лагодехского муниципалитете (6.6% случаев). Соответственно, наибольший ущерб от градобитий отмечался на территории Телавского муниципалитета (117 км² поврежденных на 100% сельхозугодий за 7 лет, или 16.7 км² в год, что составляло 23.6% от общей площади поврежденных на 100% площадей). Наименьшее - на территории Лагодехского муниципалитета (21 км² поврежденных на 100% сельхозугодий за 7 лет, или 3.0 км² в год, что составляло 5.1% от общей площади поврежденных на 100% площадей). Среднегодовой ущерб от градобитий на всей территории Кахетии за указанный период времени составлял 70.8 км² поврежденных на 100% площадей сельхозугодий.

Следует отметить, что в 1982, 1984-1989 гг. по данным [33], площадь защищаемой территории изменялась от 6700 до 7850 км² (среднее значение – 7664 км²), площадь сельхозугодий – от 2810 до 4810 км² (среднее значение – 4381 км²). Максимальная площадь, поврежденная градом на 100%, составляла 205.9 км², минимальная – 8.7 км², средняя – 62 км² (по данным табл. 5 [11] несколько выше - 70.8 км²). Максимально ожидаемая площадь сельхозкультур, поврежденных градом на 100% без воздействий на градовые облака, составляла 377 км², минимальная – 80 км², средняя – 208 км². Или, соответственно, по отношению к площади сельхозугодий, 8.6, 1.8 и 4.75 %. С учетом данных табл. 5 [11] среднегодовой ущерб от градобитий составлял 1.6% от средней площади сельхозугодий в то время, или меньше ожидаемого минимального и среднего ущерба в отсутствии противоградовых работ, несмотря на различие оценок площадей поврежденных градом сельхозкультур по данным госстраха и [32]. В среднем за указанные семь лет экономический эффект по данным госстраха составлял 66%, против 70% по данным [33], что не слишком отличается друг от друга.

Отметим, что в соответствии с [33] средняя экономическая эффективность противоградовых работ в Кахетии по данным о поврежденных на 100% территориях сельскохозяйственных угодий до начала работы противоградовой службы и в период ее деятельности с 1967 по 1989 гг. составляла около 75%. Средняя физическая эффективность (сопоставление данных об ожидаемых и реальных случаях града) – около 85% [11].

Наконец, в работе [34] представлены некоторые результаты противоградовых работ в Кахетии за 2016-2020 годы. Площадь защищаемой от града территории ~8000 км², в том числе общая площадь сельскохозяйственных угодий – 5600 км². В частности, среднегодовые значения некоторых характеристик градовых процессов и параметров активного воздействия на них следующие: количество дней воздействия на градовые процессы - 46; количество облаков, подвергнутых воздействию - 203; количество случаев града с ущербом - 12; количество использованных ракет - 3137; площадь территорий, поврежденных на 100% - 32.55 км²; эффективность противоградовых работ (по поврежденным территориям) - 88%, в том числе в 2020 г. - 86%.

Грозы

Как и в случае с градом, Грузия относится к одному из грозоопасных регионов мира. В связи с указанным исследованием этих процессов здесь всегда были актуальны и им уделялось и уделяется повышенное внимание. Изучение гроз в Грузии имеет многовековую историю [2]. Регулярные же метеорологические наблюдения за этим атмосферным явлением проводятся уже более 100 лет [35-38].

Негативные последствия гроз часто связаны с повреждением зданий, инженерных сооружений, транспортных средств, различных электро-коммуникаций, газо- и нефтепроводов, гибелью животных и людей и др. [20, 39-41].

В ранних, да и современных исследованиях важное внимание уделялось климатологии гроз, в связи с чем происходило изучение этого явления в различных климатических районах Грузии [35-38], 42-46]. При этом, главным образом, использовалась база данных до 1990 г.

Методы и приборы для исследования гроз условно можно разделить на две большие группы. 1 – исследование грозовой деятельности вообще, 2 – исследование отдельных грозовых очагов и разрядов.

К первой группе относится давно используемый на сети гидрометеорологических станций визуально-слуховой метод обнаружения гроз. При этом, относительно надежно число дней с грозами и продолжительность гроз на метеостанциях регистрируется в радиусе 15 км. Причем близкие грозы, когда наблюдатель видит вспышку молнии и слышит гром, регистрируются в радиусе 10 км. Данные визуально-слуховых наблюдений за грозами широко используются в климатологии гроз, особенно для решения задач, связанных с исследованием их долговременных вариаций, практических работах по грозозащите различных инженерных сооружений и др. [38, 39].

Ко второй группе относятся инструментальные исследования грозовых процессов с помощью регистраторов молниевых разрядов, радиолокационных и спутниковых измерений, сети регистраторов напряженности электрического поля грозовых облаков и их скачков при молниевых разрядах и др. В Грузии некоторые из этих инструментальных методов наблюдений за грозами были использованы для мониторинга грозовой активности облаков (счетчик грозовых разрядов в Душети [46]), а также при разработке опытной методики активных воздействий на грозы (радиолокационные измерения, наземная сеть грозорегистраторов и измерителей вертикальной составляющей напряженности электрического поля в Кахетии [48-50]).

Ранее было установлено, что для данной местности продолжительность гроз и число грозовых разрядов связаны линейной зависимостью [51, 52]. Поэтому, проводя в этой местности одновременно визуально-слуховые и инструментальные (например, регистрацию числа разрядов молний) исследования гроз, можно с достаточной надежностью реконструировать картину грозовой деятельности в данной местности также для периодов, когда инструментальные наблюдений не проводились. Исходя из вышеизложенного, этот метод регистрации гроз не теряет актуальность и в наше время [38].

В работе [45] представлены результаты исследования распределения числа дней с грозами $N_{зр}$ на территории Грузии по ее 15 климатическим зонам (таблица 1). Для исследования были использованы данные числа дней с грозой 115 метеостанций Грузии за теплый период года (апрель-октябрь) 1936-1990 гг. В частности, были получены следующие результаты.

I и II климатические зоны. В южной части самое высокое место – Чаква, и максимум средних значений $N_{зр}$ наблюдается именно там (~38). В северной части максимум наблюдается в Сухуми (~39) дней. Среднее число дней с грозой по всему грузинскому Черноморью составляет примерно 33 и изменяется от 15 до 60. Это район влажных субтропиков.

III зона. Наиболее высоко расположенная станция Диди Вани имеет максимальное среднее число с грозой около 39. Минимальное число дней с грозой (~18) в Мартвили. По этой зоне проходит линия основного перемещения гроз (Чаква – Анасеули – Даблацихе - Диди Вани). Среднее по зоне $N_{зр} = 29$, а пределы колебаний 13-53. Климат - субтропики с уменьшенной влажностью.

IV зона. Максимальное $N_{зр} \approx 37$, оно наблюдается на самой высокорасположенной станции – Саирме. Минимум $N_{зр}$ зафиксирован в Орпири – 17. Среднее $N_{зр} = 29$, а пределы изменения 10-47. Климат умеренно-субтропический.

Следует отметить уменьшение числа дней с грозой в направлении с запада на восток в среднем от 34 до 25. Между $N_{зр}$ и высотой местности существует линейная зависимость. Все четыре зоны расположены в Западной Грузии.

V климатическая зона. Высоты расположения метеостанций меняются от 403 до 1242 м над ур. моря, но линейной зависимости с $N_{зр}$ не наблюдается. Например, максимум среднего $N_{зр} = 48$ зафиксирован в Болниси, высота станции 534 м над ур. моря, а минимум $N_{зр} = 27$ Мта-Сабуети, высота которой 1242 м над ур. моря. На пути перемещения грозовых процессов в этой зоне расположены три станции – Хашури, Гори, Мухрани. Среднее число с грозами на них равно соответственно – 43, 35 и 46. В среднем в зоне $N_{зр} = 37$ и интервал изменения 18 – 60. Климат характеризуется умеренной влажностью и малым количеством осадков.

VI климатическая зона. Максимальное среднее $N_{зр}$ отмечено в Телави (~49), минимальное – в Цнори (~33). Очагами местных гроз здесь являются Триалетский и Цив-Гомборский хребты. Зависимость $N_{зр}$ от высоты местности нелинейная. Среднее в зоне $N_{зр} \sim 40$, интервал колебаний 21-60. Климат – слабоувлажненные субтропики.

VII климатическая зона. Максимум $N_{зр}$ наблюдается на станции Дедоплисцкаро (~38), минимум в Удабно (~19). В среднем на одну станцию приходится 31 день с грозой, а интервал изменения 16-48. Климат сухой с недостатком влаги. Среднее $N_{зр}$ по сравнению с V и VI зонами уменьшается.

VIII и IX климатические зоны. Это высокогорные зоны, которые разделяет Кодорский хребет. Число метеостанций невелико. В VIII зоне расположен очаг гроз – Псху. Здесь встречаются влажные воздушные массы с моря и холодные с севера. С Псху начинается перемещение грозовых процессов по всему грузинскому Черноморью. Максимум $N_{зр}$ в Псху (~86). В среднем по зоне $N_{зр} \approx 42$, интервал изменения 19-69. Климат горный влажный.

X климатическая зона характеризуется очень сложным горным рельефом. Высоты станций изменяются от 474 до 2854 м над ур. моря. Здесь господствуют восточные ветры. Максимум среднего $N_{зр}$ отмечается в Амбололаури (~43), минимум в Хаиши (~20). В этой зоне расположен еще один очаг грозовых процессов – Лечхумский хребет. В среднем на одну станцию приходится около 32 дней с грозой, а интервал изменения 14-57. Климат горный и умеренно влажный. Число дней с грозами меньше, чем в VIII зоне, т.е. так же, как и в равнинных областях, наблюдается уменьшение числа дней с грозой в направлении с запада на восток.

XI климатическая зона. Станции расположены на высотах больших 1000 м над ур. моря. В среднем на одну станцию приходится около 36 дней с грозой, интервал изменения 17-66. Климат среднегорный и умеренно влажный.

XII климатическая зона. Высоты расположения станций больше 1200 м над ур. моря. Максимум $N_{зр} = 47$ на станции Гудаури, минимум в Барисахо – около 32. В этой зоне расположен

местный очаг гроз – Гудаурский хребет. В среднем на одну станцию приходится примерно 36 дней с грозой, интервал изменения 17-66. Климат среднегорный и умеренно влажный.

XII климатическая зона. Высоты расположения станций изменяются от 1744 до 3650 м над ур. моря. В среднем на одну станцию приходится 27 дней с грозой, а интервал изменения 12-44. Климат горный со слабой увлажненностью и повышенной континентальностью.

XIII климатическая зона. Метеостанции расположены на высотах от 256 до 1925 м над ур. моря. В этой зоне также есть свой очаг гроз – западная часть Ахалцихского хребта. Характерным для района является убывание количества осадков с высотой. Число дней с грозой на трех станциях почти одинаково (35-37), только в Кеда (самая низкорасположенная станция) наблюдается около 19 дней с грозой. В среднем на одну станцию приходится 32 дня с грозой, пределы колебаний 16-60. Климат горный, избыточно увлажненный.

XIV климатическая зона. Высоты расположения метеостанций изменяются от 789 до 1665 м над ур. моря. Большинство расположено выше 1000 м. В этой зоне очагом местных гроз является Тriaлетский хребет и число дней с грозой здесь довольно большое. Максимум среднего $N_{гp}$ достигает 57 дней (Манглиси), а минимум 30 (Коджори). В среднем на одну станцию приходится около 45 дней с грозой, интервал изменения составляет 29-69. Климат горный, умеренно влажный.

XV климатическая зона. Высоты расположения метеостанций расположены в интервале 982-2112 м над ур. моря. Это самый грозоопасный регион Грузии. Максимум $N_{гp}$ достигает 60, минимум 34. Следует отметить, что в ряду наблюдений станции Карцахи и Ефремовка есть годы с $N_{гp}$, достигающих 95-96. В среднем на одну станцию приходится примерно 51 день с грозой, интервал их изменения 21-81. Эта зона защищена от вторжения восточных воздушных масс Самсарским и Джавахетским хребтами, а приходящие с запада воздушные массы, перевалив Арсианский хребет, в значительной степени иссушены. Поэтому климат в этом районе горный, сухой с резко выраженной континентальностью.

Таким образом, при изучении и оценке грозовой активности на территории Грузии необходимо учитывать, что значения ее параметров в различных географических регионах зависят от комбинаций, характерных для этого региона климатических элементов.

В работе [53] изучались корреляционные связи между числом дней с грозами в теплое полугодие и продолжительностью гроз в условиях Восточной Грузии. Были проанализированы двадцатилетние (1955-1974 гг.) данные визуально-слуховых наблюдений за числом грозовых дней ($N_{гp}$) и продолжительностью гроз ($P_{гp}$) для 35 метеостанций Восточной Грузии в теплое время года (апрель-октябрь). Станции расположены в шести различных климатических зонах (N 5, 6, 7, 10, 14 и 15).

Таблица 2. Статистические характеристики числа дней с грозами и продолжительностью гроз в теплое полугодие в 6 климатических зонах Восточной Грузии.

Климатические зоны	Число дней с грозами				Продолжительность гроз (час)			
	Max	Min	Mean	St. Dev	Max	Min	Mean	St. Dev
Зона 5	46	19	33	7	152	44	87	29
Зона 6	51	20	36	7	151	40	87	28
Зона 7	42	19	31	6	142	40	81	26
Зона 10	57	21	35	9	125	38	67	24
Зона 14	55	25	36	8	152	46	89	28
Зона 15	71	30	46	9	211	79	127	29
Среднее по всем зонам	54	22	36	8	156	48	90	28

В таблице 2 представлены статистические характеристики числа дней с грозами и продолжительностью гроз в теплое полугодие в 6 климатических зонах Восточной Грузии в 1955-1974 гг.

В целом, как показал анализ данных, максимальное количество грозных дней наблюдалось на станции Ефремовка (85 дней), а максимальная продолжительность грозной активности – на станции Ахалкалаки (317 часов). Минимальное количество грозных дней наблюдалось в Ахмете (8 дней), а минимальная продолжительность гроз – в Дманиси (8,5 часов).

По климатическим зонам (таблица 2) максимальные значения как числа грозных дней, так и продолжительности грозы отмечаются в зоне 15 (71 день с грозой и их продолжительность 211 часов), а минимальные значения обоих исследуемых параметров – в зонах 5-10 (19-21 дней с грозой и их продолжительность 38-44 часов) [53].

Соотношение между продолжительностью гроз и числом дней с грозами удовлетворительно описывается как линейной ($P_{gp} = a \cdot N_{gp} + b$), так и степенной ($P_{gp} = a \cdot N_{gp}^b$) зависимостью (таблица 3).

Таблица 3. Коэффициенты а и b в уравнениях линейной и степенной регрессии, связывающие продолжительность грозы с количеством грозных дней. R² – коэффициент детерминации.

Станция	$P_{gp} = a \cdot N_{gp} + b$			$P_{gp} = a \cdot N_{gp}^b$		
	a	b	R ²	a	b	R ²
Тбилиси	1.56	6.77	0.42	1.35	1.076	0.59
Болниси	2.85	35.1	0.18	5.87	0.866	0.21
Самгори	2.8	-32	0.71	0.23	1.556	0.72
Мухрани	3.46	23.5	0.48	7.53	0.828	0.52
Гори	4.63	-43.9	0.72	0.937	1.348	0.72
Хашури	3.5	4.13	0.62	4.325	0.946	0.59
Ахалгори	1.94	-1.97	0.41	1.735	0.997	0.42
Сагареджо	1.94	-2.825	0.50	1.603	1.035	0.50
Цхинвали	2.27	-5.61	0.49	2.015	1.061	0.58
Душети	2.68	-2.05	0.82	2.263	1.038	0.81
Гомбори	2.225	-14.4	0.46	0.369	1.437	0.56
Тианети	2.94	-16.2	0.58	2.069	1.048	0.53
Цнори	3.35	-29.1	0.74	0.876	1.29	0.69
Лагодехи	3.15	-8.65	0.59	2.142	1.081	0.64
Гурджаани	3.43	-12.6	0.53	2.047	1.109	0.61
Кварели	3.15	-39.8	0.67	0.133	1.753	0.76
Ахмета	3.1	-26.5	0.81	1.078	1.168	0.62
Телави	2.23	16.7	0.52	3.267	0.937	0.59
Сигнахи	3.1	-27.4	0.52	1.193	1.182	0.55
Гардабани	2.67	7.03	0.46	6.357	0.761	0.37
Шираки	3.27	-36.6	0.42	0.377	1.476	0.37
Дедоблис-Ццаро	3.24	-11.15	0.58	2.676	1.018	0.46
Пасанаури	3.15	-19.8	0.61	2.384	1.023	0.53
Джава	1.41	-17	0.90	0.085	1.66	0.88
Боржоми	1.24	-4.95	0.67	0.645	1.146	0.66
Тетри-Ццаро	3.7	-21.2	0.55	1.23	1.251	0.56
Манглиси	6.42	-116	0.84	0.159	1.828	0.85
Дманиси	1.23	-5.76	0.35	0.36	1.293	0.48
Абастумани	3	-36	0.62	0.507	1.376	0.58
Коджори	1.04	0.47	0.35	0.771	1.093	0.42
Бакуриани	3.065	9.25	0.71	7.025	0.8	0.64
Ахалцихе	3.23	-37.8	0.56	1.409	1.136	0.48

Цалка	2.2	-16.8	0.72	0.401	1.405	0.79
Ахалкалаки	3.77	15.1	0.62	7.303	0.849	0.58
Ефремовка	2.6	-9.1	0.76	2.871	0.955	0.72
Восточная Грузия	2.85	-11.2	0.81	2.016	1.063	0.79

Как следует из таблицы 3, на большинстве станций как для уравнения линейной, так для степенной регрессии получаются достаточно высокие значения коэффициента детерминации. Относительно низкие значения коэффициентов для линейного уравнения получены на станциях Дманиси и Коджори, а по степенным уравнениям – на станциях Шираки и Гардабани. По обоим уравнениям низкие значения коэффициента детерминации отмечаются на станции Дманиси.

Следует отметить, что данные таблицы 3 позволяют выбрать вид уравнения регрессии для каждой станции. Например, для станций Тбилиси и Гомбори связь между продолжительностью грозы и количеством грозовых дней лучше описывается степенным уравнением, а для станций Ахмета, Дедоплис-Цкаро и Ахалцихе – линейным уравнением.

Таким образом, в Восточной Грузии количество грозовых дней и продолжительность гроз сильно различаются по отдельным станциям. Связь между этими грозовыми параметрами удовлетворительно описывается как линейными, так и степенными уравнениями регрессии. Полученные результаты могут быть использованы при разработке региональных климатических моделей, при построении систем молниезащиты различных важных объектов региона и т.д.

При отсутствии инструментальных измерений оценку среднегодового числа ударов молний на 1 км² поверхности земли (удельная плотность ударов молнии на землю N_g) можно производить в соответствии с [52] по формуле:

$$N_g = 0.04 \cdot (N_{gp})^{1.25}$$

Таблица 4. Характеристики грозовой активности в различных регионах Грузии.

Регион (край)	Площадь, км ²	К-во станций	Высота Мин, м	Высота Макс, м	Ng, 95% Нижн. уров	Ng, 95% Верх. уров
Абхазия	8725	19	4	1644	2.0	6.2
Самегрело-Земо Сванети	7520	16	1	1491	1.1	4.2
Гурия	2057	9	7	1926	1.3	3.6
Аджария	2900	9	2	946	1.6	4.8
Рача-Лечхуми	5073	11	474	2854	1.7	4.7
Имерети	6515	17	28	1242	1.3	4.8
Месхети	6438	12	790	2112	3.0	7.0
Мцхета-Мтианети	6782	15	550	3653	1.4	4.9
Шида Картли	4705	9	607	2240	1.9	4.5
Квемо Картли	6446	10	300	1458	1.7	6.7
Кахети	11309	17	223	1870	1.2	5.4
Тбилиси	335	4	403	766	2.4	3.7

В результате анализа данных 148 метеорологических станций Грузии о числе дней с грозами в период с 1891 г. по 2006 г. получены значения среднего числа дней с грозами в год для каждой метеостанции и оценены значения числа молниевых разрядов на землю как для каждой метеостанции, так и для 12 административных регионов Грузии, изучена зависимость грозовой активности от высоты местности [38].

В таблице 4 представлены данные о пределах изменения нижнего и верхнего уровня 95%-го доверительного интервала среднегодового количества разрядов на землю для различных регионов Грузии. В этой же таблице представлена информация о площади территории регионов, количестве метеостанций в каждом регионе и диапазоне высот расположения этих метеостанций.

Как следует из этой таблицы с соответствие со значениями верхнего уровня 95%-го доверительного интервала для N_g наиболее высокие значения грозоопасности в отдельных местах регионов Грузии отмечаются в Абхазии, Квемо Картли, Кахети и Месхети (N_g больше 5.3).

Зависимость грозовой активности от высоты местности в целом для территории Грузии положительная, но слабая. Коэффициент линейной корреляции R между высотой местности H и N_g значимый и составляет 0.28 с достоверностью α не хуже 0.001. Уравнение линейной регрессии связи среднегодового числа дней с грозами и высоты местности H над уровнем моря имеет вид (H в м):

$$N_g = 0.0038 \cdot H + 31.3$$

Соответственно слабая положительная корреляция между N_g и H (коэффициент корреляции $R = 0.29$ с α не хуже 0.001). Связь между N_g и H описывается уравнением:

$$N_g = 0.00047 \cdot H + 2.98$$

В другой работе [54] по данным о максимальной высоте H_m конвективных облаков над территорией Кахетии в 1972-1976 гг., измеренных с помощью радиолокатора, и установленной связи между N_g и H_m по данным одновременных их измерений с помощью радиолокатора и сети электростатических флюксометров в Кахетии в 1978-1984 гг. ($N_g \approx 5.2 \cdot 10^{-4} \cdot H_m^{3.27} \text{ min}^{-1}$), авторы реконструировали распределение числа молниевых разрядов на землю для периода с 1972 по 1976 гг.

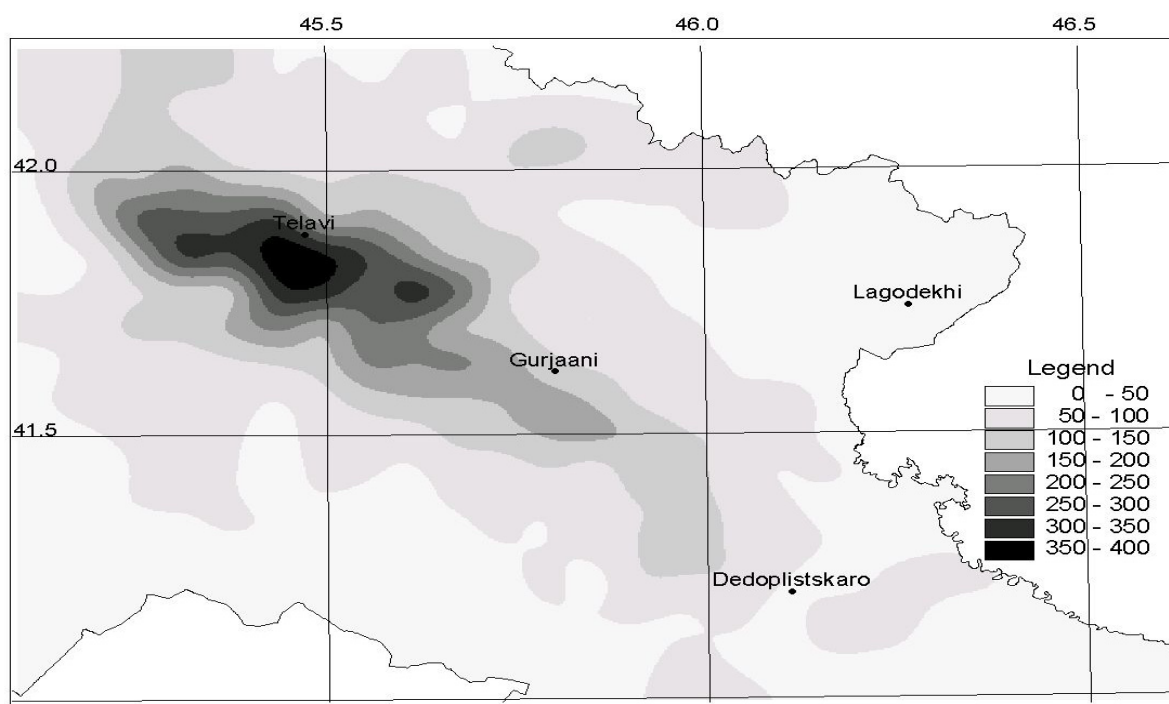


Рис. 2.

Распределение средне сезонного количества грозовых разрядов облако-земля (на 25 км²) для территории Кахетии [54].

Минимальное количество наземных грозовых разрядов за сезон в Кахетии составляет 13 (для высоты местности от 156 до 300 м), максимальное – 377 (для высоты местности от 1500 до 1700 м). При среднем значении N_g в зависимости от высоты местности изменяется от 47 (для высоты местности от 156 до 300 м) до 215 (для высоты местности от 1500 до 1700 м) и удовлетворительно описывается эмпирическим выражением: $N_g \approx 42.1 \cdot \exp(0.978 \cdot H)$. В среднем по территории Кахетии на 25 км² в теплый сезон приходится 90 грозовых разрядов (или 3.6 грозовых разрядов на 1 км²).

Основной вклад в грозовую активность Кахетии вносят облака с максимальным радиолокационным эхом от 8 до 12 км (около 87 %); более половины грозовых разрядов приходится на облака с H_m от 9 до 11 км.

Интересно отметить, что данные о N_g для Кахетии в таблице 4 и на рис. 2 достаточно хорошо согласуются друг с другом. В соответствие с рис. 2 среднее в теплое полугодие значение N_g составляет 3.6 грозовых разрядов на 1 км², что попадает в 95% доверительный интервал среднего значения количества наземных грозовых разрядов, рассчитанный по формуле связи между N_g и числом грозовых дней (диапазон от 1.2 до 5.6 разрядов на 1 км², таблица 4).

Авторы работы [38] отмечают, что в дальнейшем следует провести уточнение полученных результатов о плотности разрядов на землю, которые на проведенном этапе исследования являются предварительными, так как в этих оценках не была предусмотрена продолжительность гроз. Авторы также указывают на необходимость приобретения современной грозорегистрирующей аппаратуры, которая позволила бы определить связи имеющихся многолетних данных визуально-слуховых наблюдений за грозами с электрическими параметрами гроз (частоты внутриоблачных и наземных молниевых разрядов и др.).

В 1978-1983 гг. Институтом геофизики АН Груз. ССР, Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) и Ленинградским гидрометеорологическим институтом (ЛГМИ) были развернуты в Алазанской долине обширные полевые исследования и реализованы крупномасштабные эксперименты по комплексному изучению грозовых явлений и разработке средств и методов искусственного воздействия на них. Получено, что:

- в некоторых случаях регулирование электрической активности облаков кристаллизующими реагентами возможно, и оно наиболее эффективно на начальных стадиях развития кучево-дождевых облаков;

- воздействие, осуществляемое дозами меньше некоторого критического значения на начальных стадиях развития облаков, может приводить к усилению грозовой активности, а воздействие, осуществляемое дозами больше критических, ведет к кратковременному усилению электризации, в последующем сопровождаемое ослаблением или значительным уменьшением грозовой активности [48-50, 55, 56].

За указанный период было исследовано около 120 облаков. Из них, проанализированы данные о 106 облаках, из которых 18 естественного развития и 88 подвергнутых воздействию.

Для оценки эффекта воздействия были использованы как данные инструментальных измерений электрического состояния облаков, так и данные радиолокационных параметров, имеющих тесные связи с грозовой активностью облаков (радиолокационный параметр грозоопасности облаков R_p и H_m). Результат воздействия считался положительным, если время жизни подвергнутого воздействию облака с $R_p \geq 8$ и $H_m \geq 8$ км было менее 60 мин., что является средним временем жизни грозового облака, развивающегося в естественных условиях в исследуемом регионе.

Максимальная высота исследованных облаков колебалась в диапазоне от 6.1 до 12.8 км; максимальные значения коэффициентов грозоопасности изменялись от 5 до 34. Время наблюдения за облаками составляло от 7 до 152 мин.; продолжительность воздействия в различных опытах менялась от 1 до 105 мин.; количество противоградовых ракет "Алазани", введенных в облака – от 6 до 360.

Положительного эффекта воздействия удалось достичь в 53% случаев. Примерно в 22% случаев эффект был отрицательным – время жизни грозовых облаков было больше 60 мин. В 25% случаев результат получился неопределенным.

Важно отметить, что положительного эффекта удалось достичь и при подавлении грозовых облаков с высотой верхней границы в диапазоне от 10 до 12.8 км. Среднее время жизни грозы в этих облаках составило около 40 мин. и мало отличается (на 5 – 6 мин.) от среднего времени жизни грозы для всех облаков с положительным эффектом воздействия.

Во всех случаях существенное ослабление грозовой деятельности было при воздействии на облака с $8 < H_m < 10$ км. Для этих облаков время жизни грозы снижается до 22-29 мин., что почти в два раза меньше времени жизни грозы в облаках естественного развития аналогичной вертикальной мощности, составляющего 43 мин.

Воздействие на 19 облаков с вертикальной мощностью от 10 до 12,5 км дало отрицательный результат (продление грозовой деятельности), хотя в 26 случаях воздействие на облака такой же мощности привело к положительному эффекту. Примечательно, что в этих случаях положительного эффекта удалось добиться путем введения в облака меньшего количества реагента (81 ракета в среднем на облако против 125 ракет), но большей интенсивности воздействия: в среднем по облаку 4 ракеты в мин. за 20 мин. против 2,6 ракеты в мин. за 47 мин.

Таким образом, для существенного ослабления грозовой деятельности облаков в диапазоне $10 < H_m < 12,8$ км в среднем необходимо вводить в облака в течение не менее 20 мин. ракеты "Алазани" с интенсивностью не менее 4 ракет/мин. Для существенного подавления грозовой активности облаков с $8 < H_m < 10$ км достаточно в среднем вводить в облака не менее 2 ракет/мин. в течение не менее 13 мин.

Введение в облака реагента с меньшей интенсивностью, вероятно, приводит к появлению зон неоднородностей из-за характера рассеяния льдообразующих ядер от трасс полета ракет "Алазани", что приводит к увеличению времени жизни грозы [48-50].

В последние годы проведено исследование долговременных изменений атмосферных осадков, грозовых и градовых процессов в условиях Восточной Грузии и их связей с антропогенным загрязнением атмосферы. Разработаны статистические модели связи грозовой активности с аэрозольным загрязнением атмосферы. В частности, получено, что интенсивность грозовых и градовых процессов существенно зависит от аэрозольного загрязнения атмосферы (в том числе и радиоактивного), хотя эта зависимость имеет достаточно сложный характер [47,55].

Так, в работе [47] представлены некоторые эмпирические модели связи параметров грозовой активности с аэрозольным загрязнением атмосферы. Эта связь имеет достаточно сложный, часто нелинейный характер. Загрязнение атмосферы в зависимости от его характера и уровня может привести как к увеличению, так и к уменьшению интенсивности грозовых процессов. Установление возможных причин указанных связи является предметом будущих исследований.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Царевич Вахушти. География Грузии. Записки Кавказского отдела императорского русского географического общества, книга 24, вып. 5. Введение, перевод и примечания М.Г. Джанашвили, Тифлис, 1904, 289 с.
2. Давитая Ф.Ф., Таварткиладзе К.А. Проблема борьбы с градобитием, морозами в субтропиках и некоторыми другими стихийными процессами. Тб., “ Мецниереба”, 1982, 220 с.
3. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. Европейские географические исследования, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, www.ejournal9.com, 2014, с. 55-69.
4. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. Л., “Гидрометеониздат”, 1960, 123 с.
5. Гигинеишвили В.М. О градобитиях в Восточной Грузии и о некоторых особенностях градовых процессов в Алазанской долине. Тр. Всесоюз. научн. совещ. по активным воздействиям на градовые процессы, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб., 1964, с. 8 -18.
6. Балабуев А.Г. Анализ данных о градовых явлениях в районе долин рек Иори и Алазани. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб., ”Мецниереба”, 1967, с. 56-64.
7. Ахвледиани Я.Р., Ломая О.В., Саркисова Л.С. Градовые явления в Алазанской долине по данным метеорологических станций. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, Тб., ”Мецниереба”, 1967, с. 65-74.
8. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Под ред. Сванидзе Г.Г. и Цуцкиридзе Я.А., Л., ”Гидрометеониздат”, 1980, 288 с.
9. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л.:, “Гидрометеониздат”, 1967, 412 с.
10. Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э. Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Тбилиси, Зеон, 2012, 104 с.
11. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тб., 2015, с.77-100.
12. Бурцев И.И. Разработка научно-методических основ создания системы противорадовой защиты СССР. Дисс. на соиск. уч. степ. доктора физ.-мат. наук, Л., 1990, 297 с.
13. Абшаев М.Т., Абшаев А.М., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик:, “Печатный двор”, 2014, 508 с.
14. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Н.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии. Тр. Института гидрометеорологии, т. 108, ISSN 1512-0902, Тб.:, 2002, с. 249-260.
15. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанова Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, т.119, ISSN 1512 – 0902, Тб.:, 2013, с. 144 - 152
16. Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
17. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб.:, 2004, с.133-141.
18. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-temporary characteristics of number of days with a hails in the warm period of year in Georgia. Proc. 14th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-July 2004, pp. 2_2_215.1-2_2_215.2.
19. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф. “Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тб.:, 18-19 ноября, 2008, с. 427–433.
20. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>. 2013.

21. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тб., 2014, с. 145-150.
22. Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 164-168.
23. Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Тр. ЗакНИГМИ, вып.67(73), 1978, с. 73-82.
24. Махарашвили П.И., Дореули Р.И. Исследование градовых явлений в районах Кахетии. Отчет по теме 074.081 "Изучение процессов образования и развития сложных метеорологических условий и опасных явлений погоды (град, грозы, туманы) и разработка методов воздействия на эти явления. Изучение водных ресурсов облаков и изыскание новых реагентов для искусственного воздействия на облака и туманы", часть 3, Ин-т геофизики АН ГССР, Тб., 1975, 209 с.
25. Годовые отчеты о производственной деятельности ВС Грузинской УГКС. Тб., 1980, 1982, 1984-1989.
26. Beglarashvili N., Janelidze I., Pipia M., Varamashvili N. Hail Storms in Kakheti (Georgia) in 2014-2018. Int. Sc. Conf. „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 176-179.
27. Amiranashvili A., Bliadze T., Jamrishvili N., Kekenadze E., Tavidashvili Kh., Mitin M. Some Characteristics of Hail Process in Georgia and Azerbaijan on May 28, 2019. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 22(2), 2019, pp. 40–54, <http://openjournals.gela.org.ge/index.php/GGS/>
28. 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>
29. Amiranashvili A., Bolashvili N., Gulashvili Z., Jamrishvili N., Suknidze N., Tavidashvili Kh. Distribution of Hail by Mean Max Size on the Territories of Municipalities of the Kakheti Region of Georgia. International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 84 - 87.
30. Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Gulashvili Z.M., Jamrishvili N.K., Suknidze N.E., Tavidashvili Kh.Z. Modeling the Distribution of Hailstones by Mean Max Sizes on the Territory of Kakheti (Georgia) using Data of the Freezing Level in the Atmosphere and Radar Measurements. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(1), 2021, pp. 25-36. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420212881>
31. Amiranashvili A.G. 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>.
32. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. 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, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
33. სეტყვა და მასთან ბრძოლა. ჰიდრომეტეოროლოგებზე აქტიური ზემოქმედების სამსახურის 1967-1989 წწ. მუშაობის ძირითადი შედეგები. თბ., 1990, 15 გვ.
34. 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 Geophisics, 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
35. Курдиани И.Г. О грозах и градобитиях в Кахетии, Тбилиси, Груз. геогр. общ., 1935.
36. Балабуев А.Г. Грозы Закавказья, Тр. Тбил. Геоф. Ин-та, т.4, 1939.
37. Гуния С.У. Грозовые процессы в условиях Закавказья, Л., Гидрометеоиздат, 1960, 123 с.
38. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Мкурналидзе И.П. Характеристики грозовой активности в Грузии. Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные

- კატასტროფი ნა იუჟნომ კავკაზე», ტრ. ინ-თა ჰიდრომეტეოროლოგიი, თომ № 115, ISSN 1512-0902, ტბილისი, 18-19 ნოებრა, 2008, ს. 284–290.
39. ტატიშვილი მ., ქართველიშვილი ლ., მკურნალიძე ი. ელვის ზემოქმედება სხვადასხვა შენობა-ნაგებობაზე. მეცნიერება და ტექნოლოგიები 1(724), ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2017, გვ. 62-69.
 40. Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of Protection and Fight with Their Negative Consequences. // Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp. 155-164. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
 41. Mkurnalidze I., Kapanadze N., Khutsishvili E. Lightning and its Effects on Humans. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 151-153.
 42. Элизбарашвили Э.Ш., Гонгладзе Н.Ш., Власова С.В., Алборова Б.Г., Попов А.А. О грозовой деятельности в Восточной Грузии, Изв. АН СССР, сер. Геогр., No 1,1983, с.104-110.
 43. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P., Chumburidze Z.A. Some Characteristics of a Thunderstorm Activity in Georgia, Proc. 12th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June , vol.1, 2003, pp. 711-714.
 44. ამირანაშვილი ა., ბერიტაშვილი ბ., მკურნალიძე ი. აღმოსავლეთ საქართველოში ელქვიქიან დღეთა რიცხვის მრავალწლიური ვარიაციები, საქ. მეცნ. აკად. ვახუშტი ბაგრატიონის სახ. გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომები, ტომი № 21, USSN 1512-1224, თბილისი, 2003, გვ. 134–149.
 45. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии, Сб. статей, Вопросы физики облаков, Облака, осадки и грозовое электричество, ГГО им. А.И.Воейкова, Гидрометеиздат, Санкт-Петербург, 2004, 155-168
 46. Mkurnalidze I., Kapanadze N. Seasonal Distribution of Thunderstorms in Georgia. 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, 2019, pp. 105-108, (in Georgian).
 47. Amiranashvili A. Statistical Models of Connection of Lightning Activity with Aerosol Pollution of Atmosphere, Proc. of X Int. Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 9-13 November 2009, pp.261-266.
 48. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Investigation of the Variations of Electrical and Radar Parameters of Thunderclouds. Proc. 8th Int. Conf. On Atmospheric Electricity, Uppsala, Sweden, 13-16 June, 1988, pp. 388-391.
 49. Амиранашвили А.Г., Богачук В.С., Гзиришвили Т.Г., Нехотина Л.М., Трофименко Л.Т. Исследование взаимосвязей между радиолокационными и электрическими параметрами грозовых облаков и оценка эффективности воздействия на них. Сб. Атмосферное электричество, Тр. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, Л., Гидрометеиздат, 1988, с. 116-119.
 50. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Variation of thunderclouds electrical and radar parameters as a result of artificial modification, Pap. Subm. to the 5th WMO Sc. Conf. on Weather Modification and Appl. Cloud Physics, Beijing, China, vol.1, WMO/TD-No 269, 8-12 May 1989, 357-358.
 51. Базелян Э.М., Горин Б.Н., Левитов В.И. Физические и инженерные основы молниезащиты, Л., Гидрометеиздат, 1978, 223 с.
 52. МЭК 61024–1. Защита объектов от молнии. Часть 1. Общие принципы, 1990.
 53. Amiranashvili A.G., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P. Correlation Between Number of Thunder-Days and Duration of Thunderstorm Activity in Eastern Georgia, Proc. 14th International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004, 2_1_214.1-2_1_214.4.
 54. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Bibilashvili T., Chumburidze Z., Gzirishvili T., Doreuli R., Nodia A., Khorguani F., Kolesnikov Yu. Distribution of Convective Clouds and Lightning Discharges of the Earth Surface in Kakheti Region of Georgia, Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, vol. 2, 2000,1050-1052.
 55. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial iceforming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity, Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Pricipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, 267-270.
 56. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumburidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of Number of Hail and Thunderstorm Days in the Regions of Georgia with Active Influence on Atmospheric Processes. Bull. of the Georgian Acad. of Sciences, 172, N3, 2005, 484-486.

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРАДОВЫХ И ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ГРУЗИИ

Бердзенишвили Н.М., Киркитадзе Д.Д.

Реферат

В работе представлен обзор некоторых исследований градовых и грозовых процессов в Грузии, проведенных в последние десятилетия.

Ключевые слова: град, гроза.

საქართველოში სეტყვისა და ჭექა-ქუხილის პროცესების ზოგიერთი კვლევების მიმოხილვა

ბერძენიშვილი ნ., კირკიტაძე დ.

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია ბოლო ათწლეულების განმავლობაში საქართველოში ჩატარებული სეტყვისა და ჭექა-ქუხილის პროცესების ზოგიერთი კვლევების მიმოხილვა.

საკვანძო სიტყვები: სეტყვა, ელჭექი.

REVIEW OF SOME STUDIES OF HAIL AND THUNDERSTORM PROCESSES IN GEORGIA

Berdzenishvili N., Kirkitadze D.

Abstract

The paper presents an overview of some studies of hail and thunderstorm processes in Georgia conducted in recent decades.

Key words: hail, thunderstorm.

ნალექთა ხელოვნური რეგულირების რეტროსპექტული ანალიზი

¹კაპანაძე ნ., ¹მკურნალიძე ი., ^{1,2}ფიფია მ.

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
knaili1990@gmail.com

²ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

ნალექთა ხელოვნური რეგულირება გულისხმობს ღრუბლებზე ზემოქმედების შედეგად ატმოსფერული ნალექების ინტენსივობისა და რაოდენობის მიზანდასახულ შემცირებას, გაზრდას ან სტიმულირებას, რაც აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივი პირობებისთვის ყველაზე აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს.

საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფერული ნალექებისა და მათი რეჟიმის ცალკეული მახასიათებლების შესწავლას საუკუნეზე მეტი ხნის ისტორია გააჩნია. ბოლო პერიოდში ამ პრობლემის გამოკვლევას მიემდგვნა რიგი შრომებისა, რომლებშიც განხილულია სეტყვის პროცესების თავისებურებანი აღმოსავლეთ საქართველოში [1], ნალექთა განაწილების კავშირი რელიეფთან, [2], დამოკიდებულება აეროსინოპტიკურ პირობებზე [3,4], ცვლილება სიმაღლის მიხედვით და კავშირი მიკროციკლური პროცესებთან [5], თოვლის საფარის ფორმირების პირობები [6], ნალექთა კლიმატური განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე [7], კონვექციურ ნალექთა დინამიკის თავისებურებანი [8], უხვი ნალექების ფორმირებისა და პროგნოზირების საკითხები [9,10,11], ნალექთა რეგიონალური განაწილება და კავშირი მიკროციკლური პირობებთან [12], კონვექციურ ნალექთა გეოგრაფიული განაწილება და პროგნოზირების ცალკეული საკითხები [13], ნალექთა საუკუნობრივი მსვლელობა [14,15]. ცალკე აღნიშვნას იმსახურებს ნალექთა სტატისტიკური სტრუქტურის დეტალური ანალიზი, რომელიც ჩაატარეს ალიბეგოვამ და ელიზბარაშვილმა [16] ამიერკავკასიისა და, კერძოდ, საქართველოს ტერიტორიისთვის. რიგ შრომებში შესწავლილ იქნა აგრეთვე კონვექციურ ღრუბელთა ენერგეტიკული [17] და რადიოლოკაციური მახასიათებლები [18,19].

მთელი რიგი შრომებისა მიემდგვნა ნალექთა ხელოვნური გაზრდისა და სეტყვასთან ბრძოლის სხვადასხვა ასპექტების დამუშავებას აღმოსავლეთ საქართველოს ცალკეული რეგიონებისათვის [20,21,22]. შესწავლილ იქნა სეტყვისა და თხევად ნალექთა კლიმატოლოგიური პარამეტრების სტატისტიკური მახასიათებლები [23,24,25] კონვექციური ღრუბლების განვითარებასთან დაკავშირებული აეროსინოპტიკური პირობები [26], აღნიშნული ტიპის ღრუბლების რიგი რადიოლოკაციური მახასიათებლებისა [27], ღრუბლებზე ზემოქმედებისას მაკრისტალური და ჰიგროსკოპული რეაგენტების დოზირების გავლენა ნალექთა ხელოვნური გაზრდის ეფექტურობაზე.

ბაზე [28], ნხგ ეფექტურობის შეფასების საკითხები [29,30], სეტყვის საწინააღმდეგო ოპერაციების გავლენა ნალექების რეჟიმზე [22,31,32] და სხვ.

როგორც ცნობილია, ღრუბლებში ნალექწარმოქმნელ პროცესებზე უშუალო ზემოქმედების პირველი ცდები გასული საუკუნის 30-იან წლებში ჰოლანდიასა და საბჭოთა კავშირში იქნა ჩატარებული, რომელთა მეცნიერულ დასაბუთებლს დიდად შეუწყო ხელი იმავე პერიოდში ბერჟერონისა და ფინდაიზენისა მიერ ნალექთა წარმოქმნის თეორიის დამუშავებამ. ნალექთა ხელოვნური რეგულირების (ნხგ) სამუშაოთა განვითარებას მნიშვნელოვანი სტიმული მისცა 1946 წელს შეფერისა და ვონეგატის მიერ ვერცხლის იოდიდისა (AgI) და მშრალი ყინულის (მყარი CO₂) ყინულწარმოქმნელი თვისებების აღმოჩენამ, რასაც 1947 წლიდან მოჰყვა ნხგ საწარმოო პროექტების დაწყება ჩრდილო ამერიკაში, სამხრეთ აფრიკაში, ავსტრალიაში და სხვ. მსგავსი სამუშაოები გართოდ გავრცელდა სხვა ქვეყნებშიც (აშშ, სსრკ, ისრაელი, ინდოეთი, მექსიკა, კანადა, ჩინეთი, ცენტრალური ამერიკისა და აფრიკის რიგი ქვეყნებისა). ხოლო 70-იანი წლების ბოლოს და 80-იანი წლების დასაწყისში მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ (მმო) მიერ ესპანეთში ჩატარებულ იქნა ნალექთა გაზრდის საერთაშორისო ექსპერიმენტი, რომელმაც ცხადყო, თუ რა დიდი სამეცნიერო, ტექნიკური და ორგანიზაციული ამოცანებია ჯერ კიდევ გადასაწყვეტი აღნიშნული პრობლემის თანამედროვე დონეზე დასამუშავებლად [33].

სეტყვასთან ბრძოლის (სბ) პრაქტიკული სამუშაოები პირველად გასული საუკუნის 50-იანი წლების დასაწყისში ორგანიზებულ იქნა იტალიასა და საფრანგეთში. შემდეგში ამ სამუშაოების დანერგვა დაიწყო აშშ, სსრკ, ჩინეთში, კანადაში, სამხრეთ ამერიკასა და შვეიცარიაში. ამჟამად კი სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოები მიმდინარეობს გერმანიაში, ბულგარეთში, უნგრეთში, ყოფილ იუგოსლავიის ზოგიერთ რესპუბლიკაში, საბერძნეთში, ესპანეთში, არგენტინასა და ყოფილი საბჭოთა კავშირის რიგ რესპუბლიკებში.

კონვექციური პროცესების შესწავლა საბჭოთა კავშირში დაიწყო 1953-1954 წლებში საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ალაზნის ექსპედიციაში ა. ბუხნიკაშვილისა და ა. ქარცივადის ხელმძღვანელობით. 1956 წლიდან ამ პროფილის სამუშაოებმა ჩამოყალიბება იწყო საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის იალბუზის ექსპედიციაშიც, რომელსაც ხელმძღვანელობდა პროფ. ა. სულაქველიძე. 1957 წელს ალაზნის ექსპედიციის მუშაობაში ჩაება თბილისის (1963 წლიდან - ამიერკავკასიის) სამეცნიერო-კვლევითი ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტიც, რომლის დირექტორი 1975 წლამდე იყო ვ. ლომინაძე. ამ პერიოდში ჩატარებული თეორიული და საველე გამოკვლევების შედეგად 1960 წლისთვის საბჭოთა კავშირში ჩამოყალიბებული იქნა მძლავრი კონვექციური ღრუბლის რამდენიმე ნახევრადემპირიული მოდელი, რომელთა საფუძველზე დამუშავდა სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების წინასწარი მეთოდოლოგია. მის ჩამოყალიბებაში აქტიური მონაწილეობა მიიღო აგრეთვე სსრკ ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის რიგმა წამყვანმა სამეცნიერო დაწესებულებებმა (ცენტრალურმა აეროლოგიურმა ობერვატორიამ, გამოყენებითი გეოფიზიკურმა ინსტიტუტმა და სხვ.). ზემოთაღნიშნული ორგანიზაციების ძალისხმევითა და და სხვა საკავშირო დაწესებულებების მხარდაჭერით საბჭოთა კავშირში პარალელურად დიდი მუშაობა მიმდინარეობდა ღრუბელში რეაგენტის შემტანი ტექნიკური საშუალებების შესაქმნელად, რის შედეგად 1961 წლისთვის დამუშავდა სპეციალიზებული სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტები: „Облако“, „ПГИ“, და საარტილერიო ჭურვი „Эльбрус“. ეს უკანასკნელი შეიქმნა გ. სულაქველიძის ხელმძღვანელობით ჩრდილო კავკასიაში (მაღალმთიანი

გეოფიზიკის ინსტიტუტი, ნალჩიკი). მოგვიანებით 60-იანი წლების მეორე ნახევარში ა. ქარცივაძის თაოსნობით დამუშავდა მაღალეფექტური სარაკეტო სისტემა „ალაზანი“.

ყოველივე ამან შესაძლებელი გახადა 1961 წელს კახეთში ჩამოყალიბებულიყო ყოფილ სსრ კავშირში პირველი სეტყვასთან ბრძოლის სპეციალიზებული სამსახური დასაცავი ტერიტორიით 50 ათასი ჰა, რომელიც 70-იანი წლების დასასრულისთვის თითქმის 650 ათასი ჰა -მდე გაიზარდა. ღრუბლებზე ზემოქმედება ამ რეგიონში ტრადიციულად ტარდებოდა მაკრისტალეზული რეაგენტით აღჭურვილი რაკეტების გამოყენებით საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში დამუშავებული მეთოდის საფუძველზე [34].

პარალელურად, 60-იანი წლების დასაწყისში ამიერკავკასიის სამეცნიერო-კვლევითი ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის მიერ საქართველოში დამუშავდა სეტყვასთან ბრძოლის განსხვავებული, ე.წ. „კომბინირებული“ მეთოდი, რომელიც გულისხმობდა სეტყვასაშიში ღრუბლის ერთდროულ დამუშავებას მაკრისტალეზული (AgI) და ჰიგროსკოპული (NaCl) რეაგენტით როგორც გადაცივებულ, ასევე თბილ ნაწილში ნალექწარმომქმნელი პროცესებზე ზემოქმედების მიზნით [35]. ეკოლოგიურად უვნებელი რეაგენტის (NaCl) გამოყენების შედეგად მაკრისტალეზული რეაგენტის შედარებით მცირე ხარჯის გამო ამ მეთოდს გარკვეული უპირატესობა გააჩნდა ცენტრალური აეროლოგიური ობსერვატორიისა და გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ შემუშავებულ მეთოდთან შედარებით. გასული საუკუნის 60-იანი წლების დასაწყისისთვის ეს მეთოდი წარმატებით გამოიყენებოდა სასოფლო-სამეურნეო კულტურების დასაცავად ქვემო ქართლის ტერიტორიის 200 ათას ჰა ფართობზე, რომელმაც 70-იანი წლებისთვის 400 ათას ჰა-ს მიაღწია. ღრუბლებში ორივე სახის რეაგენტის შესატანად ამ რეგიონში ტრადიციულად მოიხმარებოდა საზენიტო ჭურვები „ელბრუსი“ საზენიტო დანადგარებით კს-19-ით. 1965-1984 წლებში ვერცხლის დეფიციტის გამო კახეთის რეგიონში რეაგენტად გამოიყენებოდა ტყვიის იოდინი (PbI₂), ქართლის რეგიონში კი, რეაგენტის მცირე ხარჯის გამო - ვერცხლის იოდინი (AgI) და სუფრის მარილი (NaCl).

საკავშირო ჰიდრომეტსამსახურის ხელმძღვანელობამ, ზემოქმედების მეთოდების უნიფიკაციისა და სარაკეტო სისტემა „ალაზანის“ საზღვარგარეთ დანერგვის აუცილებლობიდან გამომდინარე, გეზი კომბინირებული მეთოდის შეკვცაზე აიღო, რასაც მოჰყვა 80-იანი წლების შუა პერიოდში მისი ფაქტობრივი ლიკვიდაცია. აქვე აღსანიშნავია, რომ პრაქტიკული გამოცდილებიდან გამომდინარე, ზემოქმედების სარაკეტო მეთოდი უფრო იოლი განსახორციელებელი აღმოჩნდა, ვიდრე საარტილერიო მეთოდი, რომელიც ფიზიკურად და მორალურად მოძველებული სარზენიტო ქვემეხების გამოყენებაზე იყო დამყარებული.

ღრუბლებზე დაკვირვებისა და ზემოქმედების ჩასატარებლად დაინერგა რადიოლოკაციური სადგური MPJI-5. საერთაშორისო გამოცდილების საფუძველზე დამუშავდა ნალექწარმომქმნელ პროცესებზე ზემოქმედების ძირითადი კონცეფციები როგორც სეტყვასთან ბრძოლის, ასევე (მოგვიანებით) ნალექთა ხელოვნური სტიმულირებისა და ინტენსიფიკაციის მიზნით (ცხრ.1) [36].

თუმცა, ორივე რეგიონში სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლის საკითხი კვლავ პრობლემად რჩებოდა. სრულფასოვანი საკონტროლო ტერიტორიების უქონლობისა და რანდომიზაციის შეუძლებლობის გამო ჩატარებული სამუშაოების ეფექტურობა ფასდებოდა სეზონის ბოლოს, დასეტყვილი ფართობების შედარების გზით ზემოქმედების დაწყებამ-

დე დასეტყვილ გასაშუალოებულ ფართობებთან. საწარმოო სამუშაოებში ვერ მოხერხდა მართვის ავტომატიზებული სისტემების დანერგვა, ხოლო ზემოქმედების კონტროლისათვის ღრუბელთა მათემატიკური მოდელებისა და სტატისტიკური შეფასებების სხვადასხვა თანამედროვე ხერხებისა და მეთოდების გამოყენება.

ღრუბლებში მიმდინარე მიკროფიზიკური პროცესების შესასწავლად 70-იან წლებში როგორც გეოფიზიკის, ასევე ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში ამოქმედდა საღრუბლო კამერები, მაგრამ ექსპლოატაციის პროცესში წამოჭრილი რთული ტექნიკური ამოცანების დაუძლეველობის შედეგად 80-იანი წლებისთვის მათი გამოყენება სამეცნიერო გამკვლევებში შესუსტდა.

ცხრილი 1. ნალექწარმომქმნელ პროცესებზე ზემოქმედების ძირითად კონცეფციები [36]

N	ზემოქმედების მიზანი	ზემოქმ. ობიექტი	ზემოქმედების ტექნოლოგია	დაკვირვების ტექნოლოგია	ვერიფიკაციის მეთოდები	შენიშვნები
1	ნალექთა ხელოვნური გამოწვევა ან გაზრდა	Cu cong, Cb	AgI, CO ₂ -თვითმფრინავი, მიწისპირა გენერატორები	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ისტორიული რიგები	გვერდითი ეფექტი - ღრუბლის დაშლა
			AgI, CO ₂ , NaCl-თვითმფრინავი, რაკეტები, ჭურვები	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ისტორიული რიგები	გვერდითი ეფექტი-ღრუბლის დაშლა
2	სეტყვასთან ბრძოლა	Cb	თვითმფრინავი, რაკეტები, ჭურვები	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ეკონ.ზარალი, ისტორიული რიგები	გვერდითი ეფექტი-ღრუბლის დაშლა
3	ნალექთა ხელოვნური შემცირება/ღრუბელთა დაშლა შავი ზღვის სანაპირო ზონაში (პროექტი)	Ns, Cb	AgI, CO ₂ თვითმფრინავი	რ/ლოკატორი, ნალექმზომი ქსელი	რანდომიზაცია, ისტორიული რიგები	ზემოქმედება ტარდება ზღვაში, ნაპირთან მიახლოებამდე 30 კმ წინსწრებით

ფართომასშტაბიან პრაქტიკულ სამუშაოებსა და მეცნიერულ გამოკვლევებს შორის წარმოქმნილმა შეუსაბამობამ დაიწყო უარყოფითი შედეგების გამოღება. გასული საუკუნის 70-იანი წლების დასასრულისთვის გაჩნდა ეჭვები ამ მეთოდების არც თუ მაღალი ეფექტურობის თაობაზე. ეს პროცესი გაძლიერდა საკავშირო სისტემისათვის დამახასიათებელი დირექტივების გათვალისწინების გამო, რის შედეგადაც ზემოქმედების არსებული მეთოდების დასახვეწად აუცილებელი სამეცნიერო კვლევების ნაცვლად წარმოებდა დასაცავი ტერიტორიების უწყვეტი ზრდა (ცხრ.2).

1977 წლის სექტემბერში შიდა კახეთის რაიონებს სეტყვის ძლიერმა პროცესმა გადაუარა, რამაც შეიწირა ასაღებად გამზადებული მოსავლის დიდი ნაწილი. სეტყვასთან ბრძოლის სამსახური მოუზადებელი და უძლური აღმოჩნდა ამ პროცესებთან საბრძოლველად. სპეციალურმა სამთავრობო კომისიამ დეტალურად შეისწავლა საკითხი, მაგრამ მისი დასკვნები არ აღმოჩნდა საკმარისი საქმის გამოსასწორებლად. ამის შემდეგ საზოგადოებრივმა მეურნეობებმა დაიწყეს

სეტყვით მიყენებული ზარალის ხელოვნურად სისტემატური გადიდება საკუთარი ეკონომიკური მდგომარეობის გამოსასწორებლად.

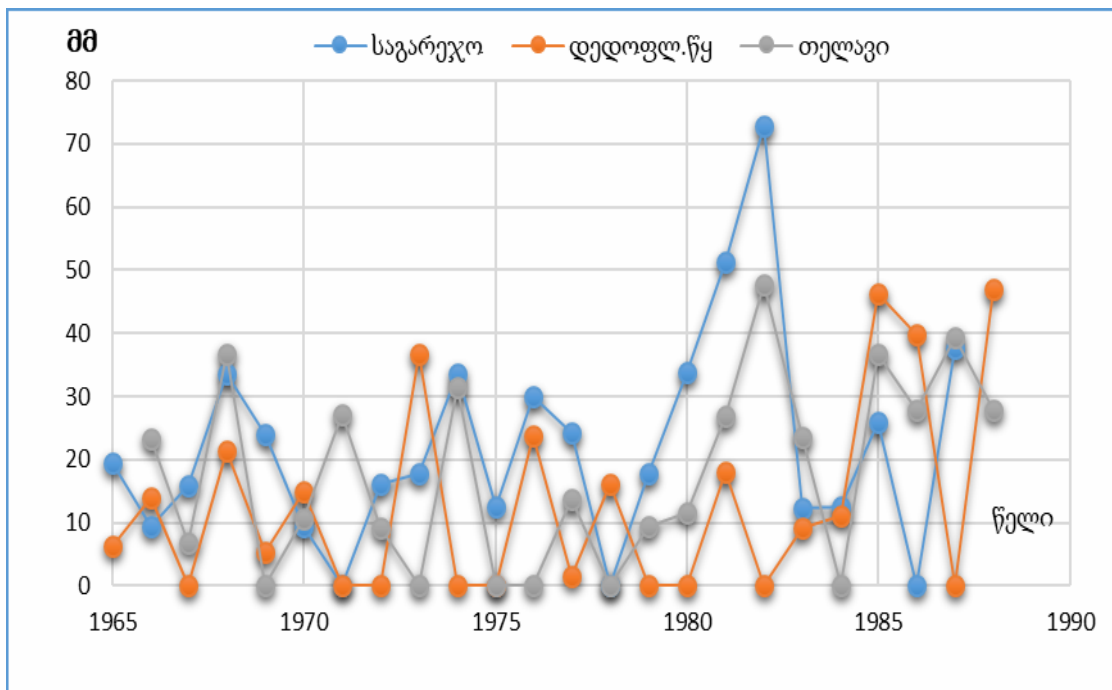
არსებული მეთოდების სუსტი მეცნიერული ბაზისის, აგრეთვე სეტყვასთან ბრძოლის სამსახურების მიერ დაშვებული ტექნიკური შეცდომების შედეგად იმატა დასაცავ ტერიტორიაზე სეტყვის მოსვლის შემთხვევებმაც [37].

ცხრილი 2. კახეთის რეგიონის დასაცავ ტერიტორიაზე 1967-1988 წწ პერიოდში მიმდინარე სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების შედეგები.

წელი	დასაცავი ტერიტორიის ფართობი (ათასი ჰა)	გასროლილი ნაწარმის რაოდენობა ტიპების მიხედვით (ცალი)			დამუშავებული ღრუბლების რაოდენობა	ფაქტიური ზარალი 100%-ით განადგურებაზე გადაყვანით (ათასი ჰა)
		„პგი“	„ობლაკო“	ალაზანი		
1967	340	1665	2017	-	186	1.3
1968	490	2993	2900	-	412	1.8
1969	490	-	2830	-	315	1.7
1970	490	-	2793	700	307	0.4
1971	490	-	938	3150	310	1.4
1972	640	-	-	7853	295	1.0
1973	640	-	-	8526	368	1.3
1974	640	-	-	25227	362	2.1
1975	640	-	-	20707	662	1.6
1976	690	-	-	24356	578	0.74
1977	690	-	-	22521	693	1.85
1978	690	-	-	11742	446	2.05
1979	690	-	-	19487	472	1.7
1980	720	-	-	31973	812	2.05
1981	720	-	-	29904	795	4.0
1982	720	-	-	42100	927	5.98
1983	720	-	-	32736	714	16.4
1984	770	-	-	9320	672	0.87
1985	785	-	-		780	6.8
1986	785	-	-		942	5.6
1987	785	-	-		1220	8.5
1988	785	-	-		1520	3.6
სულ		4658	11478	290302	13788	72.74

აქ აღსანიშნავია ის გარემოებაც, რომ გასული საუკუნის 80-იან წლებში დასაცავი ტერიტორიის 80% დაკავშირებული აღმოჩნდა ზემოქმედების პროცესებთან [38], რომელთა

დათრგუნვა იმ დროისათვის არსებული ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენებით შეუძლებელი აღმოჩნდა. ეს პროცესები, როგორც წესი, შეიცავენ ე.წ. „სუპერუჯრედიან ღრუბლებს“ დიამეტრით 10-20 კმ და სიმაღლით 15 კმ-მდე. ასეთი გიგანტური მასშტაბების მოცულობებში მაკროსტასტიკური რეაგენტის საჭირო კონცენტრაციის (10^5 - 10^6 მ³) შექმნა მოითხოვს რეაგენტის ფანტასტიკური ინტენსივობით ხარჯვას, რაც ეკოლოგიურად და ეკონომიკურად გაუმართლებელია, ხოლო ტექნიკურად შეუძლებელი. ღრუბელთა არასრული დამუშავებისას კი სეტყვის პროცესის დათრგუნვის ნაცვლად, პირიქით, მისი გაძლიერების საშიშროება იქმნება [39]. სწორედ ამან განაპირობა ნახ. 1-ზე გამოსახული მძლავრი პროცესების დროს მოსული სეტყვის ინტენსივობის ზრდის ტენდენცია და მატერიალური ზარალის უპრეცედენტო გაზრდა. ცხადი გახდა, რომ სეტყვასთან ბრძოლის ეფექტურობის მკვეთრი ამაღლებისათვის საჭირო იყო ზემოქმედების ახალი კონცეფციის დამუშავება და ახალი ტიპის ტექნიკურ საშუალებათა გამოყენება.



ნახ. 1. სეტყვის სახით მოსულ ნალექთა დინამიკა საგარეჯოს, დედოფლისწყაროსა და თელავის მუნიციპალიტეტებში (1965-1988 წწ) [36].

ამასთან ერთად, მოსახლეობაში გაჟონა ინფორმაციამ გასულ წლებში ეკოლოგიურად მავნე რეაგენტის - იოდოვანი ტყვიის ხმარების შესახებ. ყოველივე ამან 1980-იანი წლების დასასრულისათვის კახეთის რეგიონის მოსახლეობა უარყოფითად განაწყო სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების მიმართ, რასაც ხელი შეუწყო აგრეთვე პოლიტიკური მიზნებით დაინტერესებული რიგი საზოგადოებრივი ორგანიზაციების არაკვალიფიციურმა აგიტაციამაც.

შექმნილი ვითარების გათვალისწინებით, აგრეთვე იმის გამო, რომ ეთნიკური კომფლიქტების ნიადაგზე გახშირდა საცეცხლე პუნქტებზე არსებული მძლავრი სარაკეტო და საარტილერიო ტექნიკის გამოყენება დაპირისპირებულ მხარეთა შორის საბრძოლო ოპერაციებში, 1989 წელს რესპუბლიკის მთავრობამ რამდენიმე წლის ვადით გამოაცხადა მორატორიუმი აქტიური

ზემოქმედების სამუშაოებზე, რითაც ფაქტობრივად შეაჩერა სავლე კვლევების წარმოება ნალექთა რეგულირების დარგში.

რაც შეეხება ნალექთა ხელოვნური სტიმულირების ექსპერიმენტებს, სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებისაგან განსხვავებით, 1970-იანი წლების პირველ ნახევარში ეპიზოდურად ტარდებოდა აღმოსავლეთ საქართველოში ზემდგომი ორგანოების სპეციალური დავალების საფუძველზე. 1977 წელს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის დირექტორის აკად. გ. სვანიძის ინიციატივით მიღებული იქნა საქართველოს კვ. ცენტრალური კომიტეტისა და მინისტრთა საბჭოს დადგენილება №478 ნალექთა ხელოვნური გაზრდის საცდელ-საწარმოო სამუშაოთა ჰიდრომეტინსტიტუტისა და სეტყვასთან ბრძოლის გასამხედროებელი სამსახურის ძალებით ჩატარების შესახებ, რომელიც, უპირველეს ყოვლისა, გამიზნული იყო თბილისისა და სიონის წყალსაცავების წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენების ეფექტურობის ასამაღლებლად (პროექტი „-“ქ“, ნახ.2), ხოლო 1981 წლიდან ანალოგიურმა სამუშაოებმა მოიცვა ფარავნის ტბის აუზი (პროექტი „ფარავანი“, ნახ.3).



ნახ. 2. იორის პოლიგონის რელიეფის რუკა [40].

შემუშავებული იქნა რანდომიზებული მეთოდით ჩატარებული ზემოქმედების ეფექტურობის დადგენის კომპლექსური მეთოდიკა, რომელიც ეყრდნობოდა რადიოლოკაციური, ჰიდროლოგიური და ნალექზომი ქსელის დაკვირვებათა მასალების ერთდროულ გამოყენებას. რანდომიზებული ექსპერიმენტები ზაფხულის კონვექციურ ღრუბლებზე ტარდებოდა 2/3 ალბათობით ზემოქმედების სასარგებლოდ. ღრუბლებში რეაგენტის შესატანად გამოიყენებოდა სარაკეტო (კომპლექსი „ალაზანი“, იორის პოლიგონზე) და საარტილერიო (ხრამი-ფარავნის პოლიგონზე) ტექნიკა. ნალექწარმომქმნელი პროცესების მათემატიკური მოდელირების შედეგების საფუძველზე მაკრისტალეზული რეაგენტის (AgI) დოზირება შერჩეულ იქნა ერთი რიგით ნაკლები, ვიდრე სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებში.

1979-1990 წწ. პერიოდში კონვექციური ღრუბლებიდან ნალექთა ხელოვნური სტიმულირების და ინტენსივობის გაზრდის მიზნით ჩატარებული ზემოქმედების საკმაოდ დიდი სერიის (165 ექსპერიმენტული და 80 საკონტროლო ერთეული) გაანალიზების შედეგებმა აჩვენა საცდელ აუზში სეზონური ნალექების საშუალო მომატება 10-15%-ით, სანდობის დონეზე 0.90. ზემოქმედების შედეგად, წყლის პოტენციური დამატებითი რესურსების სიდიდემ წელიწადში 30-70 მლნ ტონა შეადგინა [40-41].



ნახ. 3. ხრამი-ფარავნის პოლიგონის რელიეფის რუკა [40].

სეტყვასთან ბრძოლის სამსახურის პრაქტიკაში ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოების დანერგვასთან დაკავშირებით წამოჭრილი რიგი მეთოდური საკითხების გადაწყვეტის აუცილებლობის გამო იორის პოლიგონზე წლების განმავლობაში ტარდებოდა ახალი გამოკვლევები, მიმდინარეობდა ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის თვალსაზრისით ღრუბლებზე ზემოქმედების სქემის დაზუსტება, ინფორმაციული რადიოლოკაციური პარამეტრების შერჩევა, ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლის მეთოდების დახვეწა და სხვ.

ზემოთ აღნიშნული პროექტების საკვლევ და დამამტკიცებელ ეტაპზე ჩატარებული მთელი რიგი თეორიულ და ექსპერიმენტულ სამუშაოთა ჩატარების შედეგად შესაძლებელი გახდა ნაღვეთა გამოწვევის კრიტერიუმებისა და ზემოქმედების სქემის (რეაგენტის შეტანის ადგილი და ტემპერატურა, დოზა) დაზუსტება; მოსული ნაღვეებისა და კონვექციური ღრუბლების რადიოლოკაციური პარამეტრების სტატისტიკური კავშირის გამოკვლევის საფუძველზე თითოეული ღრუბლიდან მოსული ნაღვეების შეფასების რადიოლოკაციური მეთოდის დამუშავება; თერმოდინამიკური და სინოპტიკური მახასიათებლების ანალიზის საფუძველზე აგებული იქნა დისკრიმინანტული ფუნქცია, რომელიც განასხვავებს მძლავრი გროვა ღრუბლების განვითარების პირობებს, გროვა-საწვიმარი ღრუბლებისაგან, კონვექციურ უჯრედებზე ზემოქმედების შედეგების ფიზიკურ-სტატისტიკური შეფასების ჩატარების მიზნით დამუშავებულია კონვექციური ღრუბლის ერთგანზომილებიანი არასტაციონარული ჰიდროთერმოდინამიკური მოდელი მიკროფიზიკური პროცესების პარამეტრიზაციით, დროებითი ინსტრუქცია, რომლის მიხედვითაც 1987-1990 წწ წარმატებით მიმდინარეობდა ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის მიზნით წარმოებული სამუშაოები სეტყვასთან ბრძოლის გასამხედროებული სამსახურის ქვედანაყოფებში 500 ათასი ჰა ფართობზე ღრუბლებიდან დამატებითი ნაღვეების მიღების სამუშაოებში.

გარდამავალი სეზონების საღრუბლო სისტემებზე ზემოქმედება ნაღვეთა სტიმულირების მიზნით გასული საუკუნის 70-იან წლებში ეპიზოდურად წარმოებდა „ილ-14“ ტიპის სპეციალურად აღჭურვილი თვითმფრინავის გამოყენებით. 80-იან წლებში იგი შეიცვალა „იაკ-40“-ტიპის მფრინავი ლაბორატორიით, რომელიც საკავშირო ჰიდრომეტსამსახურის მიერ მიმაგრებული იყო ჰიდრომეტინსტიტუტში ამიერკავკასიაში ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა ჩასატარებლად. თვითმფრინავზე დამონტაჟებული იყო სხვადასხვა გამზომი აპარატურა, აგრეთვე სისტემა „ACO-2II“ პიროტექნიკური ვაზნების საშუალებით ღრუბელში მაკრისტალური რეაგენტის შესატანად.

1985 წლიდან აღნიშნულმა სამუშაოებმა სისტემატური ხასიათი მიიღო. თვითმფრინავიდან ჩატარებული ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლი წარმოებდა ბორტიდან ჩატარებული ვიზუალური და ფოტოდაკვირვებების საფუძველზე, აგრეთვე ნაღვემზომი ქსელის მონაცემების საშუალებით. დაგეგმილი იყო სინქრონული რადიოლოკაციური დაკვირვებების წარმოება ღრუბელთა და ნაღვეთა ველებზე საქმთავარჰიდრომეტის გასამხედროებული სამმართველოს რამდენიმე რადიოლოკაციური სადგურის გამოყენებით, მაგრამ ფრენის პროგრამის შეკვეცის გამო მათი ჩატარება ვეღარ მოხერხდა.

აღნიშნული მეთოდის დადებით მხარედ შეიძლება ჩაითვალოს შედარებით დიდ ფართობზე ღრუბელთა დამუშავების შესაძლებლობა. ეს შეეხება როგორც ფენა და ფენა-გროვა ტიპის საღრუბლო სისტემებს, ასევე ცალკეულ კონვექციურ ღრუბლებსაც, რომელთა განვითარების სტადიაში მყოფ მწვერვალებზე ზემოქმედება იწვევს საწვიმარ სტადიაში მათი გადაზრდის დაჩქარებას.

ბოლო პერიოდში საწვავის ფასების მკვეთრ ზრდასთან დაკავშირებით ზემოქმედების საავიაციო მეთოდის გამოყენება ჩვენთან ეკონომიკურად გაუმართლებელია, თუმცა დასავლეთის ქვეყნებში თვითმფრინავი იყო და კვლავ რჩება ღრუბლებში რეაგენტის შეტანის ძირითად ტექნიკურ საშუალებად.

რაც შეეხება ზამთრის ნალექთა სტიმულირებას, 1980-იანი წლების მეორე ნახევარში ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი მონაწილეობდა ცენტრალური აეროლოგიური ობსერვატორიის მიერ დამუშავებული ზამთრის ნალექების სტიმულირებისთვის გამიზნული სააეროზოლოგენერატორების ავტომატიზებული კომპლექსის “БукеТ“-ის საველე გამოცდებში.

დაიგეგმა კიდევ იორის პოლიგონზე ზამთრის საღრუბლო სისტემაზე ნალექთა ხელოვნური გაზრდის ექსპერიმენტების ჩატარება, რისთვისაც 1989/90 წლების ზამთარში დამონტაჟდა სათანადო აპარატურა და ჩამოყვანილი იქნენ საკავშირო ორგანიზაციებიდან მოწვეული სპეციალისტები. მაგრამ თიანეთის რაიონის მაშინდელმა ხელმძღვანელობამ წინასაარჩევნო კამპანიაში ავტორიტეტის ასამაღლებლად სახალხო ბრძოლა გამოუცხადა ამ სამუშაოებს. საპროტესტო აქციის შედეგად, რომლის მსვლელობაშიც გაიგივებული იყო იოდოვანი ვერცხლი და ვერცხლისწყალი, ხოლო იორის პოლიგონზე მომუშავე რადიოლოკატორს დაბრალდა სიონის წყალსაცავში თევზის რაოდენობის შემცირება, აღნიშნული სამუშაოები შეჩერდა და გადატანილი იქნა სევანის აუზში, სადაც ჩატარდა კიდევ კომპლექსის საველე გამოცდა.

1990 წლიდან შეჩერებული იქნა პროექტი, რომლის შესრულება ინსტიტუტში ერთ-ერთ პრიორიტეტულ მიმართულებად ითვლებოდა და მოიცავდა როგორც საველე ექსპერიმენტებს, ისე თეორიულ სამუშაოებს, რამაც დიდი ზიანი მიაყენა აღნიშნული გამოკვლევების შემდგომ განვითარებას. შეწყდა ექსპერიმენტული მასალის დაგროვება ზემოქმედების ეფექტურობის კონტროლის დარგში, არსებული მეთოდის სრულყოფისათვის გამიზნულ საველე სამუშაოებში. ამავე დროს მნიშვნელოვნად დაზარალდა ქვეყნის სოფლის მეურნეობა და ენერგეტიკა, აგრეთვე სხვა დარგები, რომლებიც განიცდიან წყლის რესურსების მწვავე დეფიციტს.

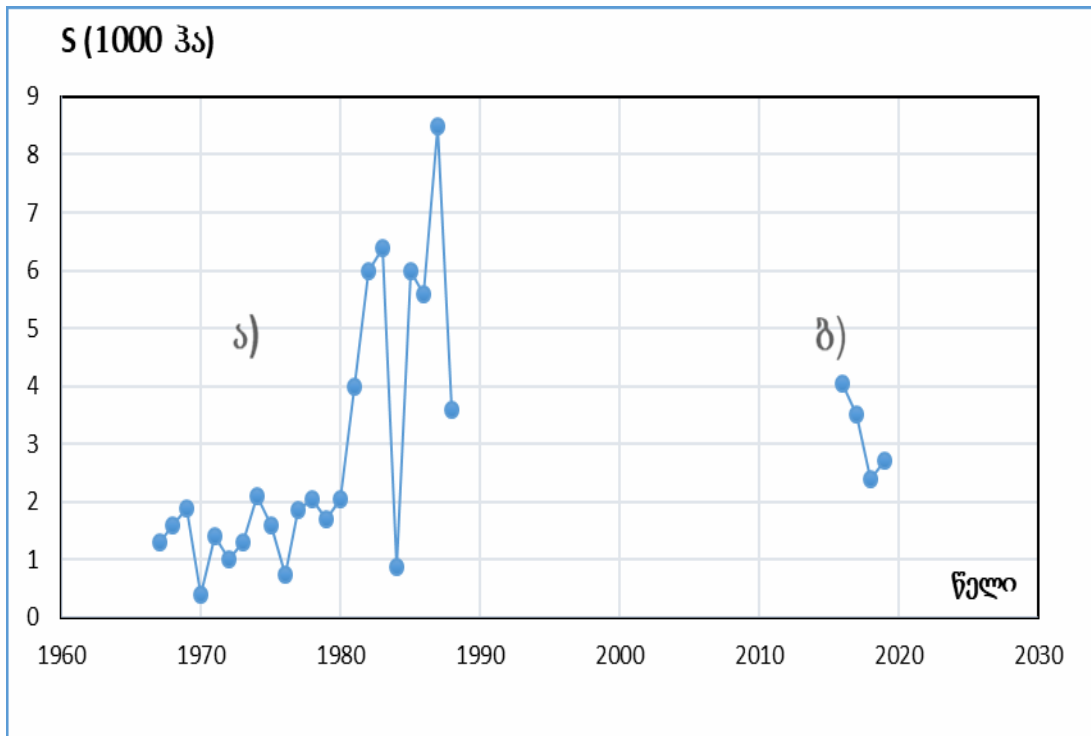
ხანგრძლივი პაუზის შემდეგ [42,43], 2013 წელს საქართველოს მთავრობამ მიიღო გადაწყვეტილება კახეთის რეგიონში სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოთა აღდგენის შესახებ, რომელთა წარმოება დაევალა თავდაცვის სამინისტროსთან არსებული სამეცნიერო-ტექნიკურ გაერთიანება - „დელტას“. 2015 წლის 28 მაისს, თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის მეთოდური ხელმძღვანელობით, კახეთის რეგიონში, დაახლოებით 650 ათას ჰექტარ ფართობზე ახალი, თანამედროვე ავტომატიზებული სისტემის გამოყენებით გაიშალა სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოები [44-46].

იმედია, ახალი ტექნოლოგიის გამოყენება სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებში კარდინალურად შეცვალის რადიოლოკაციური დაკვირვების მონაცემების მიღების, დამუშავებისა და არქივირების წესებს, ხოლო ახალი სარაკეტო კომპლექსი, რომელიც ხასიათდება იოდოვანი ვერცხლის ნაწილაკების გენერაციისა და გაბნევის უფრო მაღალი ეფექტურობით, უზრუნველყოფს სეტყვისაგან დიდი ტერიტორიების საიმედოდ დაცვას და, შესაბამისად, ეკონომიკური ზარალის შემცირებას. ამ ოპტიმიზმის საილუსტრაციოდ, ნახ. 4-ზე მოცემულია 100%-ით დაზიანებული ფართობების დინამიკა (ჰა) 1967-1989 წწ. და 2016-2019 წწ. პერიოდებში შესაბამისად.

როგორც ნახაზიდან ჩანს ახალი ტექნოლოგიების გამოყენებით ჩატარებული ზემოქმედების პირობებში ზარალი საკმაოდ შემცირებულია და მოსალოდნელია სეტყვისაგან დაზიანებული სასოფლო-სამეურნეო კულტურების კიდევ უფრო მაღალეფექტური დაცვა სეტყვის პროცე-

სების სტრუქტურის, განვითარების დინამიკისა და მასშტაბების გათვალისწინებით, ღრუბლებზე ზემოქმედების შესაფერისი სტრატეგიის შერჩევისა და განხორციელების პირობებში [47].

ღრუბლებზე ზემოქმედების სამუშაოთა აღდგენამ გარკვეული საფუძველი შექმნა მომავალში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა განახლებისთვისაც, რადგანაც კონვექციური ღრუბლებზე რადიოლოკაციური დაკვირვების ჩატარებისა და ზემოქმედების წარმოების ტექნოლოგია სეტყვასთან ბრძოლისა და ნალექთა ხელოვნური გაზრდის შემთხვევაში მსგავსია და მხოლოდ რეაგენტის შეტანის დროს, ადგილისა და დოზირების საკითხებშია განსხვავებული. იორის აუზში ნხვ სამუშაოთა შედარებით მცირე მასშტაბის გათვალისწინებით, მათი აღდგენა შექმნილ პირობებში არ არის მოკლებული რეალურ საფუძველს, თუ ეს სამუშაოები უზრუნველყოფილი იქნება რადიოლოკაციური ტექნიკითა და ზემოქმედების საშუალებებით.



ნახ.4. სეტყვისაგან 100%-ით დაზიანებული სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების ფართობების დინამიკა, ა)-1967-1989 წწ. და ბ)-2016-2019 წწ. პერიოდებში.

ნხვ აღდგენის შემთხვევაში, ზამთრის საღრუბლო სისტემებზე ზემოქმედებისთვის მიწის-პირა სააეროზოლო კომპლექსების გამოყენება საგრძნობ წვლილს შეიტანს მთებში თოვლის მარაგის გაზრდაში და შესაბამისი წყალსაცავების საირიგაციო და ჰიდროენერგეტიკული პოტენციალის ამაღლებაში, ხოლო თვითმფრინავის გამოყენება შესაძლებელს გახდის გაიზარდოს თოვლის საფარი აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკე რაიონებში, რაც გააუმჯობესებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების გამოზამთრების პირობებს და უზრუნველყოფს გაზაფხულზე ნიადაგს დამატებითი ტენით. წლის თბილ პერიოდში ნხვ პროგრამით ზემოქმედების ჩატარება კონვექციურ ღრუბლებზე გარკვეულ წვლილს შეიტანს სეტყვისაგან ტერიტორიების დაცვაშიც, რადგანაც ხშირ შემთხვევაში ნალექის მომცემი ზემოქმედებაქმნილი ღრუბელი აღარ გადავა სეტყვასა-შიმ სტადიაში და დაიშლება დისიპაციის ბუნებრივი პროცესის შედეგად [48].

აღნიშნული მოსაზრებები იძლევა საფუძველს დაისვას საკითხი აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა თანამედროვე დონეზე აღდგენის შესახებ.

მიუხედავად გასულ წლებში მიღებული წარმატებისა, ნალექთა ხელოვნური გაზრდის პრობლემაში ჯერ კიდევ ბევრი გადასაწყვეტი ამოცანა რჩება როგორც თეორიულ ასპექტში, ასევე მიღებული შედეგების პრაქტიკაში გამოყენების დარგში. შემდგომ დაზუსტებას მოითხოვს ბუნებრივი და ხელოვნური ნალექწარმოქმნელი პროცესების ფიზიკური საფუძვლები, არასაკმარისადაა შესწავლილი ღრუბელში რეაგენტის გავრცელებისა და საღრუბლო გარემოსთან მისი ურთიერთქმედების მექანიზმები, გამოსაკვლევი კონდენსაციისა და კრისტალიზაციის ბუნებრივი ფონი, ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოების ჩატარების რაიონში მათი გავრცელების კანონზომიერებანი ატმოსფეროსა და ღრუბლებში. ნხვ სამუშაოთა პროგრესი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად სწორად იქნება შეფასებული სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში განვითარებული, განსხვავებული ფორმის ღრუბლებში მიმდინარე პროცესები.

ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოების ფართო მასშტაბით წარმოებისას ბუნებრივია იზადება კითხვა გარემოზე მათი გავლენის შესახებ. ნალექთა ხელოვნური გაზრდის შემთხვევაში ეს კითხვები ძირითადად ეხება იმას, მოქმედებს თუ არა მოცემულ რეგიონში სამუშაოთა ჩატარება ამ რეგიონის დატენიანების რეჟიმზე და თუ მოქმედებს, როგორია გადახრის სიდიდე მრავალწლიურ საშუალოდან (ნორმისგან). არანაკლებ მნიშვნელოვანია ნალექთა რეჟიმის შესაბამისი ცვლილების გარკვევა მეზობელ რეგიონებში, ე.ი. ნალექთა გადანაწილების პრობლემის გარკვევა, აგრეთვე ზემოქმედებისთვის გამოყენებული რეაგენტების ეკოლოგიური უვნებლობის საკითხის დადგენა. სეტყვასთან ბრძოლის შემთხვევაში გარემოზე ზემოქმედების ასპექტში ძირითადად ორი კითხვა განიხილება - როგორია შერჩეული რეაგენტების ხმარების შედეგად ეკოლოგიური დატვირთვა ბუნებრივ გარემოზე საკონტროლო ტერიტორიისა და მის მიმდებარე რეგიონების ფარგლებში და როგორ მოქმედებს წარმოებული სამუშაოები აღნიშნული ტერიტორიის ნალექთა რეჟიმის ცვლილებაზე.

გასულ წლებში სეტყვის საწინააღმდეგო ოპერაციებში ტყვიის იოდიდის გამოყენებამ დიდი ზიანი მიაყენა ზემოქმედების სამსახურის სახელსა და ავტორიტეტს, რის შედეგადაც მოსახლეობა უნდობლობით ეკიდება ყველა გამოყენებულ რეაგენტს, მათ შორის გარემოსთვის პრაქტიკულად არასაზიანოს AgI-საც. აქედან გამომდინარე, უპირველეს პრობლემად მიგვაჩნია საზოგადოებრივი აზრისა და მოსახლეობის ფართო ფენების განწყობის შეცვლა განხილულ სამუშაოთა მიმართ, რაც ობიექტური და პირუთენელი ინფორმაციის საფუძველზე უნდა მოხდეს. ინფორმაცია კი უნდა ეყრდნობოდეს მეცნიერული გამოკვლევის შედეგებს.

განხილული სამუშაოების ეკოლოგიური სტანდარტების მსოფლიო დონეზე დასაცავად საჭიროა მათზე კონტროლის დაწესება დამოუკიდებელი უწყების მხრიდან, რომელიც სისტემატურად შეამოწმებს გარემოში ზემოქმედების ოპერაციებში გამოყენებული ელემენტების კონცენტრაციას სამუშაოების დაწყებამდე და მისი მსვლელობის პროცესში.

ამრიგად, განვლილ პერიოდში (1967-1990 წწ.) ჩატარებულ ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოთა რეტროსპექტულმა ანალიზმა ცხადყო, რომ მსგავსი სამუშაოების განახლების პროცესს წინ უნდა უძღოდეს აღნიშნულ დარგში მიღებული შედეგების დეტალური ანალიზი დადებითი მხარეების შენარჩუნებისა და განვითარების უზრუნველსაყოფად, ხოლო დაშვებული შეცდომების გათვალისწინებისა და აღმოსაფხვრელად. სასურველია ზემოქმედების ჩატარება მოხდეს კომპლექსურად, როგორც ნალექთა სტიმულირების მიზნით, ისე სეტყვასთან ბრძო-

ლის პროგრამით. ექსპერიმენტების გეგმა უნდა ეყრდნობოდეს ზემოქმედების სტატისტიკური მოდელირების შედეგებს, ხოლო ზემოქმედების მეთოდიკა დასაბუთებული უნდა იყოს მძლავრ კონვექციურ ღრუბლებში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии, Л., Гидрометеиздат, 1960.
2. კორძაბია მ. საქართველოს ჰავა. საქ.სსრ მეცნ.აკად. გამომცემლობა, თბილისი, 1961, გვ.45-68.
3. Ватьян (Ватиашвили) М.Р., Серафимов В.К. Аэросиноптические условия формирования кучево-дождевой облачности в предгорных и горных районах Восточной Грузии. Труды ВГИ, вып. 77, 1989, с. 60-68.
4. Гуния С.У., Харчилава Ф.Е. Аэросиноптические условия выпадения ливневых осадков в Закавказье и разработка методики их прогнозирования. Труды ЗакНИГМИ, вып. 10(16), 1962.
5. Хвичия М.С. Атмосферные осадки. Труды ЗакНИГМИ, вып. 44 (50), 1971, с.109-271, с. 294-300.
6. Папинашвили Л.К. Атмосферные осадки. Снежный покров. Труды ЗакНИГМИ, вып. 44 (50), 1971, с. 271-294.
7. Чиракадзе Г.И. Климатические параметры естественной влагообеспеченности Закавказья. Труды ЗакНИГМИ, вып. 44 (50), вып. 50 (56), 1972, с. 7-33.
8. Бартишвили М.Я., Бериташвили Б.Ш. Некоторые вопросы динамики выпадения конвективных осадков на территории Грузии. Труды ЗакНИГМИ, вып. 47(53), 1973, с. 37-46.
9. Ватьян М.Р., Серафимов В.К. Метод прогноза летних осадков в Восточной Грузии. Методические рекомендации. Гидрометеосентр им. В.П. Ломинадзе Грузинского УГКС, вып. 1, 1986, с. 46-53.
10. Ватьян М.Р., Серафимов В.К. К вопросу о формировании умеренных и сильных летних осадков в Восточной Грузии. Труды Гидрометеоцентра СССР, вып. 292, 1987, с.35-38.
11. Чоговадзе И.В. Прогноз обильных осадков на сутки для Закавказья с использованием принципа аналогичности. Труды ЗакНИГМИ, вып. 53 (59), с. 49-55.
12. ჯავახიშვილი შ. ატმოსფერული ნალექები საქართველოს ტერიტორიაზე. თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1981, 184 გვ.
13. Сулаквелидзе Я.Г. Ливневые осадки в горных странах на примере Закавказья. Изд. ТГУ, Тбилиси, 1988.
14. მუმლაძე დ. საქართველოს კლიმატის თანამედროვე ცვლილება. თბილისი, „მეცნიერება“, 1991, გვ. 70-100.
15. Папинашвили Л.К. Колебание атмосферных осадков на территории Закавказья. Труды ЗакНИГМИ, вып. 74(80), 1980, с. 62-71.
16. Алибегова Ж.Д., Элизбарашвили Э.Ш. Статистическая структура атмосферных осадков в горных районах. Л. Гидрометеиздат, 1980.
17. Бериташвили Б.Ш.К энергетической оценке процессов развития конвективных облаков высокогорной зоне. Труды ЗакНИГМИ, вып. 36 (42), 1971, с.11-14.
18. Ватьян М.Р, Баларджишвили Г.А., Капанაძე Н.И., Каджая Э.В., Квачакиძე А.Ш., Метრელი А.З. Радиолокационное исследование конвективных облаков, пригодных для воздействия в районах Восточной Грузии. Труды ВГИ, вып. 69, 1987, с. 55-62.
19. Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Менаბდე Ш.Ш., Метრელი А.З., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Радиолокационный способ индикации мощно-кучевых и кучево-дождевых обл. и расчет количества выпавших из них осадков. „Планирование и оценка эффективн. работ по искусственному увеличению осадков“. М. Гидрометеиздат, 1988, с. 180-187.
20. Бартишвили И.Я., Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Кирвалидзе Ц.Д., Мирианашвили Н.И., Морчиладзе Н.С., Одикадзе М.Я. Оценка влияния противорадовой защиты на режим осадков защищаемых и контрольных территорий Южной и Восточной Грузии. Труды ГГО., вып. 497, 1986, с. 63-68.
21. Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Одикадзе М.Я., Цинцадзе Т.Н. К оценке перераспределения осадков при воздействии на грозо-градовые процессы в Центральной части Южной Грузии. Тезисы докладов III Всесоюзного семинара - совещания (11-15 ноября 1986) “Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков”, Тбилиси, 1986, с. 48-50.
22. Бартишвили И.Т., Ватьян М.Р., Капанაძე Н.И., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Исследование влияния противорадовой защиты на режим осадков центральной части Южной Грузии. Материалы Всесоюзного семинара по физике образования градовых процессов и активных возд. на них. М. Гидрометеиздат, 1988, с. 118-123.
23. Ватиашвили М.Р., Бахсолиани М.Г., Газашвили А.Г., Капанაძე Н.И., Микадзе В.Ш., Сиамашвили Н.Р. Исследование градовых процессов в районах Восточной Грузии. Труды Всесоюзного семинара “Активные

- воздействия на грозовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий”. М. Гидрометеиздат, 1991, с.251-260.
24. Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И., Челидзе Г.С., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Исследование некоторых климатических характеристик осадков в центральной части Южной Грузии. Тезисы докладов научной конференции (24 декабря 1985). Проблемы развития производительных сил горных областей. Тбилиси, 1986, с.17-18.
 25. Ватьян М. Р., Капанадзе Н.И., Цинцадзе Т.Н. Об учете естественной изменчивости сум осадков в оценках работ по воздействию на конвективные облака в бассейне река Иори. Тезисы доклада III Всесоюзного семинара-совещания “Планирование и оценка эффективн. работ по искусственному увелич. Осадков”. Тбилиси, 1986, с. 45-47.
 26. Ватиашвили М.Р., Беридзе Т.В., Капанадзе Н.И., Одикадзе М.Я., Серафимов В.К. Исследование влияния некоторых циркуляционных процессов и атмосферных фронтов на формирование кучево-дождевой облачности в предгорных и горных районах Восточной Грузии. Труды ВГИ, вып. 81. 1990, с. 99-105.
 27. Априамашвили Н.Ш., Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И. К вопросу оценки облачных ресурсов по данным радиолокационных наблюдений в районах Восточной Грузии. молодых учёных и специалистов, посвященной XXVIII съезду Компартии Грузии. Акт. вопр. наук о земле. изд. ТГУ, 1986, с.100-101.
 28. Бартишвили И.Т., Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И., Менабде Ш.Ш., Одикадзе М.Я. Оценка влияния некоторых метеорологических факторов и нормы расхода кристаллизующего реагента на результаты работ по увеличению осадков в бассейне р.Иори. Планирование и оценка эффективн. работ по искусственному увеличению осадков. М. Гидрометеиздат, 1988, с. 188-196.
 29. Ватиашвили М.Р., Бахсолиани М.Г., Газашвили А.Г., Капанадзе Н.И., Шавердашвили П.П. К радиолокационной оценке физической эффективности воздействия в работах по увеличению осадков. Сборник работ гидрометеорологического центра им. Ломинадзе Ленинград, Гидрометеиздат, вып.1, 1988, с.124-128.
 30. Сванидзе Г.Г., Ватиашвили М.Р., Капанадзе Н.И., Кудлаев Э.М. К вопросу рандомизированных экспериментов по искусственному увеличению осадков по схеме “Плавающей мишени”. Труды ВГИ, вып. 85, 1992, с.90-96.
 31. ბერიტაშვილი ბ., ვათიაშვილი მ., კაპანაძე ნ. სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოთა გავლენა ნალექთა რეჟიმზე საქართველოს ტერიტორიაზე. საქ. მეცნ. აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მე-40 სამეცნიერო სესიის მასალები. თბილისი, 1995, გვ.11-13.
 32. Ватиашвили М.Р., Капанадзе Н.И., Одикадзе М.Я. Перераспределение осадков в районах Восточной Грузии при воздействии на грозовые процессы. Труды Всесоюзного семинара “Активные воздействия на грозовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий”. М. Гидрометеиздат, 1991, с.243-251.
 33. Всемирная метеорологическая организация. Краткий обзор проекта ВМО, Женева, 1987.
 34. Бухникашвили А.В. и др. Методика активных воздействий на грозовые процессы и результаты опытов, проведенных в Алазанской долине. Труды Всесоюзного совещания по актю воздью на грозовые процессы. Тбилиси, 1964, с.281-324.
 35. Бартишвили И.Е. и др. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Труды ЗакНИГМИ, вып. 67(73), 1978, с. 68-72.
 36. კაპანაძე ნ., მკურნალიძე ი., ფიფია მ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა რეგულირების სამუშაოთა განვითარების ზოგიერთი ასპექტი. ახალგაზრდა მეცნიერთა საერთაშორისო კონფერენცია „დედამიწის შემსწავლელი მეცნიერების თანამედროვე პრობლემები“. (21-22 ნოემბერი, 2022 წ), თბილისი, 2022, გვ. 145-150.
 37. ფიფია მ., კაპანაძე ნ., ქართველიშვილი ლ., ბეგლარიშვილი ნ. სეტყვიან დღეთა რაოდენობა სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოებამდე, წარმოებისას და მის შემდგომ პერიოდში. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, თბილისი, ტ. 124, 2017, გვ.42-49.
 38. Абшаев М.Т., Бурцев И.И., Федченко Л.М. Противоградовая защита в СССР. Сб. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Труды Всесоюзн. Конфер. Гидрометеиздат, Л., 1990, с. 101-108.
 39. Atlas D. The present and future of hail suppression. Proc. II WMO Sci. conf. on weather modification. WMO № 243, Boulder, Colo, pp. 207-216.

40. ბერიტაშვილი ბ., ცინცაძე თ., კაპანაძე ნ. ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოები საქართველოში. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი, 2020, 122 გვ.
41. სვანიძე გ., ბეგალიშვილი ნ., ბერიტაშვილი ბ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის პროექტის შესრულების შედეგები. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის 150 წლისთავისადმი მიძღვნილი შრომათა კრებული. „მეცნიერება“, თბილისი, 1997, გვ. 51-58.
42. ამირანაშვილი ა.გ., ბახსოლიანი მ.გ., ბეგალიშვილი ნ.ა., ბერაძე ნ.ი., ბერიტაშვილი ბ.შ., რეხვაიშვილი რ.გ., ცინცაძე თ.ნ., რუხაძე ნ.პ. О возобновлении работ по регулированию осадков в Восточной Грузии, Тр. Института гидрометеорологии, ISSN 1512-0902, том 108, Тбилиси, 2002, 249-260.
43. ამირანაშვილი ა.გ., ბახსოლიანი მ.გ., ბეგალიშვილი ნ.ა., ბერიტაშვილი ბ.შ., რეხვაიშვილი რ.გ., ცინცაძე თ.ნ., ჩიტანავა რ.ბ. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
44. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. 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, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
45. Amiranashvili A., Burnadze A., Dvalishvili K., Gelovani G., Ghlonti N., Dzodzuashvili U., Kaishauri M., Kveselava N., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia Sh., Chargazia Kh., Chikhladze V. Renewal Works of 215 Anti-Hail Service in Kakheti. Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 66, Tb., 2016, pp. 14 – 27, (in Russian).
46. Amiranashvili A.G. 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>.
47. Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 216-222, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
48. ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., ცინცაძე თ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა აღდგენის საკითხისათვის. მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის 80 წლისადმი მიძღვნილი სამეცნიერო კონფერენციის შრომები. თბილისი, 2014, გვ. 103-106.

ნალექთა ხელოვნური რეგულირების რეტროსპექტული ანალიზი

კაპანაძე ნ., მკურნალიძე ი., ფიფია მ.

რეზიუმე

მოცემულ სტატიაში განხილულია 1967-1989 წწ პერიოდში საქართველოს ტერიტორიაზე წარმოებულ ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოები, როგორც სეტყვასთან ბრძოლის, ასევე ნალექთა ხელოვნური გაზრდის მიმართულებით. თითქმის 3 ათწლეულზე მეტი ხნის განმავლობაში ჩატარებული სამუშაოთა განაალიზებამ გვიჩვენა, რომ აღნიშნულ სამუშაოთა განახლების პროცესს წინ უნდა უძღოდეს აღნიშნულ დარგში მიღებული შედეგების დეტალური ანალიზი. უნდა მოხდეს დადებითი მხარეების შენარჩუნება, ხოლო დაშვებული შეცდომების გათვალისწინება და გამოსწორება. სასურველია ზემოქმედების ჩატარდეს კომპლექსურად, როგორც ნალექთა სტიმულირების მიზნით, ისე სეტყვასთან ბრძოლის პროგრამით. ექსპერიმენტების

გეგმა უნდა ეყრდნობოდეს ზემოქმედების შესაბამისი სტატისტიკური მონაცემების ანალიზის შედეგებს, ხოლო ზემოქმედების მეთოდოლოგია დასაბუთებული უნდა იყოს მძლავრ კონვექციურ ღრუბლებში მიმდინარე პროცესების მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე.

საკვანძო სიტყვები: ნალექთა ხელოვნური რეგულირება, აქტიური ზემოქმედება, სეტყვას პროცესები, კონვექციური ღრუბლები, ნალექთა რეჟიმი.

RETROSPECTIVE ANALYSIS OF ARTIFICIAL REGULATION OF PRECIPITATION

Kapanadze N., Mkurnalidze I., Pipia M.

Abstract

His article, the work on the artificial regulation of precipitation on the territory of Georgia in the period 1967-1989 is considered, both in the direction of combating hail and in the direction of artificial increase in the amount of precipitation. The analysis of the works carried out for more than 3 decades showed us that the process of renewal of the said works should be preceded by a detailed analysis of the results obtained in the said field. The positive aspects should be preserved, and the mistakes made should be taken into account and corrected. It is desirable that the impact be carried out in a complex manner, both for the purpose of stimulation of precipitation, and with the program of fighting against hail. The plan of experiments should be based on the results of the analysis of statistical data relevant to the impact, and the methodology of the impact should be justified on the basis of mathematical modeling of the processes taking place in strong convective clouds.

Key words: artificial regulation of precipitation, active impact, hail processes, convective clouds, precipitation regime.

РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ ИСКУССТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСАДКОВ

Капанадзе Н., Мкурналидзе И., Пипиа М.

Реферат

В данной статье рассматриваются работы по искусственному регулированию осадков на территории Грузии в период 1967-1989 гг., как в направлении борьбы с градом, так и в направлении искусственного увеличения количества осадков. Анализ работ, проведенных за более чем 3 десятилетия, показал нам, что процессу возобновления указанных работ должен предшествовать подробный анализ результатов, полученных ранее в указанной области. Положительные результаты следует сохранить, а допущенные ошибки учесть и исправить. Воздействие желательно проводить

комплексно, как с целью стимулирования осадков, так и с программой борьбы с градом. План экспериментов должен быть основан на результатах анализа соответствующих статистических данных воздействия, а методика воздействия должна быть обоснована на основе математического моделирования процессов, происходящих в мощных конвективных облаках.

Ключевые слова: искусственное регулирование осадков, активное воздействие, градовые процессы, конвективная облачность, режим осадков.

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ГРУЗИИ В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА, ТГУ

Пи́пия М.Г.

*Институте геофизики им. М. Нодиа, ТГУ, Тбилиси, Грузия
Институт гидрометеорологии, ГТУ, Тбилиси, Грузия
mishapipia@yahoo.com*

Исследования в области физики атмосферы и климатологии в Институте геофизики АН Груз. ССР начались в 1936 г. Изучались вопросы энергетики вертикального потока воздушных масс и термодинамических условий образования и развития фоновых явлений в Грузии (И. Г. Курдиани). Исследовались: генезис климата Закавказья, перенос воздушных масс в Западной Грузии, облачные системы и грозовые явления в Тбилиси и его окрестностях, а также термический режим в верхних слоях тропосферы на территории Грузии. Большое внимание уделялось вопросам климатологии, в частности исследованиям климатических характеристик отдельных районов Грузии и Закавказья. В результате этого был разработан метод генетического анализа климатических и метеорологических условий для горной страны (А. Г. Балабуев) [1].

В последние четыре десятилетия исследования различных элементов климата (грозы, град, атмосферные аэрозоли, озон и др.) осталось одним из приоритетных направлений работы сектора физики атмосферы института геофизики. Однако, наиболее важные результаты были получены в результате широкомасштабных исследованиях современного изменения климата Грузии, которые были начаты в 1996 году совместно с институтом географии им. Вахушти Багратиони и институтом гидрометеорологии и продолжают по сей день. В первую очередь была проведена инвентаризация парниковых газов в Грузии, изучены пространственно-временные вариации полей температуры воздуха и почвы, вертикального распределения температуры и влагосодержания в свободной атмосфере, облачности, осадков, солнечной радиации, содержания в атмосфере аэрозолей и озона [2-10].

В частности, в работе [9] проведен подробный анализ особенностей изменения антропогенной эмиссии радиационно-активных малых примесей в атмосфере (РАМПА) в Грузии в течении последних двух десятилетий. Так, доля миссии различных составляющих АМПА в период с 1991 по 1996 гг. по сравнению с периодом с 1980 по 1990 гг. составила: для CO_2 - 35.1%, CH_4 - 51.7%, N_2O - 48.1%, NO_x - 36.0%, CO - 39.9%, SO_2 - 32.7%, аэрозолей (сульфаты, нитраты, сажа, твердые выбросы) - около 30%. Это связано с существенным падением в Грузии промышленного производства после распада Советского Союза. Соответственно в промышленных городах в приземном слое воздуха уменьшилось содержание пыли, CO , SO_2 , NO_x . Так в Тбилиси в период с 1991 по 1996 гг. по сравнению с предыдущей шестилеткой содержание пыли и CO составляло 60%, NO_x - 44%, SO_2 - 9%. Содержание приземного озона, напротив, возросло на 42%. В тот же промежуток времени по

сравнению с 1985-1990 гг., количество образующихся вторичных сульфатных ядер конденсации уменьшилось в четыре раза.

В этой же работе предложена блок-схема взаимодействия атмосферных аэрозолей и конвективных облаков, а также образования в атмосфере и облаках ядер конденсации, кристаллизации и ледяных кристаллов с учетом протекающих в атмосфере процессов ионизации и электризации. Показано, что мощные конвективные и грозовые облака способны вносить существенный вклад в прямые и косвенные радиационные эффекты.

Исследованы вариации общего содержания озона в период с 1973 по 1995 гг. Показано, что в указанный период времени как в Грузии, так и в прилегающих регионах (Одесса, Самара, Ашхабад, Алма-Ата) наблюдаются отрицательные тренды общего содержания озона как для средне сезонных, так и среднегодовых значений [9].

Проведен подробный анализ пространственно-временных характеристик аэрозольной оптической толщи атмосферы (АОТ) над Грузией. В частности, было показано, что для всей территории Грузии в период с 1928 по 1990 гг. наблюдались существенные положительные тренды аэрозольной оптической толщи атмосферы, обусловленные ростом антропогенного аэрозольного загрязнения атмосферы. Приведены оценки динамики фоновой, случайной и антропогенной составляющей аэрозольной оптической толщи атмосферы. Так, если в период с 1928 по 1950 гг. в различных районах Грузии доля антропогенной составляющей АОТ составляла от ее общей величины 3-9%, то в период с 1971 по 1990 гг. эта доля составляла 44-63% (Цалка и Тбилиси соответственно) [3,4,9]. Позднее [11,12] был проведен сравнительный анализ изменчивости АОТ в Тбилиси, Цалке и Кисловодске для периода с 1941 по 1990 гг. Было показано, что динамика общего аэрозольного загрязнения в Грузии (Тбилиси, Цалка) и на Северном Кавказе (Кисловодск) имеет сходный характер

Проведены теоретические расчеты влияния некоторых РАМПА на режим прямой и рассеянной солнечной радиации в Грузии в ясные дни [9]. В частности, показано, что в результате роста аэрозольного загрязнения атмосферы в 1990 году по сравнению с 1928 годом в Тбилиси ослабление интенсивности прямой солнечной радиации увеличилось на 37%, в Телави на 35%, в Западной Грузии (Анасули, Сенаки, Сухуми) - на 28%, в Цалке - на 6%. Приведены оценки влияния на потоки коротковолновой солнечной радиации изменчивости содержания в атмосфере водяного пара, озона, аэрозолей и величин коротковолнового альbedo подстилающей поверхности. В частности, получено, что к концу восьмидесятых годов в результате антропогенного роста АОТ в январе месяце интенсивность коротковолновой солнечной радиации уменьшилась в Тбилиси на 2.2 Вт/м², в Телави на 1.1 Вт/м², в Западной Грузии на 0.6 Вт/м², в Цалке на 0.5 Вт/м². В июле месяце это уменьшение соответственно составило: 12.5, 11.5, 7.5 и 5.5 Вт/м².

В монографии [10] были установлены особенности вертикального распределения температуры воздуха в тропосфере, региональная изменчивость этих особенностей, суточные вариации, устойчивость инверсий и влияние облачности на температурную стратификацию свободной атмосферы. Изучены закономерности вертикального распределения абсолютной влажности воздуха. Выявлены особенности изменения вертикального распределения абсолютной влажности в 1940-1900 гг. Изучено влияние продолжительности солнечного сияния и скорости ветра на АОТ. Составлены карты распределения аэрозольной оптической толщи атмосферы над территорией Грузии для различных периодов времени. Построены карты изменчивости поля температуры поверхности почвы на территории Грузии по сезонам года.

В работе [7] приведены результаты исследования нижней и общей облачности над территорией Грузии в период с 1936 по 1991 гг. Было показано, что характер изменчивости общей (ОО) и нижней (НО) облачности в Западной и Восточной Грузии мало отличаются друг от друга как в теплое, так и в холодное время года. Близки и характеры изменчивости среднегодовых значений ОО в Западной и Восточной Грузии. В холодное время года в обеих частях страны преобладают отрицательные тенденции ОО. В теплый период года в Западной Грузии на большинстве станций (46%) отмечаются положительные тренды ОО, а в Восточной Грузии на большинстве станций (56%) тренды ОО отсутствуют.

Тенденции изменчивости нижней облачности в Западной Грузии в среднем за год и в холодное время года в основном отрицательные, а в теплое – положительные. В Восточной Грузии для всех сезонов года наблюдаются четкие положительные тенденции в вариациях значений НО. Для всей территории Грузии в среднем за год и в теплое время года на большинстве станций трендов ОО не обнаружено.

В холодное время года на большинстве станций обнаруживаются отрицательные тренды ОО. Что касается нижней облачности, то для всей территории Грузии на большинстве станций во все сезоны в ее изменчивости наблюдаются положительные тенденции.

В продолжение этих исследований в работе [13] представлены результаты статистического анализа месячных, полугодовых и годовых значений общей облачности в Тбилиси за 1956-2015 гг. В частности, установлено, что в период с 1986 по 2015 г. по сравнению с периодом 1956-1985 гг. в г. Тбилиси за все месяцы и периоды года (за исключением августа и декабря - отсутствие изменения значений ОО, и октябрь - рост облачности), наблюдается снижение значений общей облачности. Наибольшее уменьшение значений ОО в 2015 г. по сравнению с 1956 г. относительно средней величины общей облачности за 1956-2015 гг. наблюдалось в июне: -20.3%, наименьшее - в апреле: -6.4%.

Важное значение уделялось и уделяется изучению изменчивости таких атмосферных явлений, как грозы, град, туманы [14-19], наносящих значительный ущерб народному хозяйству страны [20].

В таблице 1 представлены данные о трендах числа дней с грозами для теплых периодов года (1936-1962, 1963-1990 гг.) для различных климатических зон Грузии.

Таблица 1. Тренды числа дней с грозами для теплого периода года (1936-1962, 1963-1990 гг.) [14].

Регион, климатическая зона	Число метеостанций	Тренд		
		Полож.	Отриц.	Нулевой
Грузия	115	37	16	47
Западная Грузия	62	36	19	45
Восточная Грузия	53	40	11	49
I. Южная часть Черноморского побережья.	5	60	-	40
II. Северная часть Черноморского побережья.	8	38	25	37

III. Внутренняя равнинная часть Западной Грузии с предгорьями.	21	24	10	66
IV. Имеретинская возвышенность.	10	40	30	30
V. Верхнекартлийская и Нижнекартлийская равнины с предгорьями.	17	41	18	41
VI. Алазанская долина с предгорьями.	7	43	-	57
VII. Иорское плоскогорье с прилегающими степями.	4	25	-	75
VIII. Периферийная часть Западного Кавказиони.	2	50	-	50
IX. Внутренняя часть Внутреннего Кавказиони.	12	75	-	25
X. Предгорье и среднегорье Восточного Кавказиони.	2	50	-	50
XI. Высокогорье Восточной Грузии.	4	25	-	75
XII. Северные склоны Кавказиони.	3	-	33	67
XIII. Западная часть Южно-Грузинского нагорья.	4	-	50	50
XIV. Южные склоны Месхетского и Триалетского хребтов.	8	37	13	50
XV. Южная часть Южно-Грузинского нагорья.	8	62	13	25

Из таблицы 1 следует, что тренд числа дней с грозами в теплое полугодие (апрель-октябрь) отмечается на 53% метеостанций Грузии. В основном выявлено увеличение числа дней с грозой. В Восточной Грузии (53 метеостанции) на 51% станций тренд числа дней с грозами существует, из них на 40% - положительный. В Западной Грузии (62 метеостанции) на 55% станций отмечена в основном положительная тенденция изменения числа грозовых дней.

По климатическим зонам выявлено следующее:

по Черноморскому побережью на 60% станций отмечен тренд числа дней с грозами;

в IV и V климатических зонах на 60-70 % станций зафиксировано существование трендов, причем положительных;

в VI, XIII, IX, X и XV зонах положительные тренды отмечены на 50-75% станций;

в XIV зоне на 50% станций существует тренд, в основном положительный;

в XIII зоне отмечено уменьшение числа дней с грозами на 50% станций;

в III, VII, XI, XII климатических зонах на 60-75% станций тенденция изменения числа дней с грозами не отмечена.

По мнению авторов, изменение грозовой деятельности может быть вызвано изменениями общей атмосферной циркуляции, термодинамического режима, а также влиянием различных антропогенных факторов.

Информация о статистических характеристиках числа дней с градом в теплое полугодие (апрель-октябрь) для 122 метеостанций Грузии в три периода времени представлена в таблице 2 [16].

Таблица 2. Статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие для 122 метеостанций Грузии в три периода времени

Период/параметр	1941-1990	1941-1965	1966-1990
Среднее	1.27	1.54	0.99
Мин.	0.04	0.04	0
Макс.	5.6	7.24	6.08
Ст. откл.	1.31	1.6	1.2

Таблица 3. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1966-1990 гг. по сравнению с 1941-1965 гг.

Тренд/регион	Отрицательный (%)	Положительный (%)	Нет тренда (%)
Западная Грузия	50.6	14.8	34.6
Восточная Грузия	58.5	4.9	36.6
Вся территория	53.3	11.5	35.2

Как следует из этой таблицы, в период с 1941 по 1990 гг. среднее по всем станциям число дней с градом было 1.27. В первый период времени число дней с градом для этих станций в среднем было 1.54, а во втором периоде - уменьшилось до 1.0.

Тенденции в изменчивости числа дней с градом в Грузии в 1966-1990 гг. по сравнению с 1941-1965 гг.) представлены в таблице 3. Так, на территории Грузии во второй период времени по сравнению с первым периодом как целом, так в ее западной и восточной частях преимущественно наблюдалась отрицательная динамика в изменчивости числа дней с градом (таблицы 2 и 3).

С учетом новых данных было проведено сравнение числа дней с градом по 30 метеостанциям Грузии в 2006-2021 и 1941-1990 гг. [17]. Выявилось, что во второй период времени по сравнению с первым периодом количество дней с градом на 18 станциях уменьшилось, на 10 станции - не изменились, а увеличились только на одной станции (Кеда).

В работах [18, 19] проведено исследование годового числа дней с туманом в Грузии. В частности, показано, что тренды среднего числа дней с туманом в год на одну метеорологическую станцию в Грузии и ее восточной и западной частях в 1936-1990 гг. отрицательные и удовлетворительно описываются нелинейными уравнениями третьего порядка. В Восточной Грузии по сравнению с Западной Грузией уменьшение количества дней с туманом в году в 1936-1990 гг. происходило менее интенсивно.

В работах [21-26] представлены результаты исследования вариаций концентрации приземного озона и других составляющих атмосферы в Тбилиси в последние 40 лет. Так, в монографии [23] изучена изменчивость концентрации приземного озона, солнечной радиации, дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы. В частности, изменчивость концентрация приземного озона в 1984-2011 гг. происходила в соответствие с полиномом четвертой степени. В общем, с 1984 по 1997-1998 гг. происходил рост концентрации озона, затем – до 2006-2007 гг., уменьшение и в 2008-2011 гг. – вновь рост. Интенсивность прямой и суммарной солнечной радиации в 2010-2011 гг. практически не отличается от тех же данных для 1980-1992 гг. Значения дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы указывают на то, что в 2010-2011 годы аэрозольное загрязнение атмосферы было несколько меньше, чем в 1980-1992 гг.

Выявлены эффекты воздействия концентрации приземного озона, а также других определяющих и сопутствующих фотохимический смог параметров атмосферы на здоровье людей. В частности, установлено, что в условиях г. Тбилиси в максимальная дневная концентрация озона 50 мкг/м^3 и выше крайне неблагоприятно влияет на здоровье людей. Эта концентрация значительно ниже (в 3-5 раз) принятых в Европе и США предельно допустимых концентраций озона.

По данным 1984-2010 гг. выявилось, что повышенные концентрации приземного озона (а также сопутствующих ему вредных для здоровья людей компонентов смога) в среднем увеличивают среднегодовую смертность населения г. Тбилиси на 1680 человек. Это составляет 14.1 % от среднегодовой смертности населения города, что в 3 раза выше, чем для тех же параметров в развитых странах.

Установлено, что в последние годы по сравнению с восьмидесятыми годами прошлого столетия, население г. Тбилиси стало более чувствительным к загрязнению воздуха (негативные эффекты для здоровья людей и случаи летального исхода происходят при более низких концентрациях приземного озона). Обсуждаются возможные причины этого эффекта.

Более подробные исследования многолетней изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси показали, что она имеет сложный характер [24,25]. Так, в работе [25] было показано, что диапазон изменчивости средних значений концентрации приземного озона (КПО) в разные месяцы, сезоны и периоды года достаточно велик. Наибольшие значения КПО наблюдались в 1994-2003 гг., наименьшие - в 2004-2013 гг., и промежуточные - в 1984-1993 гг.

Тренды полугодовых и годовых значений концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2013 гг. имеют нелинейный характер и описываются полиномами пятого и шестого порядка (среднегодовой, холодный и теплый периоды соответственно). В трендовой составляющей КПО в период с 1984 по 1995-1997 гг. наблюдался ее рост, затем – снижение до 2007 г. и в период 2008-2010 гг. – вновь небольшой рост.

В работе [26] проведен сравнительный анализ среднемесячных данных о КПО в Тбилиси и на Кисловодской высокогорной станции (КВС) с 1989 по 2013 гг.

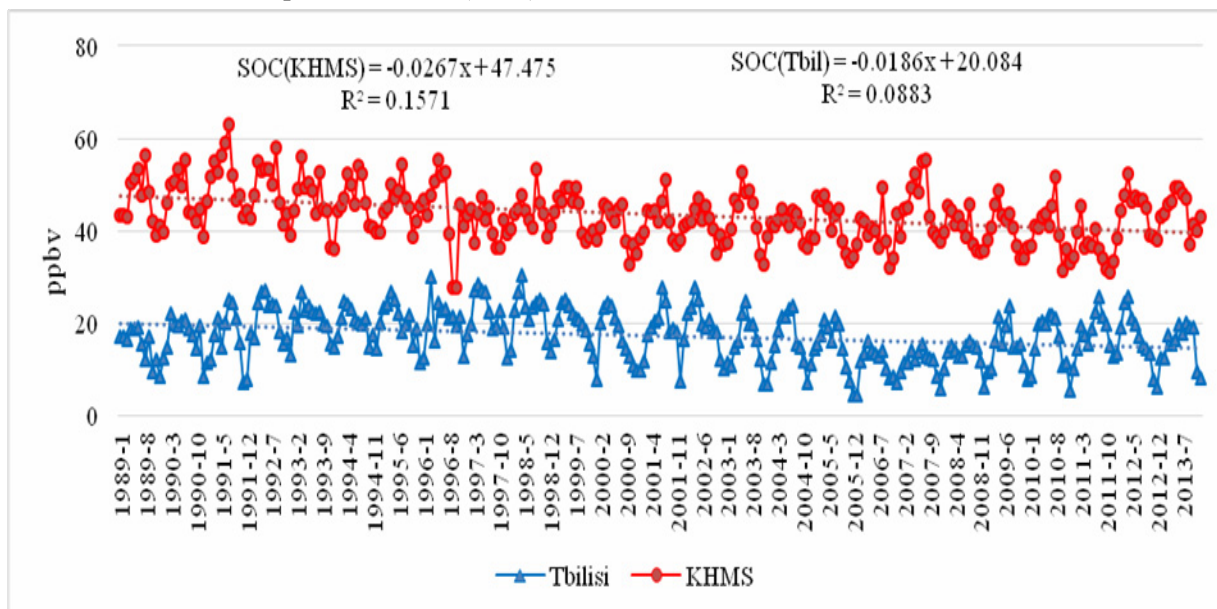


Рис. 1. Изменчивость среднемесячных значений КПО в Тбилиси и на КВС в 1989-2013 гг.

В частности, установлено, что содержание озона на КВС в среднем в 2.6 раза выше, чем в Тбилиси (в марте и апреле выше в 2.2 раза, в декабре в 4.1 раза). Изменчивость концентрации озона в разные месяцы в Тбилиси выше, чем на КВС (коэффициент вариации в Тбилиси колеблется от 16.5 до 32.2% в июне и ноябре соответственно, а в Кисловодске - от 7.0 до 12.7% в феврале и июле соответственно).

На рис. 1 для примера представлены графики изменчивости среднемесячных значений КПО в Тбилиси и на КВС с 1989 по 2013 гг.

Как в Тбилиси, так и на КВС наблюдается тенденция к снижению уровня приземного озона во все месяцы года. Однако в Тбилиси эта тенденция выше, чем на КВС. Так, в 2002-2013 гг. по сравнению с 1989-2000 гг. в г. Тбилиси содержание озона снизилось с 10.3 до 46.8% в июле и ноябре соответственно, а на КВС - с 6.5 до 13.7% в августе и ноябре соответственно.

Принимая во внимание значительное влияние приземного озона на биосферу, климат и здоровье человека (особенно в крупных городах), в последующем предусматривается интенсификация вышеуказанных исследований.

В последние почти сто лет в мире проведено большое количество исследований в области биоклиматологии, биометеорологии и медицинской метеорологии [27-32]. Известно более 200 биометеорологических и биоклиматических индексов, которые определяют влияние метеорологических и климатических факторов на состояние здоровья человека. Некоторые из этих индексов используются в курортно-туристической индустрии. Указанные представляют собой комбинацию метеорологических параметров в виде формул, или номограмм и таблиц. Одновременно с физическими величинами значения биоклиматических индексов описываются и терминами (например, “холодно”, “комфортно”, “тепло”, “тепловой или солнечный удар”, “повышенная утомляемость”, “опасность обморожения” и т.д.). Подобная терминология более понятна для широкого круга населения, чем физические величины [27-31]. Кроме биоклиматических индексов существуют и другие индексы, описывающие комплексное воздействие метеорологических элементов на окружающую среду. В частности, одним из многих таких индексов является пожарный индекс Ангстрема, характеризующим степень пожароопасности местности при тех или иных комбинациях значений температуры и относительной влажности воздуха [32]. Таким образом, исследование долгосрочных вариаций указанных индексов в связи с изменением климата, а также прогнозирование их изменчивости на ближайшие десятилетия, имеет как важное научное, так и практическое значение с точки зрения настоящих и будущих оценок их влияния на окружающую среду и здоровье людей.

В частности, в институте геофизики были проведены исследования изменчивости во времени таких биоклиматических индексов, как эффективная температура воздуха (эквивалентно-эффективная температура - ЭЭТ, а также эффективная температура по Миссенарду – ЕТ: комбинация температуры воздуха, относительной влажности воздуха и скорости ветра) [27, 28, 33-35]; климатического индекса туризма (КИТ: комбинации семи метеорологических параметров - средняя месячная и максимальная температура воздуха, средняя месячная и минимальная относительная влажность воздуха, месячная сумма осадков, месячная продолжительность солнечного сияния, среднемесячная скорость ветра) [29, 36-39]; климатического индекса отдыха (КИО: комбинации пяти метеорологических параметров - средняя месячная максимальная температура воздуха, средняя месячная относительная влажность воздуха, средняя месячная облачность, месячная сумма осадков, среднемесячная скорость ветра) [30, 40,41]. Значения эффективной температуры воздуха определяются по формулам. Значения КИТ и КИО - по специальным номограммам и таблицам [27-31]. Изменчивость

пожарного индекса туризма, который вычисляется по специальной формуле [32], была изучена для условий Кахетии [42].

Рейтинги «климатической привлекательности» в зависимости от значений КИТ и КИО (категории КИТ и КИО) представлены в таблице 4 [29-31].

Таблица 4. Категории КИТ и КИО.

Рейтинг КИТ	Рейтинг КИО	Категория	Категория, сокр.
90÷100	90÷100	Идеальная	Идеал.
80÷89	80÷89	Превосходная	Превосх.
70÷79	70÷79	Очень хорошая	Оч. хор.
60÷69	60÷69	Хорошая	Хор.
50÷59	50÷59	Приемлемая	Приемл.
40÷49	40÷49	Маргинальная	Марг.
30÷39	30÷39	Неблагоприятная	Неблаг.
20÷29	20÷29	Очень неблагоприятная	Оч. неблаг.
10÷19	10÷19	Экстремально неблагоприятная	Экстр. неблаг.
- 30÷9	9÷-9	Неприемлемая	Неприемл.
	-10÷-20	Неприемлемая	Неприемл.

В работе [33] изучались долговременные вариации эквивалентно-эффективной температуры воздуха в Тбилиси в период с 1957 по 2006 гг. Выявилось, что в последние два десятилетия в 0.4 % случаев среднемесячное значение ЭЭТ соответствовало градации “Тепло” (в 1957 – 1976 гг. в эту градацию значение ЭЭТ не попадало). Кроме этого, в 1987 – 2006 гг. по сравнению с 1957 – 1976 гг. увеличилось количество комфортных месяцев (24.6 % против 22.5 %); уменьшилось количество месяцев, соответствующих градации “Холодно” (48.3 % против 52.5 %); увеличилось количество месяцев, соответствующих градации “Умеренно холодно” (26.7 % против 25.0 %).

В другой работе [34] изучались долговременные вариации эквивалентно-эффективной температуры воздуха в Кутаиси для того же периода времени. Как и в Тбилиси, в последние два десятилетия в 0.4 % случаев среднемесячное значение ЭЭТ соответствовало градации “Тепло” (в 1957 – 1976 гг. в эту градацию значение ЭЭТ также не попадало). В отличие от Тбилиси, в Кутаиси в 1987 – 2006 гг. по сравнению с 1957 – 1976 гг. уменьшилось количество комфортных месяцев (20.4 % против 21.3 %); как и в Тбилиси, уменьшилось количество месяцев, соответствующих градации “Холодно” (50.0 % против 53.8 %) и увеличилось количество месяцев, соответствующих градации “Умеренно холодно” (29.2 % против 25.0 %).

Авторы отмечают, что изменчивость ЭЭТ и ее составляющих в Кутаиси совершенно иная, чем в Тбилиси [33,34]. Так, в отличие от Кутаиси, в Тбилиси временные ряды всех составляющих ЭЭТ являются зависящими от времени. ЭЭТ в Тбилиси вначале имела рост (с уменьшением скорости ветра), а в последние годы – уменьшение (с ростом скорости ветра), что противоположно ходу ЭЭТ в Кутаиси. В целом же за последние двадцать лет (1987-2006 гг.) по сравнению с предыдущим двадцатилетием (1957-1976 гг.) значение ЭЭТ в Тбилиси, так же, как и в Кутаиси, возросло.

В работе [35] представлены результаты статистического анализа среднемесячных дневных данных о значениях эффективной температуры воздуха по Миссенарду ЕТ в Батуми с 1956 по 2015 гг. Изучено внутригодовое распределение значений ЕТ в три периода времени: 1956-1985, 1956-2015,

1986-2015 гг.; получена их повторяемость по категориям ЕТ в указанные периоды времени и др. Выявлено влияние изменения климата на значения ЕТ.

В частности, показано, что в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. повторяемость значений ЕТ для категории “Очень холодно” уменьшилась с 1.7% до 1.1%, “Холодно”, уменьшилась с 23.9% до 22.8%, “Прохладно” увеличилась с 35.0% до 35.8%, “Свежо” уменьшилась с 22.2 % до 17.8%, “Комфортно” увеличилась с 12.5% до 13.9%, “Тепло” увеличилась с 4.7% до 8.6%. Указанные изменения главным образом обусловлены ростом температуры воздуха и уменьшением скорости ветра. Результаты исследования могут найти практическое применение для планирования развития курортно-туристической индустрии в Аджарии с учетом изменения климата.

В Грузии изменчивость КИТ в период с 1961 по 2010 г. изучалась для четырех пунктов Аджарской Автономной Республики (ААР) [36, 37], четырех пунктов Кахетии [38] и Местиа [39]. Для указанных населенных пунктов рассчитаны среднемесячные значения КИТ с использованием данных Национального агентства окружающей среды Грузии.

В частности, в 1986-2010 гг. по сравнению с 1961-1985 гг. среднее количество дней в году с категориями КИТ «Маргинальная» и выше, обуславливающими благоприятную биоклиматическую обстановку для так называемого «среднего туриста», в отдельных пунктах ААР изменилось следующим образом: Батуми - незначительное снижение - 293 и 286 дней соответственно; Кобулет - неизменность (по 278 дней за оба периода времени); Хуло - значительное снижение (281 и 264 дня соответственно); Годерзи - значительное увеличение (178 и 200 дней соответственно) [36, 37]. В Кахетии эти изменения следующие: Телави - практически неизменность (357 и 359 дней соответственно); Дедоплискар - незначительное снижение (348 и 341 день соответственно); Кварели – практически неизменность (341 и 345 дней соответственно); Сагареджо - небольшой прирост (346 и 353 дня соответственно) [38]. В Местиа количество этих дней уменьшилось на 13 (264 и 251 день соответственно) [39].

В работе [40] приведена подробная информация об изменчивости месячных значений климатического индекса отдыха (КИО) в Тбилиси в 1956-2015 гг. Также представлены данные по интервальному прогнозу изменчивости значений КИО в Тбилиси на ближайшие несколько десятилетий.

В период с 1956 по 2015 гг. месячные значения КИО и их категории варьировали от 53.0 (“Приемлемая”, февраль) до 94.0 (“Идеальная”, октябрь). Среднемесячные значения КИО за весь период наблюдения варьировали от 62.0 (“Хорошая”, январь) до 83.8 (“Превосходная”, май). Максимальное значение диапазона изменчивости для месячных значений КИО составляет 27.0 (октябрь), минимальное – 10.0 (июль).

Тренд месячных значений КИО по всем данным наблюдений в целом положительный, мало значимый. Значимый линейный положительный тренд значений КИО в отдельные месяцы года наблюдался в январе, марте, холодном полугодии; отрицательный - с июля по сентябрь и в теплую половину года. Значимое увеличение среднемесячных и сезонных значений КИО в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. наблюдалось с января по март и в холодное полугодие, снижение - с июля по сентябрь и в теплое полугодие. Таким образом, изменчивость значений КИО в Тбилиси за исследуемый период в целом незначительна. Благоприятные биоклиматические условия для отдыха и туризма в Тбилиси наблюдаются в течение всех месяцев года.

Учитывая, что изменчивость значений КИО в Тбилиси не очень значительна, интервальный прогноз изменчивости ее значений на ближайшие десятилетия был выполнен с использованием

программы “MULTIPLE SEASONAL MODEL” (Program “MESOSAUR” [40]) с учетом двух значений периодичности (12 и 6 месяцев). Как показали расчеты, благоприятные биоклиматические условия для отдыха и туризма сохранятся в Тбилиси практически круглый год и в ближайшие десятилетия.

В работе [41] представлены результаты масштабных исследований изменчивости значений КИО для 13 высокогорных пунктов Грузии в период с 1956 по 2015 гг. В этой же работе на примере Местиа проведены оценки изменчивости значений КИО и их категорий на два периода времени, с 2041 по 2070 и с 2071 по 2100 гг.

В 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. на исследуемых 13 высокогорных пунктах Грузии произошло следующее изменение категорий КИО.

Бахмаро

В сентябре произошло повышение категории КИО на одну ступень (“Хорошая ” → “Очень хорошая”).

Бакуриани

Изменение климата привело к увеличению категорий КИО на один уровень в марте (“Приемлемая” → “Хорошая”), □ мае и в среднем за год (“Хорошая” → “Очень хорошая”), □ июн□ и сентябр□ (“Очень хорошая” → “Превосходная”), уменьшаясь на одну ступень – в октябре (“Очень хорошая” → “Хорошая”).

Боржоми

Изменение климата привело к повышению категории КИО на один уровень только в теплое полугодие (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

Годердзи

Произошло снижение категории КИО на один уровень только в декабре (“Приемлемая” → “Маргинальная”).

Гудаури

Изменение климата привело к повышению категорий КИО на одну ступень только в сентябре (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

Хаиши

Произошло снижение категории КИО на одну ступень в летние месяцы, с июня по август (“Превосходная” → “Очень хорошая”).

Хуло

Изменение климата привело к снижению категории КИО на одну ступень в августе (“Превосходная ” → “Очень хорошая”) и □ ноябре (“Хорошая” → “Приемлемая”).

Лентехи

Произошло снижение категории КИО на один уровень в апреле и в среднем за год (“Очень хорошая” → “Хорошая”), в июне (“Превосходная” → “Очень хорошая”), в ноябрь и в холодное полугодие (“Хорошая” → “Приемлемая”).

Местиа

Изменение климата привело к снижению категории КИО на один уровень в марте (“Хорошая ” → “Приемлемая”), в среднем за год (“Очень хорошая” → “Хорошая”) и в теплое полугодие (“Превосходная” → “Очень хорошая”).

Пасанаури

Произошло повышение категории КИО на одну ступень только в апреле (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

Шови

Изменение климата привело к повышению категории КИО на одну ступень лишь в сентябре (“Очень хорошая” → “Превосходная”).

Степанцминда

Изменение климата привело к повышению категории КИО на одну ступень в сентябре (“Очень хорошая” → “Превосходная”) и в целом за год “Хорошая” → “Очень хорошая”).

Тианети

Произошло увеличение категории КИО на одну ступень в апреле (“Хорошая” → “Очень хорошая”).

В 1986-2015 и 1956-1985 годах количество дней в диапазоне категорий КИО “Маргинальная” - “Идеальная” для исследуемых **пунктов** соответственно следующее: Бахмаро (346 и 352), Годердзи (348 и 354), Гудаури (361 и 357), Хайши (362 и 361, Хуло (355 и 359), Лентехи (361 и 358), Местиа (364 и 365), Шови (363 и 365); Бакуриани, Боржоми, Пасанаури, Степанцминда и Тианети (за оба временных периода - по 365 дней).

Соответствующие расчеты показали, что в Местиа в 2041-2070 и 2071-2100 гг. по сравнению с 99% доверительным интервалом средних значений КИО в 1956-2015 гг., в мае и октябре ожидается значимый рост значений КИО и их категорий на одну ступень “Очень хорошая” → “Превосходная”); в июле и августе - снижение значений КИО и соответствующее ухудшение его категории на одну ступень, “Превосходная” → “Очень хорошая”). В июне 2071-2100 гг. категория КИО ухудшится на одну ступень: “Превосходная” → “Очень хорошая”.

Таким образом, в Местиа, как минимум до 2100 года, ожидается сохранение благоприятных для туризма биоклиматических условий [41].

В работе [42] проведено исследование влияния изменение климата на пожарный индекс Ангстрема (AFI) в условиях Кахетии (на примере Телави) в 1973-2016 гг.

В частности, повторяемость дневных значений AFI в различных диапазонах его значений в 2012-2016 гг. по сравнению с 1973-1977 гг. изменилась следующим образом:

- $AFI \geq 4.1$ (“Низкий уровень пожароопасности”), уменьшение с 40.3 % до 32.0 % (соответственно – 147 и 117 дней в год);
- $3.0 \leq AFI \leq 4.0$ (“Умеренный уровень пожароопасности”), увеличение с 25.5 % до 27.0 % (соответственно – 93 и 99 дней в год);
- $2.5 \leq AFI \leq 2.9$ (“Высокий уровень пожароопасности”), уменьшение с 14.0 % до 13.1 % (соответственно – 51 и 48 дней в год);
- $2.2 \leq AFI \leq 2.4$ (“Очень высокий уровень пожароопасности”), увеличение с 9.9 % до 12.0 % (соответственно – 36 и 44 дней в год);
- $AFI < 2.0$ (“Экстремальный уровень пожароопасности”), увеличение с 10.4 % до 15.8 % (соответственно – 38 и 58 дней в год).

В целом, во второй период времени по сравнению с первым число дней с уровнем пожарной в диапазоне “Высокий уровень пожароопасности” - “Экстремальный уровень пожароопасности” выросло с 125 до 150 дней в год (рост на почти на 20 %), а в диапазоне “Очень высокий уровень

пожароопасности” - “Экстремальный уровень пожароопасности” выросло с 74 до 102 дней в год (рост на почти на 38 %).

Такой рост пожароопасности в исследуемой местности вызван, в основном, ростом температуры воздуха в указанный период времени. Значимый рост среднемесячной максимальной температуры воздуха T в 2012-2016 гг. по сравнению с 1973-1977 гг. наблюдался с января по сентябрь. При этом наибольший рост значений T наблюдался в январе и августе (3.5 °С), наименьший – в апреле (1.0 °С). Значимый рост среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха F в 2012-2016 гг. по сравнению с 1973-1977 гг. наблюдается лишь в мае (2.5 %). С января по март и с июня по сентябрь наблюдалось уменьшение значений F во второй период времени по сравнению с первым (максимальное уменьшение в сентябре – на 6.7 %, минимальное – в феврале - на 2.0 %) [42].

В работах [43, 44] представлены результаты исследования изменчивости метеорологических параметров, связанных с климатическим индексом туризма в Аджарии и Кахетии в 1961-2010 гг., и климатическим индексом выходных в 13 горных районах Грузии в 1956-2015 гг.

Изменчивость (разность значений) метеорологических параметров, связанных с КИТ, в Аджарии (Батуми, Кобулет, Хуло, Годердзи) и Кахетии (Телави, Сагареджо, Кварели, Дедоплискар) в 1986-2010 гг. по сравнению с 1961-1985 гг. следующая [43].

Разность средней температуры воздуха ΔT_{mean}

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной температуры воздуха для исследуемых пунктов Аджарии наблюдается в 16 случаях (для всех случаев - рост значений ΔT_{mean}), а для Кахетии – в 22 случаях (в том числе для 20 случаев - рост значений ΔT_{mean}).

Таким образом, в обоих исследуемых регионах отмечается явный процесс потепления климата. В Аджарии значения ΔT_{mean} варьируют от 0.5 до 1.6 °С, амплитуда – 1.1 °С, а в Кахетии – от –0.6 до 1.7 °С, амплитуда – 2.3 °С. В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной температуры воздуха в Аджарии значение ΔT_{mean} растет на 1.0 °С, а в Кахетии – на 0.8 °С.

Разность среднемесячной максимальной температуры воздуха ΔT_{max}

Изменчивость среднемесячной максимальной температуры воздуха для пунктов Аджарии наблюдается в 11 случаях (в том числе для 10 случаев - рост значений ΔT_{max}), а для Кахетии – в 18 случаях (в том числе для 17 случаев - рост значений ΔT_{max}).

В целом, в Аджарии значения ΔT_{max} меняются от -0.9 до 1.9 °С, амплитуда – 2.8 °С, а в Кахетии – от –0.7 до 2.1 °С, амплитуда – также 2.8 °С. В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной максимальной температуры воздуха в Аджарии значение ΔT_{max} растет на 1.0 °С, а в Кахетии – на 1.1 °С.

Разность среднемесячной относительной влажности воздуха ΔRH_{mean}

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной относительной влажности воздуха для указанных пунктов Аджарии наблюдаются в 16 случаях (в том числе для 8 случаев - рост значений ΔRH_{mean}), а для Кахетии – в 24 случаях (в том числе для 14 случаев - рост значений ΔRH_{mean}).

В Аджарии значения ΔRH_{mean} варьируют от -3.6 до 3.1 %, амплитуда – 6.7 %, а в Кахетии – от –5.8 до 5.4 %, амплитуда – 11.2%. В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной относительной влажности воздуха в Аджарии значение ΔRH_{mean} растет на 0.1 %, а в Кахетии – на 0.7 %.

Разность среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха ΔRH_{\min}

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха для четырех пунктов Аджарии наблюдается в 17 случаях (в том числе для 8 случаев - рост значений ΔRH_{\min}), а для Кахетии – в 21 случае (в том числе для 13 случаев - рост значений ΔRH_{\min}).

В Аджарии диапазон значения ΔRH_{\min} меняется от -3.6 до 4.7 % (амплитуда – 8.3 %), а в Кахетии – от -4.7 до 6.4 % (амплитуда – 11.1 %). В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной минимальной относительной влажности воздуха в Аджарии значение ΔRH_{\min} растет на 0.4 %, а в Кахетии – на 1.7 %.

Разность средней суммы атмосферных осадков ΔP

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной суммы осадков для пунктов Аджарии наблюдается в 10 случаях (в том числе лишь для 3 случаев - рост значений ΔP), а для Кахетии – всего в 6 случаях (в том числе только для 2 случаев - рост значений ΔP).

В Аджарии диапазон значения ΔP варьирует от -34 до 61 мм (амплитуда – 95 мм), а в Кахетии – от -36 до 17 мм (амплитуда – 53 мм). В среднем на станцию со значимой изменчивостью месячной суммы осадков в Аджарии значение ΔP убывает на 8 мм, а в Кахетии – на 12 мм.

Разность средней дневной продолжительности солнечного сияния ΔS_d

В различные месяцы года значимая изменчивость значений ΔS_d для пунктов Аджарии наблюдается в 16 случаях (в том числе для 12 случаев - рост значений ΔS_d), а для Кахетии – в 11 случаях (в том числе только для 4 случаев - рост значений ΔS_d для всех пунктов в марте).

В Аджарии значения ΔS_d меняются от -0.4 до 0.6 час. (амплитуда – 1.0 час), а в Кахетии – от -0.7 до 1.1 час (амплитуда – 1.8 час). В среднем на станцию со значимой изменчивостью среднемесячной дневной продолжительности солнечного сияния в Аджарии значение ΔS_d растет на 0.3 час, а в Кахетии – убывает на 0.1 час.

Разность средней скорости ветра ΔV

В различные месяцы года значимая изменчивость среднемесячной скорости ветра для исследуемых пунктов Аджарии наблюдаются в 30 случаях (в том числе для 27 случаев - убывание значений ΔV), а для Кахетии – в 44 случаях (убывание значений ΔV для всех пунктов).

В Аджарии значения ΔV варьирует от -1.2 до 0.2 м/сек (амплитуда – 1.4 м/сек), а в Кахетии – от -0.9 до -0.3 м/сек (амплитуда – 0.6 м/сек). В среднем на станцию со значимой изменчивостью скорости ветра как в Аджарии, так и в Кахетии значения ΔV уменьшаются на 0.5 м/сек.

Изменчивость (разность значений) метеорологических параметров, связанных с КИО в 13 высокогорных пунктах Грузии Бахмаро, Бакуриани, Боржоми, Годердзи, Гудаури, Хаиши, Хуло, Лентехи, Местиа, Пасанаури, Шови, Степанцминда, Тианети) в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. следующая [44].

Разность среднемесячной максимальной температуры воздуха ΔT_{\max}

Изменчивость среднемесячной максимальной температуры воздуха наблюдается в 69 случаях (в том числе в 66 случаях - повышение и только в 3 случаях - понижение значений ΔT_{\max}).

Разность среднемесячной относительной влажности воздуха ΔRH_{mean}

Изменчивость среднемесячной относительной влажности воздуха выявлена для всех исследованных пунктов в 86 случаях (в том числе в 79 случаях - увеличение и только в 7 случаях - уменьшение значений ΔRH_{mean}).

Разность среднемесячной общей облачности ΔC

Изменчивость среднемесячной общей облачности выявлена для 12 исследованных пунктов (кроме Местиа) в 60 случаях (в том числе в 48 случаях - уменьшение и в 12 случаях - увеличение значений ΔC).

Разность средней суммы атмосферных осадков ΔP

Изменчивость среднемесячной суммы атмосферных осадков наблюдается для 11 исследованных пунктов (кроме Бахмаро и Бакуриани) в 25 случаях (в том числе в 12 случаях - увеличение и в 13 случаях - уменьшение значений ΔP).

Разность средней скорости ветра ΔV

Изменчивость среднемесячных значений скорости ветра выявлена для всех 13 исследованных пунктов в 145 случаях (в том числе в 141 случае - уменьшение и только в 4 случаях Бахмаро - увеличение значений ΔV).

Наибольшие изменения из всех исследованных климатических параметров в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. претерпела скорость ветра, наименьшие - атмосферные осадки. Причины таких изменений являются предметом дальнейших исследований для изучаемых горных районов Грузии.

Проведенный анализ еще раз свидетельствует о разнообразии климатических условий Грузии и их уникальности. Даже в пределах одной и той же местности на близлежащих пунктах имеются существенные различия в значениях различных метеорологических параметров и их изменчивости. Соответственно, это обуславливает необходимость детального исследования климатических и, связанных с ними биоклиматических условий и их изменчивости в различных географических регионах Грузии как с точки зрения воздействия на здоровье населения, так и в аспекте развития различных отраслей национальной экономики государства, в том числе и курортно-туристической индустрии [43, 44].

Отметим, что исследования изменчивости различных элементов климата, в том числе и режима осадков, постоянно обновляются по мере накопления новых данных. Так, работе [45], которая представляет продолжение предыдущих исследований, представлены некоторые результаты стандартного статистического анализа данных наблюдений гидрометеорологического департамента Грузии за суточной суммой осадков (ССО) в Тбилиси в 1957-2006. В частности, изучена статистическая структура атмосферных осадков с суточной интенсивностью 0.1-2, 2.1-5, 5.1-15, 15.1-30 и >30 мм и годового количества дней с осадками и без осадков для десяти пятилетних временных интервалов с 1957 -1961, 1962-1966, ..., до 2002-2006 гг. Слабый рост и положительный тренд ССО наблюдались для диапазонов 5.1-15 и 15.1-30 мм соответственно. Слабое уменьшение отрицательный тренд ССО наблюдались, соответственно, для диапазонов 0.1-2 и 2.1-5 мм. Изменчивости во времени ССО с интенсивностью >30 мм не наблюдалось.

В работах [46, 47] проведен более детальный анализ изменчивости осадков в 1956-2015 гг. в Тианети и Кахетии, чем в работах [43, 44]. В частности, в работе [46] обращается внимание на неоднородность изменчивости режима осадков для отдельных пунктов Грузии. Так, расстояние от Тианети до пяти пунктов Кахетии следующее: Телави – 59 км, Кварели – 96 км, Гурджаани – 97 км, Дедоплискар – 135 км, Лагодехи – 150 км. Если в Кахетии в отдельные месяцы наряду с неизменностью и убыванием осадков за исследуемый период времени отмечался и их рост [47], то в Тианети наряду с неизменностью режима осадков в течение шести месяцев наблюдается лишь их уменьшение.

В работе [48] проведен анализ изменчивости атмосферных осадков для 21 пункта Грузии в период с 1936 по 2020 гг. На рис. 2 представлены данные об изменении среднегодового количества осадков в 1981-2020 гг. по сравнению с 1936-1975 гг. Разность нормирована на среднегодовое количество осадков за 1936-2020 гг., %.

Как следует из рис. 2, в результате изменения климата изменчивость средней суммы осадков во второй период времени по сравнению с первым для разных пунктов измерения различна. Так, для 6 пунктов измерения наблюдается увеличение количества осадков, для 4 пунктов - уменьшение, для 11 пунктов - значимого изменения нет.

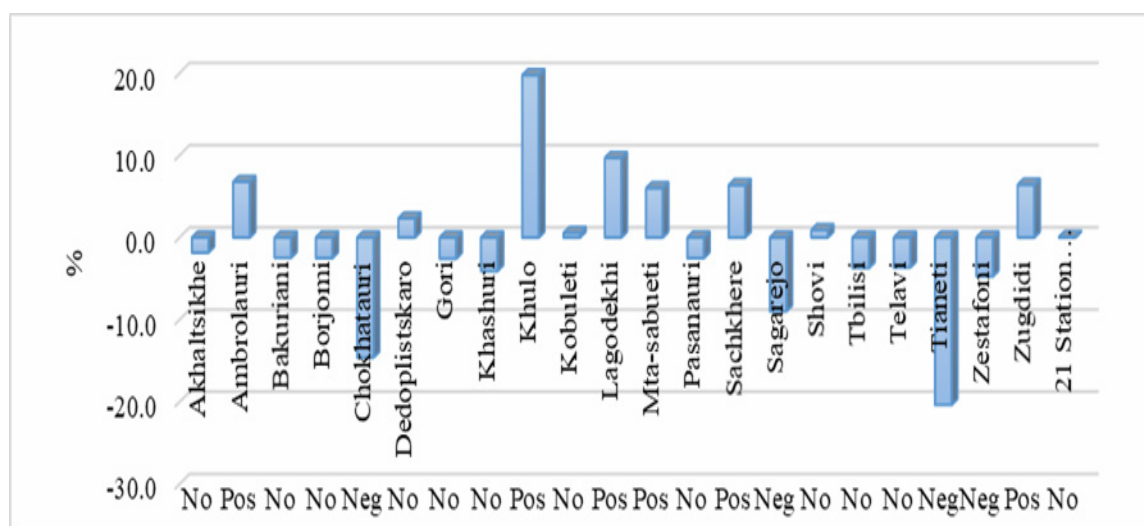


Рис. 2. Изменчивость среднегодовой суммы осадков на 21 метеостанции Грузии в 1981-2020 гг. по сравнению с 1936-1975 гг. по отношению к среднему значению суммы осадков за 1936-2020 гг. на этих станциях, %, уровень значимости $\alpha \leq 0.2$.

Для осредненных по всем станциям изменчивость годовой суммы осадков во второй период времени по сравнению с первым незначима.

В работе [49] изучены особенности временных изменений температуры воздуха по месячным данным г. Тбилиси (Грузия) за период 1881-2008 гг. Показано, что глобальное столетнее потепление в Тбилиси (северное полушарие) имеет следующие особенности: а) температура воздуха в Тбилиси повышается на ~ 1.0 °C по среднегодовым данным за период 1881-2008 гг., б) для холодного и умеренно теплого температуры составляет ~ 1.2 °C, что вдвое больше, чем для теплого и жаркого периода ~ 0.65 °C. Делается вывод, что в целом в Тбилиси зима становится теплее, а лето в два раза менее склонно к жаре. Обнаружено, что столетнее потепление в основном связано с увеличением солнечной активности (оцениваемой по числам солнечных пятен (SSN) для 11-летних циклов), особенно в период 1885-1975 гг. (\sim во время солнечных циклов 13-21), а не с деятельностью человека, как это часто предполагают. Отмечается, что существуют различные относительно короткие промежутки времени (даже в течение одного 11-летнего цикла), когда корреляция между изменениями температурой воздуха и SSN гораздо меньше, даже знакоизменчива, но эти короткие периоды не могли способствовать оценке эффекта глобального столетнего потепления.

В работе [50] представлены результаты исследования влияния изменения климата на уровень нулевой изотермы в Кахетии. Для этого был проведен статистический анализ данных о средне-месячных максимальных температурах воздуха для шести пунктов Кахетии (Телави, Сагареджо,

Кварели, Гурджаани, Дедоплисцаро и Лагодехи) с 1956 по 2015 годы, а также данных о высоте нулевой изотермы над изучаемым регионом с 1958 по 1961 и с 2012 по 2016 гг. В частности, получено, что с 1956 по 2015 г. в Кахетии практически во всех шести точках в июне и августе имело место потепление климата. В июле, сентябре и октябре в большинстве пунктов отмечается повышение максимальной температуры воздуха. Соответственно, с июня по октябрь над исследуемой территорией в 2012-2016 гг., по сравнению с 1958-1961 гг., произошло увеличение высоты нулевой изотермы в пределах 71-442 м. В течение мая изменений значений максимальной температуры воздуха в 1958-2015 гг. не наблюдается, высота нулевой изотермы в этом месяце во втором периоде уменьшилась на 260 м. Во все месяцы, кроме июня, в 2012-2016 гг. по сравнению с 1958-1961 гг. отмечается увеличение значений вертикального градиента температуры воздуха.

В работе [51] проведен статистический анализ данных о месячных и сезонных значениях температуры воздуха в Тбилиси и Кисловодске с 1931 по 2020 годы. Проведено сравнение среднемесячных и сезонных значений температуры воздуха за три тридцатилетний период времени (I-1931÷1960, II÷1961-1990 и III-1991÷2020 гг.). Сравнение средних значений температуры воздуха ΔT за три указанных периода времени производилось с использованием критерия Стьюдента с уровнем значимости α не хуже 0.15.

В указанные периоды времени значимые изменения температуры воздуха для указанных городов таковы.

ΔT (III-I): Тбилиси - повышение температуры воздуха в третьем тридцатилетнем периоде времени по сравнению с первым периодом наблюдается во все месяцы и сезоны, кроме мая, сентября и ноября. Наибольшее увеличение ΔT наблюдается в марте (+1.9 °C). Кисловодск - наблюдается повышение ΔT только в марте (+1.8 °C), в год и в холодный период.

ΔT (III-II): Тбилиси - повышение температуры воздуха в третьем тридцатилетнем периоде времени по сравнению со вторым периодом наблюдается во все месяцы и сезоны, кроме апреля, ноября и декабря. Наибольшее увеличение ΔT наблюдается в августе (+1.8 °C). Кисловодск - наблюдается увеличение ΔT в марте, с июня по октябрь и во все сезоны года. Наибольшее увеличение ΔT в Кисловодске наблюдается в августе и октябре (+1.3 °C).

ΔT (II-I): Тбилиси – повышение температуры воздуха во втором тридцатилетнем периоде времени по сравнению с первым периодом наблюдается только в марте (Max ΔT = +0.9 °C), апреле, декабре и холодном сезоне. В августе наблюдается снижение ΔT (-0.7 °C). Кисловодск – повышение ΔT наблюдается только в ноябре (+1.0 °C). С мая по август и теплое время года наблюдается снижение ΔT . Наибольшее снижение ΔT в Кисловодске наблюдается в августе (-1.1 °C).

Таким образом было установлено, что в Тбилиси эффект потепления климата более выражен, чем в Кисловодске.

В работе [52] проведен статистический анализ данных о месячных и сезонных значениях температуры воздуха и осадков в Тбилиси с 1844 по 2018 годы.

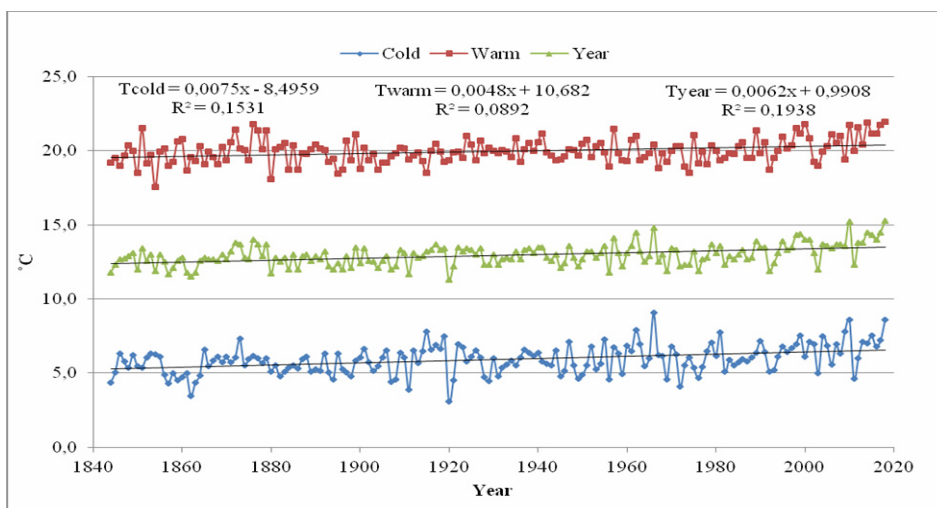


Рис. 3. Тренд температуры воздуха в Тбилиси в три периода года в 1844-2018 гг.

Изучены тренды температуры воздуха в три периода года (год, холодный и теплый сезоны) за 175 лет наблюдений (рис. 3). Проведено сравнение среднемесячных и сезонных значений температуры воздуха за два тридцатилетнего периода времени (1844-1873 и 1989-2018 гг.).

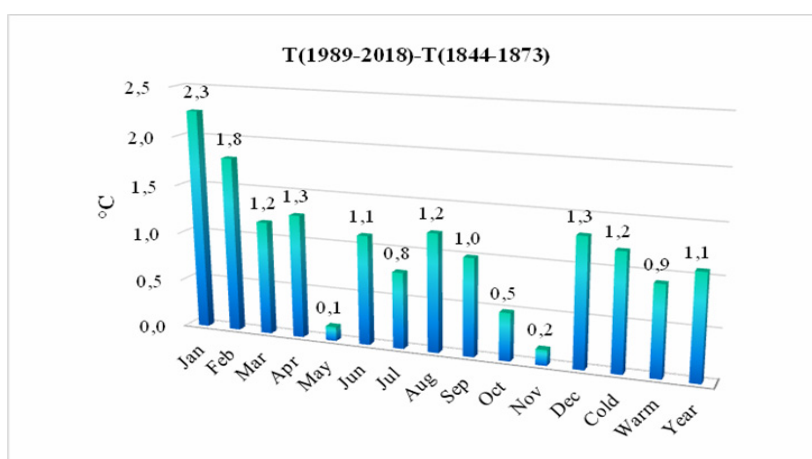


Рис. 4. Разница между температурой воздуха в Тбилиси в 1989-2018 и 1844-1873 гг.

В частности, установлено, что в указанные периоды времени наблюдается значимое повышение температуры воздуха для всех месяцев года, кроме мая и ноября (рис. 4).

В другой работе [53] представлены некоторые результаты исследования изменчивости среднегодовой температуры воздуха в г. Тбилиси в 1880-2021 гг. на фоне глобального потепления.

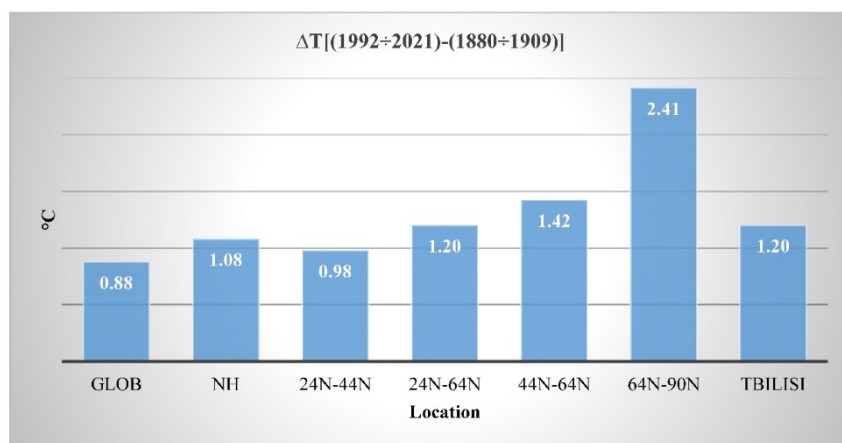


Рис. 5. Разница между среднегодовой температурой воздуха в разных локациях мира и в Тбилиси в 1992-2021 и 1880-1909 гг.

В частности, получено, что разница между средними значениями годовой температуры воздуха в Тбилиси в 1992÷2021 и 1880÷1909 годах составляет 1.2 °C и точно совпадает с аналогичной разницей для среднегодовой глобальной температурой воздуха в северном полушарии для широт 24°N-64°N (рис. 5).

В последних исследованиях с использованием различных статистических моделей были проведены оценки ожидаемых изменений температуры воздуха на ближайшие десятилетия в некоторых регионах Грузии, в том числе в г. Тбилиси [54-58]. На основе 100-летнего (1907-2006 гг.) и 163-летнего (1850-2012 гг.) временных рядов наблюдений проведен анализ динамики изменчивости среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге [57, 59-61]. С использованием 100-летнего ряда наблюдений оценивается ожидаемое изменение температуры воздуха в этих городах к 2056 г. [57, 59].

В работе [59] исследуется статистическая структура временных рядов среднегодовых значений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге за 1907-2006 гг. Автокорреляция во временном ряду наблюдений в Санкт-Петербурге проявляется в первых двух лагах (лаг = 1 год), а также в 14-м лаге. В Тбилиси автокорреляция во временном ряду температуры практически отсутствует. Пики периодичности для Тбилиси приходятся примерно на 20 и 5 лет, тогда как для Санкт-Петербурга – 14 и 8 лет. Процесс потепления в Санкт-Петербурге идет интенсивнее, чем в Тбилиси. Проведен статистический прогноз ожидаемых изменений температуры воздуха в этих городах до 2056 года с использованием трех методов (1 - линейная экстраполяция, 2 - прогноз сглаженных функций с учетом двух периодичностей в ряду наблюдений, 3 - линейный прогноз с учетом одной периодичности в ряду наблюдений).

Получено, что ожидается следующее изменение температуры воздуха в 2052-2056 гг. по сравнению со средними ее значениями в 1951-1980 гг.: метод 1) повышение температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге на 0.6 °C и 1.9 °C соответственно; метод 2) снижение температуры воздуха в Тбилиси на 0.2°C и неизменность (0°C) в Санкт-Петербурге; метод 3) - повышение температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге на 0.3 °C и 2.1 °C соответственно [59].

Как показал дальнейший анализ, статистическая структура среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге существенно зависит от длины временного ряда. Таким образом, в отличие от указанных выше 100-летних измерений [59], автокорреляция в 163-летних рядах наблюдений для Санкт-Петербурга проявляется в первые 11 лагах и в 14 лагах; в Тбилиси - в

первых 6 лагах, а также в 8 и 9 лагах. Пики периодичности для Тбилиси приходятся примерно на 40, 23, 12, 5 и 4 года, а для Санкт-Петербурга - 12, 8, 5, 2 года. Тренды температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге за 163-летний период наблюдений удовлетворительно описываются полиномом четвертой степени [60].

В работе [61] проведен сравнительный анализ вековых ходов температуры воздуха в Тбилиси, Санкт-Петербурге и ее среднемировых значений. В частности, получено, что усреднение данных многолетних наблюдений разных метеостанций необходимо проводить с учетом анализа автокорреляции и периодичности во временных рядах каждой из них.

В работе [61], которая является продолжением указанных выше исследований [57, 59-61], изучена статистическая структура тридцатилетних скользящих средних значений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге с 1851 по 2010 гг. (1851-1880, 1861-1890, ... , 1981-2010) и с использованием двух моделей (ARIMA, EXPERTMODELER) проведена их экстраполяция до 2051-2080 гг.

В пределах каждого тридцатилетнего периода наблюдений изучена автокорреляция в рядах температуры воздуха, их устойчивость во времени, тренды, скорость изменения температуры и др. Прогностические расчеты показали, что в 2051-2080 гг. среднегодовая температура воздуха в Тбилиси ожидается 14.0 ± 0.4 °C (ARIMA) и 14.8 ± 1.4 °C (EXPERTMODELER) против 13.7 °C в 1991-2010 гг., а в Санкт-Петербурге – 6.4 ± 0.4 °C (ARIMA) и 8.6 ± 4.0 °C (EXPERTMODELER) против 5.8 °C в 1991-2010 гг.

Заклучение

В дальнейшем, с учетом получения новой информации, будут продолжены исследования изменения климата в Грузии. Особое внимание будет уделено прогнозированию изменений отдельных элементов климата на десятилетия вперед и, соответственно, оценкам последствий этих изменения на среду обитания человека и вопросам адаптации к ним.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Институт геофизики, 50. “Мецნიერება”, Тбилиси, 1983, 144 с.
2. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Inyskirveli L., Kuchava T., Gurgenidze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks, Georgia's Initial National Communication on Under the United Nations Framework Conventions on Climate Change, Project GEO/96/G31, Tbilisi, 1999, 33-45.
3. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Dynamics of the aerosol pollution of the atmosphere in Georgia in 1956-1990, J.Aerosol Sci, Pergamon, vol.30, Suppl.1, 1999, S667-S668.
4. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Khurodze T., Tavartkiladze K., Tsitskishvili M. Some Characteristics of the Aerosol Pollution of the Atmosphere Over the Territory of Kakheti in the Warm Season, Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, 128-129.
5. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kirkitadze D.D., Tavartkiladze K.A. Some Results of Investigation of Variations of the Atmospheric Aerosol Optical Depth in Tbilisi, Proc. 16th Int. Conf. on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, 416-419.
6. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Aerosol Pollution of the Atmosphere and Its Influence on Direct Solar Radiation in Some Regions of Georgia, Proc.15th Int. Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Rolla, Missouri, USA, 2000, August, 6-11, AIP, Conference Proc., vol.535, Melville, New York, 2000, pp. 605-607.
7. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Kolesnikov Yu., Tavartkiladze K. Spatial-Temporary Variations of Total and Lower Layer Cloudiness Over the Georgian Territory. Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August, 14-18, vol. 2, 2000, 1159-1162.

8. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Influence of Cloudiness Trends on the Total Solar Radiation in Tbilisi, Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, vol. 2, 2000, pp. 876-877.
9. 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 Sci., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.
10. Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. Contemporary Climate Change in Georgia. Regime of some Climate Parameters and their Variability. Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Tbilisi, 2006, 177 p., (in Georgian).
11. Амиранашвили А.Г., Таварткиладзе К.А., Кириленко А.А., Картунова З.В., Поволоцкая Н.П., Сенник И.А. Динамика аэрозольного загрязнения атмосферы в Тбилиси и Кисловодске, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 212 - 215.
12. Амиранашвили А., Кириленко А., Картунова З., Поволоцкая Н., Сенник И., Таварткиладзе К. Изменчивость аэрозольного загрязнения атмосферы в Цалке и Кисловодске в 1941-1990 гг., Proc. of Int. Conf. “Modern Problems of Geography”, Dedicated to the 80th Anniversary Since the Foundation of Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Collected Papers New Series, N 5(84), ISSN 2233-3347, Tbilisi, 2013, pp. 178-181.
13. Bliadze T., Kartvelishvili L. Kirkitadze D. Changeability of the Total Cloudiness in Tbilisi in 1956-2015. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 31 – 34.
14. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии, Сб. статей, Вопросы физики облаков, Облака, осадки и грозовое электричество, ГГО им. А.И.Воейкова, Гидрометеоиздат, Санкт-Петербург, 2004, 155-168
15. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг, Труды Института геофизики АН Грузии, ISSN 1512-1135, том 58, 2004, 127-132.
16. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-Temporary Characteristics of Number of Days with a Hails in the Warm Period of Year in Georgia, Proc. 14thInternational Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy,18-23 July 2004, 2_2_215.1-2_2_215.2.
17. Amiranashvili A., Basilashvili Ts., Elizbarashvili E., Gaprindashvili G., Varazanashvili O. Statistical Analysis of the Number of Days with Hail in Georgia According to Meteorological Stations Data in 2006-2021. Int. Conf. of Young Scientists “Modern Problems of Earth Sciences”. Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, November 21-22, 2022, pp. 164-168.
18. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili V.A., Tavartkiladze K.A. Spatial-Temporary Variations of the Number of Fog Days per Year in Georgia. Proc. 1-st Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, 1998, pp. 357-360.
19. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili, V.A., Tavartkiladze, K.A. Statistical characteristics of number of fog days per year in Georgia. Proc. 3rd International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 11-15 October 2004, Cape Town, South Africa, 2004.
20. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf. 2013.
21. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Chikhladze V., Kharchilava J., Kartvelishvili L. The statistical analysis of average seasonal, semi-annual and annual values of surface ozone concentration in Tbilisi in 1984-2003, Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 12B, Tbilisi, 2008, pp. 45–48.
22. Kharchilava J., Chikhladze V., Chochishvili K., Chkhaidze G. Changeability of Surface Ozone Concentration in Tbilisi in 1984-2010, Proc. of Int. Conf. “Environment and Global Warming”, Dedicated to the 100th Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, pp. 111-116.
23. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tb., 2012, 160 p., (in Georgian).

24. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхаидзе Г.П. Особенности изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2012 гг., Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 100-103.
25. Kharchilava J., Chikhladze V., Chargazia Kh. Changeability of surface ozone concentration in Tbilisi in last 30 year. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 23-
26. Kekenadze E., Kharchilava J., Chkhaidze G., Senik I. Comparative Analysis of the Surface Ozone Concentration in Tbilisi and at Kislovodsk High Mountain Station. 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, 2019, pp. 150-154.
27. Шелеховский Г.В. Микроклимат южных городов, М., 1948, 118 с.
28. Missenard A. L’ Homme et le Climat, Paris, 1937, 186 p.
29. Mieczkowski Z. The Tourism Climate Index: A Method for Evaluating World Climates for Tourism. The Canadian Geographer 1985, N 29, pp. 220-233.
30. Scott D., Ruttly M., Amelung B., Tang M. An Inter-Comparison of the Holiday Climate Index (HCI) and the Tourism Climate Index (TCI) in Europe. Atmosphere 7, 80, 2016, 17 p., doi:10.3390/atmos7060080www.
31. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Tourism Climate Index and the Holiday Climate Index in the North Caucasus. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXIII, 2021, pp. 96-113, (in Russian).
32. Lukić T., Marić P., Hrnjak I., Gavrilov M. B., Mladjan D., Zorn M., ... & Stojavljević R. Forest fire analysis and classification based on a Serbian case study. Acta geographica Slovenica, 57 (1), 2017, pp. 51-63.
33. Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л. Г. Долговременные вариации эффективной температуры воздуха в Тбилиси, Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008, с. 214–219.
34. Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л. Г., Саакашвили Н.М., Чихладзе В.А. Долговременные вариации эффективной температуры воздуха в Кутаиси, «Современные проблемы использования курортных ресурсов», Сборник научных трудов международной конференции, Саирме, Грузия, 10-13 июня 2010 г., ISBN 978-9941-0-2529-7, Тбилиси, 2010, с. 152-157.
35. Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Khazaradze K., Revishvili A. Changeability the Monthly Mean Values of Air Effective Temperature on Missenard in Batumi in 1956-2015. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp. -.
36. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Matzarakis A., Kartvelishvili L. Tourism Climate Index in the Coastal and Mountain Locality of Adjara, Georgia. International Scientific Conference “Sustainable Mountain Regions: Make Them Work”. Proceedings, Borovets, Bulgaria, ISBN 978-954-411-220-2, 14-16 May, 2015, pp. 238-244, http://geography.bg/MountainRegions_Sofia2015
37. ქართველიშვილი ლ., ამირანაშვილი ა., მეგრელიძე ლ., ქურდაშვილი ლ. ტურისტულ-რეკრეაციული რესურსების შეფასება კლიმატის ცვლილების ფონზე. გამომცემლობა "მწიგნობარი", ISBN 978-9941-485-01-5, თბილისი, 2019, 161 გვ., <http://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/293074/1/turistulRekreaciuliResursebisShefasebaKlimatisCvlilebebisFonze.pdf>
38. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Matzarakis A., Megrelidze L.D. The Statistical Characteristics of Tourism Climate Index in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 95-112.
39. Amiranashvili A., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of the Monthly Mean Values of Tourism Climate Index in Mestia (Georgia) in 1961-2010. Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 22(2), 2019, pp. 68 – 79, <http://openjournals.gela.org.ge/index.php/GGS/>
40. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Matzarakis A. Changeability of the Holiday Climate Index (HCI) in Tbilisi. Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXII, Tbilisi, 2020, pp. 129-137. http://www.dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/8935/1/16_Tr_72_2020.pdf
41. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Holiday Climate Index in Some Mountainous Regions of Georgia. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-

ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(2), 2021, pp. 92 – 117.
DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213327>

42. ამირანაშვილი ა., ზლიაძე თ., დავითაშვილი მ., ხახიაშვილი მ. ანგუსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვა-
ლებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილებების ფონზე. მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის
შრომები, ISSN 1512-1135, ტ. LXXV, 2022, გვ. 116-134.
43. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Megrelidze L.D. Changeability of the Meteorological Parameters
Associated with Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index in Adjara and Kakheti (Georgia).
Journal of the Georgian Geophysical Society, ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and
Space Plasma, v. 21(2), Tbilisi, 2018, pp. 77-94. <http://www.adry.tsu.ge/index.php/GGS/article/view/2529>
44. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kutaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Changeability of the
Meteorological Parameters Associated with Holiday Climate Index in Different Mountainous Regions of Georgia
in 1956-2015. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of
Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 24(2), 2021, pp. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>
45. Amiranashvili A.G. Special Features of Changeability of Daily Sum of Precipitation in Tbilisi in 1957-2006.
Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B,
Tbilisi, 2015, pp.81-91.
46. Amiranashvili A., Bliadze T., Kartvelishvili L. Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric
Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015. Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-
1135, vol. 70, Tb., 2019, pp. 112-118, (in Russian), <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>
47. Bliadze T., Gvasalia G., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Changeability of the Atmospheric Precipitations Regime
in Kakheti in 1956-2015. 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, 2019, pp. 74-77.
48. Amiranashvili A., Chelidze T., Svanadze D., Tsamalashvili T., Tvauri G. Some Results of a Study of the
Relationship Between the Mean Annual Sum of Atmospheric Precipitation and Re-Activated and New Landslide
Cases in Georgia Taking into Account of Climate Change. Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN:
2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 25(2), 2022, pp.
38-48.
49. Alania M.V., Salukvadze T.G., Khelaia E.I., Kapanadze N.I., Djaparidze D.R. Features of Long-Term Changes of
the Air Temperature in Tbilisi, Georgia. Proc. of Int. Conf. “Environment and Global Warming”, Dedicated to the
100th Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347,
Tbilisi, 2011, pp. 147-153.
50. Jamrishvili N., Tavidashvili Kh. Effect of Climate Change on the Freezing Level in Kakheti. 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, 2019, pp. 91-95.
51. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Variability of Monthly and Seasonal Air
Temperature in Tbilisi and Kislovodsk in 1931-2020. International Scientific Conference „Natural Disasters in the
21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia,
December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 27 - 30.
52. Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years.
International Scientific Conference “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”.
Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-
14, Tbilisi, 2019, pp. 86-90, <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/8613>
53. Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global
Warming in 1880-2021. II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable
Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor
Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi
State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 265-269. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10118>
54. Таварткиладзе К.А., Амиранашвили А.Г. Ожидаемые изменения температуры воздуха в г. Тбилиси,
Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», Тр. Ин-
та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008, с. 57–65.
55. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L. Expected Change of Average Semi-Annual and Annual Values
of Air Temperature and Precipitation in Tbilisi, Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of
Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.

56. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L., Khazaradze K. Expected Change of the Extremal Air Temperature and its Influence on the Mortality (Based on the Example to Tbilisi City), International Cooperation Network for East European and Central Asian Countries: EECA Conference - October 7-8, 2010, Yerevan, Armenia, <http://be.sci.am/>.
57. Амиранашвили А., Картвелишвили Л., Хуродзе Т. Об использовании некоторые статистических методов для прогнозирования долговременных изменений температуры воздуха (на примере города Тбилиси), Trans. of the International Scientific Conference Dedicated to the 90th Anniversary of Georgian Technical University “Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21st Century”, Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012, Part 2, ISBN 978-9941-20-098-4, Publishing House “Technical University”, 2012, pp. 331-338.
58. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate Change in Georgia: Statistical and Nonlinear Dynamics Predictions, Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, Tbilisi, 2011-2012, pp. 67-87.
59. Амиранашвили А.Г., Картвелишвили Л.Г., Трофименко Л.Т., Хуродзе Т.В. Статистическая оценка ожидаемых изменений температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге до 2056 года, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 58 - 62.
60. Амиранашвили А., Картвелишвили Л., Трофименко Л., Хуродзе Т. Статистическая структура среднегодовой температуры воздуха в Тбилиси и Санкт-Петербурге в 1850-2012 гг., Proc. of Int. Conf. “Modern Problems of Geography”, Dedicated to the 80th Anniversary Since the Fondation of Vakhushiti Bagrationi Institute of Geography, Collected Papers New Series, N 5(84), ISSN 2233-3347, Tbilisi, 2013, pp. 160-163.
61. Амиранашвили А., Картвелишвили Л., Трофименко Л., Хуродзе Т. Сравнительный анализ вековых вариаций температуры воздуха в Тбилиси, Санкт-Петербурге и ее среднеглобальных значений. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 198-202.
62. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Trofimenko L. Dynamics of the thirty-year moving average values of the air temperature in Tbilisi and St.-Petersburg with 1851 to 2010 and their extrapolation to 2051-2080. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 12-16, <http://icae-2015.tsu.ge/>

ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ГРУЗИИ В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА, ТГУ

Пипия М.Г.

Реферат

Представлен обзор исследований современного изменения климата Грузии, проводимыми институтом геофизики им. М. Нодиа, ТГУ за последние 25 лет. Представлены данные об изменчивости таких элементов климата и биоклимата, как температура воздуха, осадки, влажность воздуха, облачный покров, ветер, грозы, град, эффективная температура воздуха, климатический индекс туризма, климатический индекс отдыха и др. Рассмотрены вопросы прогнозирования температуры воздуха на несколько десятилетий вперед с использованием различных статистических методов.

Ключевые слова: Изменение климата, элементы климата, температура воздуха, град, гроза

თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში საქართველოში
თანამედროვე კლიმატის ცვლილების კვლევების შესახებ

ფიფია მ.

რეზიუმე

წარმოდგენილია თსუ, მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ ბოლო 25 წლის განმავლობაში ჩატარებული საქართველოში კლიმატის თანამედროვე ცვლილების კვლევების მიმოხილვა. წარმოდგენილია მონაცემები ისეთი კლიმატისა და ბიოკლიმატის ელემენტების ცვალებადობის შესახებ, როგორცაა ჰაერის ტემპერატურა, ნალექი, ჰაერის ტენიანობა, ღრუბლის საფარი, ქარი, ჭექა-ქუხილი, სეტყვა, ჰაერის ეფექტური ტემპერატურა, ტურიზმის კლიმატური ინდექსი, დასვენების კლიმატური ინდექსი და ა.შ. განხილულია სხვადასხვა სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში ჰაერის ტემპერატურის პროგნოზირების საკითხები.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, კლიმატის ელემენტები, ჰაერის ტემპერატურა, სეტყვა, ელჭექი

**ABOUT STUDIES OF MODERN CLIMATE CHANGE IN GEORGIA AT
THE M. NODIA INSTITUTE OF GEOPHYSICS, TSU**

Pipia M.

Abstract

An overview of the studies of modern climate change in Georgia, conducted by the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU for the last 25 years are presented. Data on the variability of such climate and bioclimate elements as air temperature, precipitation, air humidity, cloud cover, wind, thunderstorms, hail, air effective temperature, tourism climate index, holiday climate index, etc. are presented. The issues of forecasting air temperature for several decades ahead using various statistical methods are considered.

Key words: Climate change, climate elements, air temperature, hail, thunderstorm.

ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე

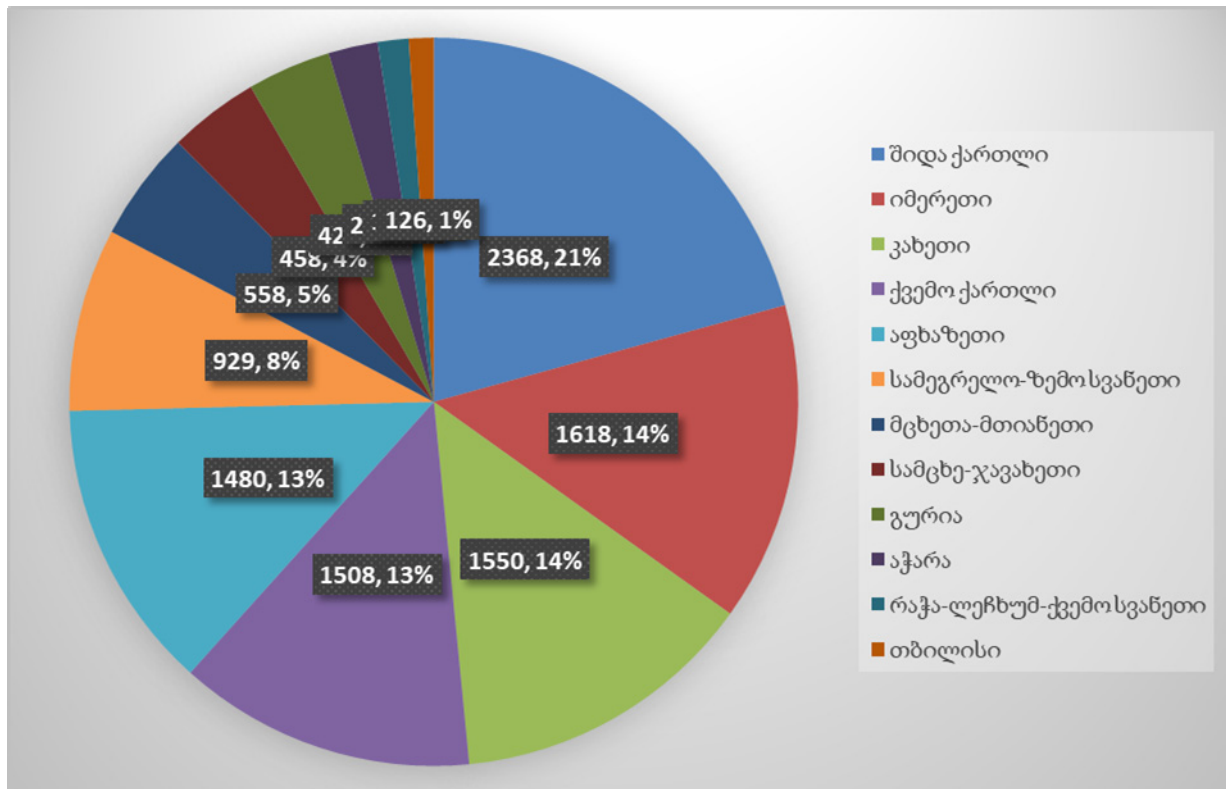
¹ამირანაშვილი ა., ¹ზლიაძე თ., ²დავითაშვილი მ., ²ზახიაშვილი მ.

¹ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

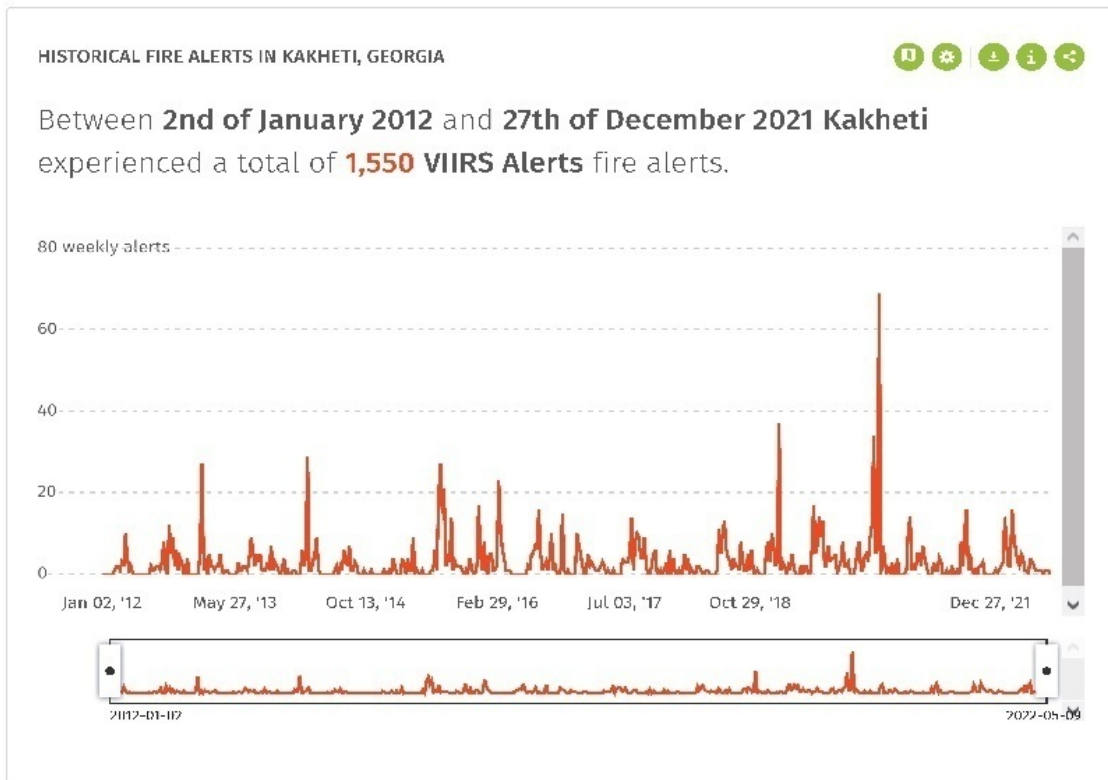
²იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
 avtandilamiranashvili@gmail.com

1. შესავალი.

კახეთი წარმოადგენს საქართველოს ხანძარსაშიში რეგიონებიდან ერთერთს (ნახ. 1). თანახმად GLOBAL FOREST WATCH (<https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/GEO/>) მონაცემებისა, კახეთში 2012 წლის 2 იანვრიდან 2021 წლის 27 დეკემბრამდე დარეგისტრირებული იქნა 1550 სახანძრო განგაში (ნახ. 1 და 2). აღნიშნულ პერიოდში სახანძრო განგაშის რაოდენობის მიხედვით კახეთი იყო მესამე ადგილზე საქართველოს დანარჩენ რეგიონებს შორის შიდა ქართლისა და იმერეთის შემდეგ (ნახ. 1).



ნახ. 1. სახანძრო განგაშის ჯამური რაოდენობა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონში 2012-2021 წლებში.
 [https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/GEO/].



ნახ. 2. სახანძრო განგაშის 7 დღიანი რაოდენობის სვლა კახეთში 2012-2021 წლებში. (<https://www.globalforestwatch.org/dashboards/country/GEO/5/>)

ხანძრების წარმოშობის და გავრცელების პრობლემა, მათ შორის ტყის ხანძრებისა, მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ადგილის მეტეოროლოგიურ პირობებზე (ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა, ელჩქეები, ატმოსფერული ნალექები და სხვა). კერძოდ ცნობილია რომ ჰაერის მაღალი ტემპერატურა და დაბალი ტენიანობა ხელს უწყობენ ხანძრის საშიშროების მატებას. ბოლო პერიოდში ეს პრობლემა ღრმავდება კლიმატის გლობალური [1] და ლოკალური დათბობით [2-8], რაც ხელს უწყობს ხანძრების რაოდენობის მატებას [9,10].

მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში გამოიყენება ტყის სახანძრო საშიშროების სხვადასხვა (მათ შორის საკუთარი) მაჩვენებელი (http://www.sasquatchstation.com/Fire_Weather.php; <http://www.forestservice.gr/meteo/fwi1.html>; [9-13]). ეს მაჩვენებლები წარმოადგენენ მათემატიკურ ფორმულებს, რომლებიც ფორმალიზებას უკეთებენ ტემპერატურისა და ტენიანობის, ატმოსფერული ნალექების, სატყეო საწვავის ტენიანობის, ელჩქეის აქტივობის და სხვათა გავლენას. ამ მაჩვენებლების რიცხვითი მნიშვნელობების გარდა შესაბამისი სკალას მეშვეობით სიტყვიერად განისაზღვრება აგრეთვე სახანძრო საშიშროების ხარისხი. კლიმატოლოგიური ოპერატიული ინფორმაციის გარდა ტყეების ხანძრის საშიშროების დონეების შესახებ, განისაზღვრება აგრეთვე მათი მოკლევადიანი და გრძელვადიანი პროგნოზი. (http://www.sasquatchstation.com/Fire_Weather.php; [12]).

საქართველოში სამუშაოები ტყეების სახანძრო საშიშროების ინდექსის შესახებ დაიწყო 2019 წელს თბილისის მაგალითზე [14]. ეს კვლევები გაგრძელდა თბილისისა, თელავისთვის, ნაღჩიკისთვის და კისლოვოდკისთვის [15-17]. ყველა ამ შემთხვევისთვის გამოიყენებოდა ანგსტრემის მარტივი შვედური ინდექსი [9,10] ოთხ და ხუთდღიან პერიოდში სკალათი [<http://www.forestservice.gr/meteo/fwi1.html>].

საბოლოოდ, ნაშრომში [18] მოყვანილია ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის დღიური მნიშვნელობების სტატისტიკური ანალიზის ქუთაისისთვის

წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს ზემოთაღნიშნული გამოკვლევების გაგრძელებას. ქვემოთ, კახეთის მაგალითზე წარმოდგენილია ანგსტრემის სახანძრო ინდექსის გამოყენების რეპრეზენტატულობის გამოკვლევის შედეგები ხანძრის წარმოშობის პირობების შეფასებისათვის და აგრეთვე კლიმატის დათბობის ზეგავლენა ხანძრის საშიშროების ხარისხის ცვლილებაზე.

2. გამოყენებული მონაცემები, კვლევის მეთოდები.

ნაშრომში გამოყენებულია შემდეგი მონაცემები.

მონაცემები თელავში ჰაერის ტემპერატურის T მაქსიმალური დღეღამური მნიშვნელობებისა და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის F შესახებ 1973-1977 და 2012-2016 წლების პერიოდებისათვის (<http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php?id=ru®ion=07>); მონაცემები ტემპერატურის საშუალოწლიური მნიშვნელობების შესახებ თელავში 1973 და 2016 წლამდე (გარემოს ეროვნული სააგენტო).

მონაცემები კახეთში ყოველ შვიდდღიან პერიოდში სახანძრო განგაშის რაოდენობის შესახებ 2012 - და 2016 წლამდე პერიოდისათვის (<https://www.globalforestwatch.org/dashboards/-country/GEO/5/>).

ანგსტრემის შვედური ინდექსი გამოითვლება ფორმულით $AFI = (F/20) + (27-T)/10$ (Skvarenina და სხვ.; Lukić და სხვ.). სახანძრო საშიშროების ინდექსის AFI მნიშვნელობების გრადაციები შემდეგია [http://www.sasquatchstation.com/Fire_Weather.php]: I. $AFI \geq 4,1$ -დაბალი, II. $AFI = 4,0 \div 3,0$ - საშუალო, . $AFI = 2,9 \div 2,5$ - მაღალი, IY. $AFI = 2,4 \div 2,0$ - ძალიან მაღალი, Y. $AFI = <2,0$ – ექსტრემალური, (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის (AFI) მნიშვნელობები და ხანძრის გაჩენის შესაბამისი დონეები. [http://www.sasquatchstation.com/Fire_Weather.php].

AFI	≥ 4.1	4.0 – 3.0	2.9 – 2.5	2.4 – 2.0	< 2.0
Level	Low	Moderate	High	Very High	Extreme
დონე	დაბალი	ზომიერი	მაღალი	ძალიან მაღალი	ექსტრემალური

მონაცემების ანალიზისათვის გამოყენებულია სტანდარტული სტატისტიკური მეთოდები. ქვემოთ მიღებულია შემდეგი აღნიშვნები: Min – მინიმალური მნიშვნელობა; Max - მაქსიმალური მნიშვნელობა; Average – საშუალო მნიშვნელობა; St Dev - სტანდარტული გადახრა; Cv - ვარიაციის კოეფიციენტი %; σ_m – სტანდარტული ცდომილება; 99%(+/-) - 99% საშუალოს ზემო და ქვემო სანდოობის ინტერვალი; R^2 – დეტერმინაციის კოეფიციენტი; საშუალო მნიშვნელობებს შორის სხვაობის შეფასება ხდებოდა სტიუდენტის კრიტერიუმის გამოყენებით ნიშნადობის α დონით.

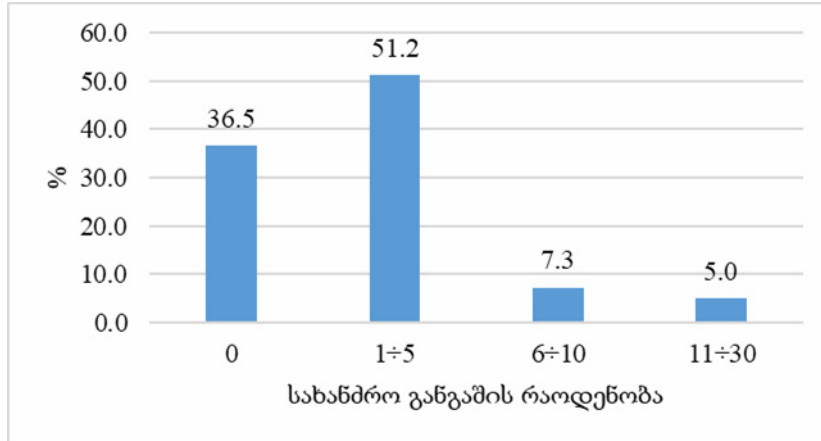
3. კვლევის შედეგები და განხილვა.

3.1. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის გამოყენების რეპრეზენტატულობის შეფასება კახეთში ხანძრების გაჩენის პირობების განსაზღვრისათვის

კახეთში ხანძრების გაჩენის პირობების განსაზღვრისათვის ანგსტრემის ინდექსის გამოყენების რეპრეზენტატულობის შეფასება ხდებოდა 7 დღის განმავლობაში სახანძრო განგაშების

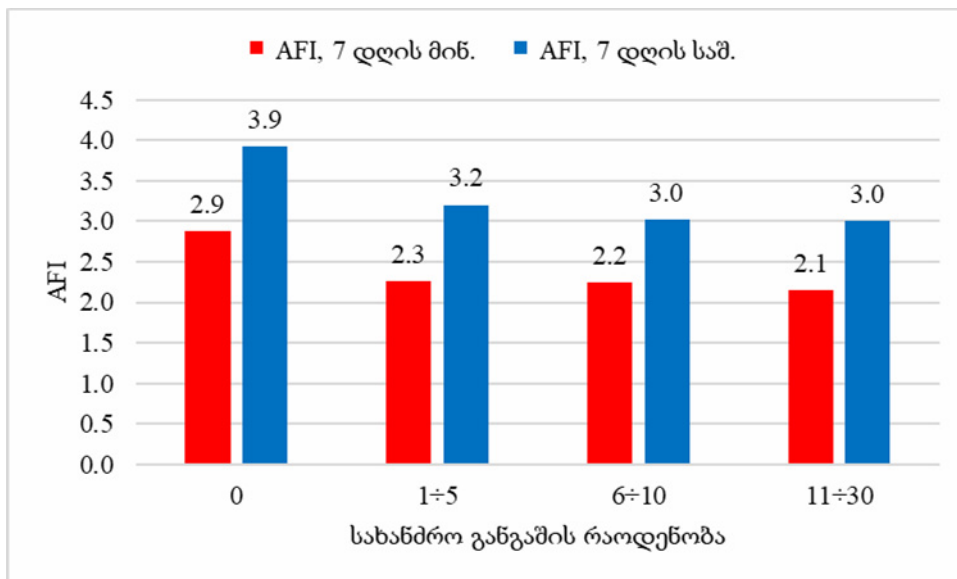
რაოდენობის შედარებით თელავში AFI-ის 7 დღის განმავლობაში საშუალო და მინიმალურ მნიშვნელობებთან 2012 - დან 2016 წლამდე პერიოდში (260 კვირა).

გამოსაკვლევ პერიოდში სახანძრო განგაშის რაოდენობის განმეორადობა იყო შემდეგი (ნახ. 3): ხანძრის გარეშე (36.5 %, 95 კვირა), 1 დან 5-მდე სახანძრო განგაში (51.2 %, 133 კვირა), 6-დან 10-მდე სახანძრო განგაში (7.3 %, 19 კვირა) და 11-დან 30-მდე სახანძრო განგაში (5.0 %, 13 კვირა).



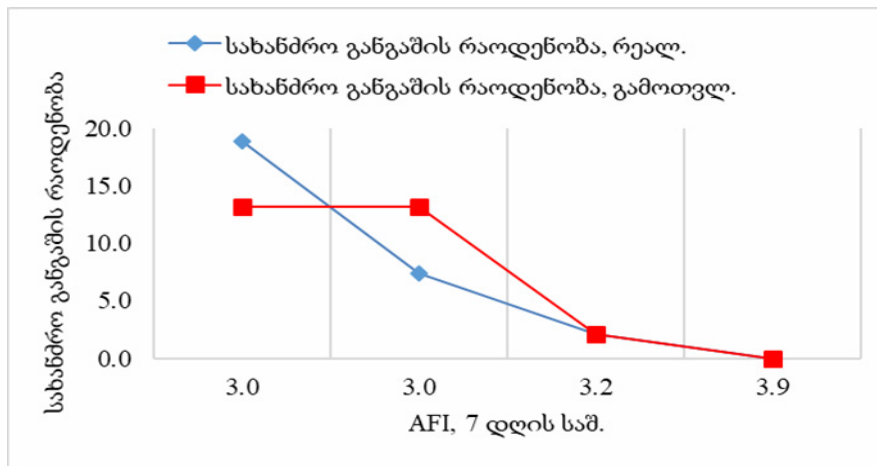
ნახ. 3. სახანძრო განგაშის რაოდენობის განმეორადობა კახეთში 2012-2016 წლებში.

ნახ. 4 წარმოდგენილია მონაცემები თელავში AFI-ის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობებისა 7 დღიან ინტერვალში სახანძრო განგაშის რაოდენობების სხვადასხვა დიაპაზონში კახეთში.

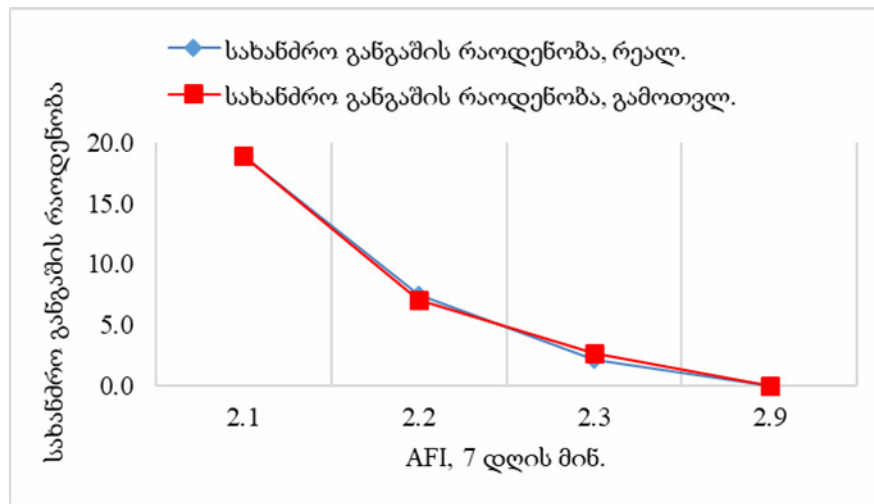


ნახ. 4. ანგარიშის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური გასაშუალოებული მნიშვნელობები ხანძრის განგაშის რაოდენობის სხვადასხვა დიაპაზონში კახეთში 2012-2016 წლებში.

როგორც ჩანს ნახ. 4-დან სახანძრო განგაშის რაოდენობის ზრდა ხდება AFI- ის მნიშვნელობების შემცირების ფონზე. უფრო თვალსაჩინოდ ამის ილუსტრაციაა ნახ. 5 და 6.



ნახ. 5. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო მნიშვნელობების და სახანძრო განგაშის რაოდენობის (N) ურთიერთკავშირი კახეთში 2012-2016 წლებში. $N = \exp(30.094 - 9.19 \cdot AFI)$.



ნახ. 6. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის მინიმალური მნიშვნელობების და სახანძრო განგაშის რაოდენობის (N) ურთიერთკავშირი კახეთში 2012-2016 წლებში. $N = \exp(23.8 - 9.93 \cdot AFI)$.

ექსპერიმენტული მონაცემების გარდა ნახ. 5 და 6 წარმოდგენილია 7 დღის საშუალოსა და AFI -ს მინიმალური მნიშვნელობების სახანძრო განგაშის რაოდენობასთან N რეგრესიული კავშირის შესაბამისი განტოლებების გრაფიკები.

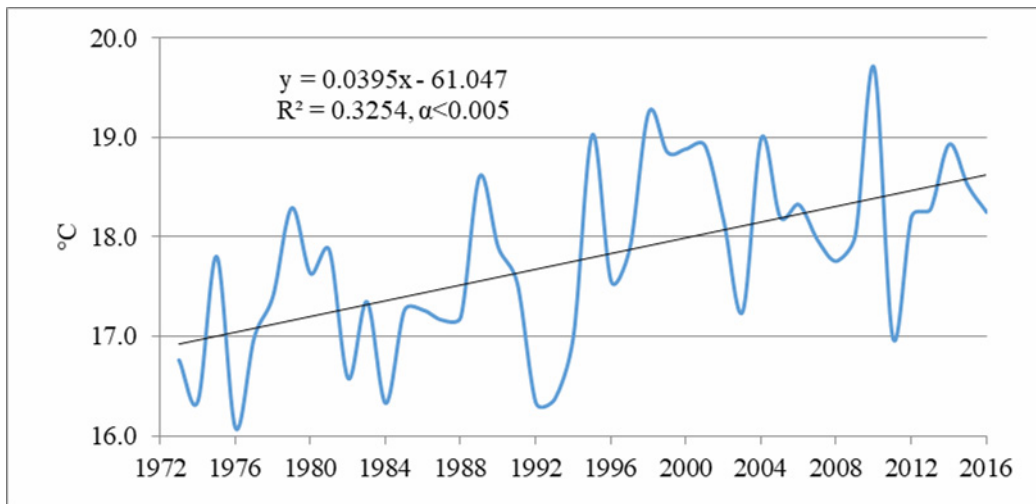
$$N = \exp(30.094 - 9.19 \cdot AFI), R^2 = 0.692, \alpha = 0.2, \text{ (ნახ. 5).}$$

$$N = \exp(23.8 - 9.93 \cdot AFI), R^2 = 0.998, \alpha < 0.005, \text{ (ნახ. 6).}$$

ამრიგად, თელავისთვის ანგსტრემის სახანძრო ინდექსი ადეკვატურად შეესაბამება კახეთში ხანძრების წარმოქმნის საშიშროების მეტეოროლოგიურ პირობებს.

3.2. მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობა თელავში, რომლებიც ასოცირებულია ანგსტრომის სახანძრო ინდექსთან 1973-2016 წლებში.

როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, AFI -ის გამოსათვლელად გამოიყენება მონაცემები ჰაერის ტემპერატურის T მაქსიმალური მნიშვნელობებისა და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის F შესახებ. ნაშრომის მოცემულ ნაწილში წარმოდგენილია მითითებული მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის ანალიზი თელავში 1973-დან 2016 წლამდე. ამავე დროს დაკვირვების მთელი პერიოდის განმავლობაში (1973-2016 წლები) გამოყენებულია მონაცემები ჰაერის ტემპერატურის საშუალოთვიური მნიშვნელობებისთვის. ამ მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის შესასწავლად გამოიყენებოდა მონაცემები T და F-ის ყოველდღიური მონაცემები 1973-1977 და 2012-2016 წლებისთვის.



ნახ. 7. ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურის საშუალო წლიური მნიშვნელობების ცვლილება თელავში 1973-2016 წლებში.

ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია თელავში ჰაერის საშუალოწლიური მაქსიმალური ტემპერატურის ცვალებადობის გრაფიკი 1973-2016 წლებში, რომელიც ნათლად აჩვენებს კლიმატის დათბობას კახეთში აღნიშნულ პერიოდში. მაქსიმალური ტემპერატურის ტრენდი დადებითია და წრფივი. საშუალოდ რეგრესიის განტოლების შესაბამისად (ნახ. 7), T -ს მნიშვნელობა თელავში გაიზარდა 16.9°C 1973 წელს → 18.6°C 2016 წელს (1.7°C მატება).

ცხრილებში 2 და 3 წარმოდგენილია მონაცემები ჰაერის ტემპერატურის T მაქსიმალური მნიშვნელობებისა და მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის F სტატისტიკური მახასიათებლების შესახებ 1973-1977 და 2012-2016 წლების სხვადასხვა თვეებში. ნახ. 8 და 9- ზე თვალსაჩინოებისთვის წარმოდგენილია T და F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობების შიდაწლიური სვლის გრაფიკი 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

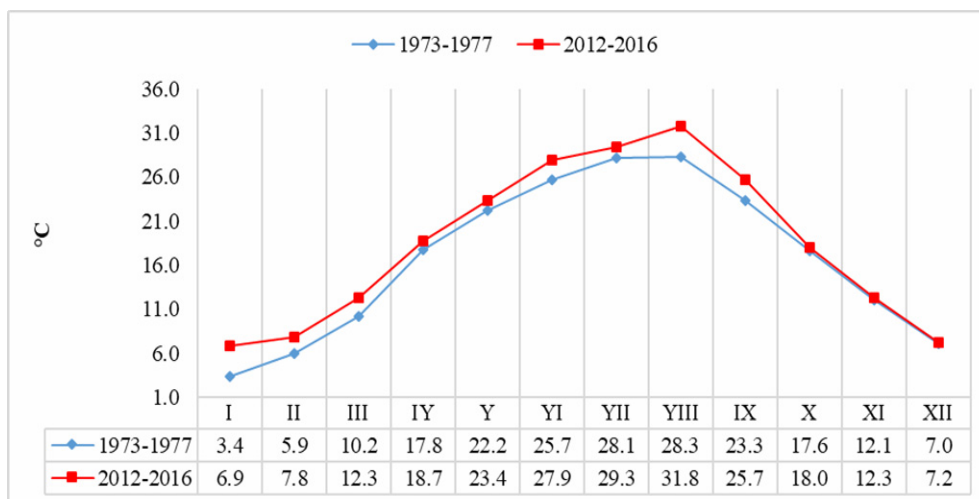
ცხრილი 2. ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურის (T, °C) სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.

$$\Delta T = T \text{ (II პერიოდი) საშუალო} - T \text{ (I პერიოდი) საშუალო.}$$

I პერ.	1973-1977											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
თვე												
Min	-6.0	-6.0	-2.0	3.0	12.0	15.0	19.0	14.0	11.0	6.0	1.0	-2.0
Max	15.0	19.0	21.0	28.0	30.0	35.0	36.0	36.0	37.0	28.0	25.0	20.0
Average	3.4	5.9	10.2	17.8	22.2	25.7	28.1	28.3	23.3	17.6	12.1	7.0
St Dev	4.5	6.1	4.7	4.8	3.4	3.7	3.8	4.3	4.4	4.9	4.4	4.3
Cv,%	133.0	102.8	45.9	26.9	15.1	14.6	13.7	15.4	18.9	28.0	36.6	61.3
σ_m	0.36	0.52	0.38	0.39	0.27	0.31	0.31	0.35	0.36	0.40	0.36	0.35
99%(+/-)	0.92	1.32	0.97	1.00	0.69	0.79	0.79	0.90	0.93	1.02	0.93	0.89
II პერ.	2012-2016											
Min	-3.0	-5.2	1.7	6.5	13.1	18.3	18.2	18.3	15.6	1.9	-1.8	-2.2
Max	16.7	19.5	23.2	28.3	30.8	34.5	37.2	41.6	33.3	28.9	23.2	18.1
Average	6.9	7.8	12.3	18.7	23.4	27.9	29.3	31.8	25.7	18.0	12.3	7.2
St Dev	4.6	5.6	4.3	4.6	3.5	3.3	3.4	3.9	3.8	5.0	4.7	4.2
Cv,%	67.2	71.7	35.3	24.7	15.1	11.9	11.5	12.2	14.7	28.1	38.3	58.4
σ_m	0.37	0.47	0.35	0.38	0.28	0.27	0.27	0.31	0.31	0.41	0.38	0.34
99%(+/-)	0.95	1.20	0.90	0.97	0.73	0.69	0.70	0.80	0.79	1.04	0.99	0.86
ΔT	3.5	1.8	2.1	1.0	1.2	2.2	1.2	3.5	2.4	0.4	0.2	0.1
$\alpha(t)$	<0.01	0.01	<0.01	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	არანიშნ.	არანიშნ.	არანიშნ.

კერძოდ, როგორც ცხრ. 2 და ნახ. 8 დან ჩანს, 1973-1977 წლებში ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა -6.0 °C (იანვარი, თებერვალი) 37.0 °C-მდე (სექტემბერი). T-ს საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 3.4°C-დან (იანვარი) 28.3°C -მდე (აგვისტო).

2012-2016 წლებში (ცხრილი 2 და ნახ. 8) ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა -5.2 °C-დან (თებერვალი) 41.6 °C-მდე (აგვისტო). T -ს საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 6.9°C-დან (იანვარი) 31.8 °C-მდე (აგვისტო).



ნახ. 8. ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურის საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

ამგვარად, ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმალური საშუალოთვიური ნიშნადი ზრდა 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით დაიკვირვება იანვრიდან სექტემბრამდე. უმეტესი ზრდა ხდება იანვარში და აგვისტოში (3.5 °C), უმცირესი - აპრილში (1.0 °C).

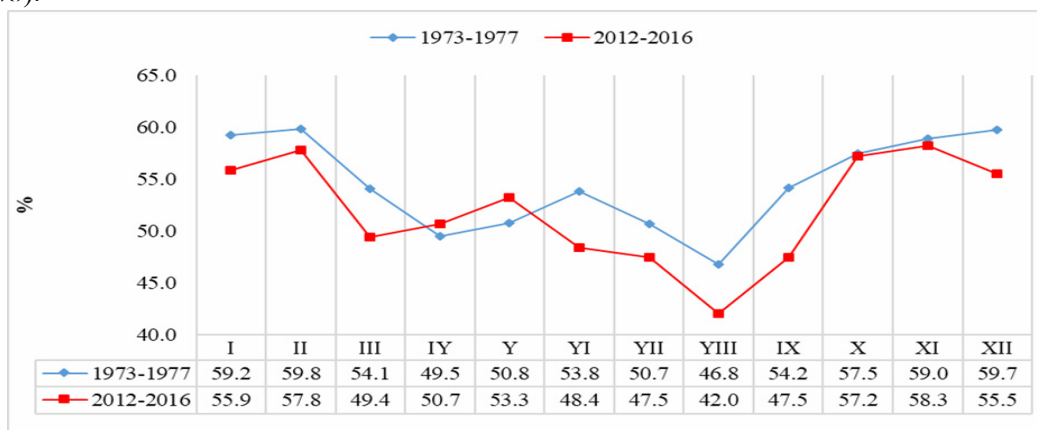
ცხრილი 3. ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის (F, %) სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.

$$\Delta F = F \text{ (II პერიოდი) საშუალო} - F \text{ (I პერიოდი) საშუალო.}$$

I პერ.	1973-1977											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
თვე												
Min	14	22	15	18	23	26	25	15	20	20	28	9
Max	93	93	93	93	88	94	94	100	94	100	93	100
Average	59.2	59.8	54.1	49.5	50.8	53.8	50.7	46.8	54.2	57.5	59.0	59.7
St Dev	17.6	18.7	17.1	16.4	12.9	12.8	14.2	16.5	15.8	17.9	16.7	18.4
Cv,%	29.7	31.2	31.6	33.1	25.5	23.8	27.9	35.3	29.2	31.2	28.3	30.7
σ_m	1.4	1.6	1.4	1.3	1.0	1.0	1.1	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
99%(+/-)	3.62	4.0	3.5	3.4	2.7	2.7	2.9	3.4	3.3	3.7	3.5	3.8
II პერ.	2012-2016											
Min	20	27	25	25	31	23	23	25	20	24	21	22
Max	96	94	90	86	89	82	81	87	82	95	97	92
Average	55.9	57.8	49.4	50.7	53.3	48.4	47.5	42.0	47.5	57.2	58.3	55.5
St Dev	16.6	15.4	14.3	13.0	10.4	9.9	10.0	8.8	11.2	15.3	17.3	16.4
Cv,%	29.7	26.6	28.9	25.7	19.5	20.4	21.1	21.0	23.5	26.8	29.7	29.5
σ_m	1.3	1.3	1.2	1.1	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	1.2	1.4	1.3
99%(+/-)	3.4	3.3	2.9	2.7	2.1	2.1	2.1	1.8	2.3	3.2	3.6	3.4
ΔF	-3.3	-2.0	-4.7	1.2	2.5	-5.4	-3.2	-4.8	-6.7	-0.2	-0.7	-4.2
$\alpha(t)$	0.07	0.3	0.01	არანიშნ.	0.06	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	არანიშნ.	არანიშნ.	0.05

ცხრილი 3 და ნახ. 9 გამოდის, რომ 1973-1977 წლებში ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის დღელამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 9%-დან (დეკემბერი) 100 %-მდე (აგვისტო, ოქტომბერი, დეკემბერი). F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 46.8 %-დან (აგვისტო) 59.8 %-მდე (თებერვალი).

2012-2016 წლებში (ცხრილი 3 და ნახ. 9) ჰაერის მინიმალური სადღელამისო ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობები იცვლებოდა 20 %-დან (იანვარი, სექტემბერი) 97 %-მდე (ნოემბერი). F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 42.0 %-დან (აგვისტო) 58.3 %-მდე (ნოემბერი).



ნახ. 9. ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

ნიშნადი ზრდა ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის საშუალოთვიური მნიშვნელობებისა 2012-2016-წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით (ცხრილი 3 და ნახ. 9) დაიკვირვებოდა მხოლოდ მაისში (2.5 %). იანვრიდან მარტამდე და ივნისიდან სექტემბრამდე შეიმჩნეოდა F-ის მნიშვნელობების შემცირება დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით (მაქსიმალური შემცირება სექტემბერში 6.7 %-ით, მინიმალური-თებერვალში 2.0 %-ით).

3.3. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით.

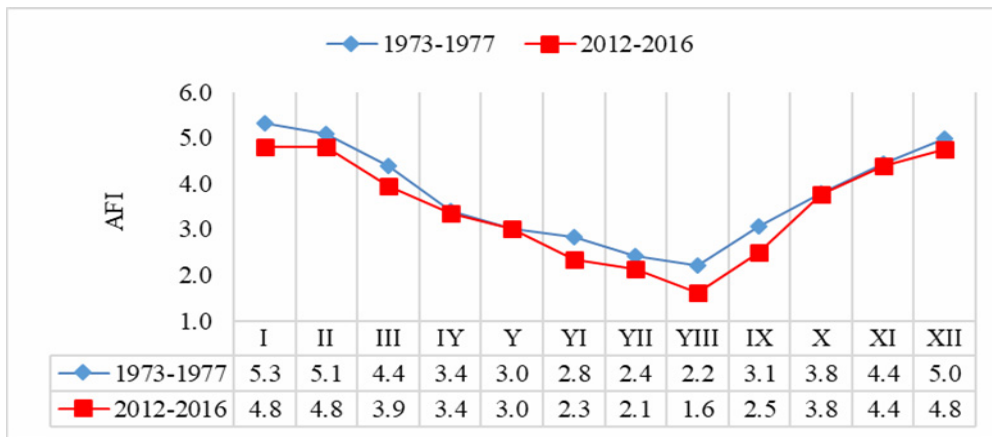
კახეთში კლიმატის დათბობამ გავლენა იქონია ანგსტრემის სახანძრო ინდექსის სხვადასხვა მასშტაბის საშუალოების (საშუალოთვიური, ერთკვირიანი, დღიური) ცვალებადობაზე.

3.3.1. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის საშუალოთვიური მნიშვნელობების ცვალებადობა თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით.

ცხრილში 4 წარმოდგენილია მონაცემები ანგსტრემის სახანძრო ინდექსის მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლების შესახებ 1973-1977 და 2012-2016 წლების სხვადასხვა თვეებში. ნახ. 10 წარმოდგენილია AFI-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობების შიდაწლიური სვლის გრაფიკი 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

ცხრილი 4. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის (AFI) სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.
 $\Delta AFI = AFI (II \text{ პერიოდი}) - AFI (I \text{ პერიოდი})$ საშუალო.

I პერ.	1973-1977											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
თვე												
Min	2.4	2.0	1.9	1.3	1.1	0.9	0.5	0.2	0.7	1.5	1.6	2.1
Max	7.7	7.6	7.3	6.8	5.7	5.9	5.5	6.3	6.0	6.7	7.3	7.7
Average	5.3	5.1	4.4	3.4	3.0	2.8	2.4	2.2	3.1	3.8	4.4	5.0
St Dev	1.2	1.4	1.2	1.2	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Cv,%	22.9	27.5	26.5	34.6	29.1	33.1	42.3	54.1	37.9	31.5	26.2	23.7
σ_m	0.10	0.12	0.09	0.10	0.07	0.08	0.08	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
99%(+/-)	0.25	0.30	0.24	0.25	0.18	0.20	0.21	0.25	0.24	0.25	0.24	0.24
II პერ.	2012-2016											
Min	2.4	2.3	1.9	1.3	1.4	0.8	0.6	0.3	0.9	1.4	2.0	2.8
Max	7.3	7.2	6.4	6.0	5.8	4.8	4.9	5.2	5.2	7.2	7.5	7.4
Average	4.8	4.8	3.9	3.4	3.0	2.3	2.1	1.6	2.5	3.8	4.4	4.8
St Dev	1.2	1.2	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1
Cv,%	24.7	24.5	24.0	29.7	26.7	31.2	35.1	43.6	31.9	30.5	28.2	22.4
σ_m	0.10	0.10	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.07	0.09	0.10	0.09
99%(+/-)	0.25	0.25	0.19	0.21	0.17	0.15	0.16	0.15	0.17	0.24	0.26	0.22
ΔAFI	-0.5	-0.3	-0.4	0.0	0.0	-0.5	-0.3	-0.6	-0.6	0.0	-0.1	-0.2
$\alpha(t)$	<0.01	0.08	<0.01	არაწიშნ.	არაწიშნ.	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	არაწიშნ.	არაწიშნ.	არაწიშნ.



ნახ. 10. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის საშუალო თვიური მნიშვნელობები თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

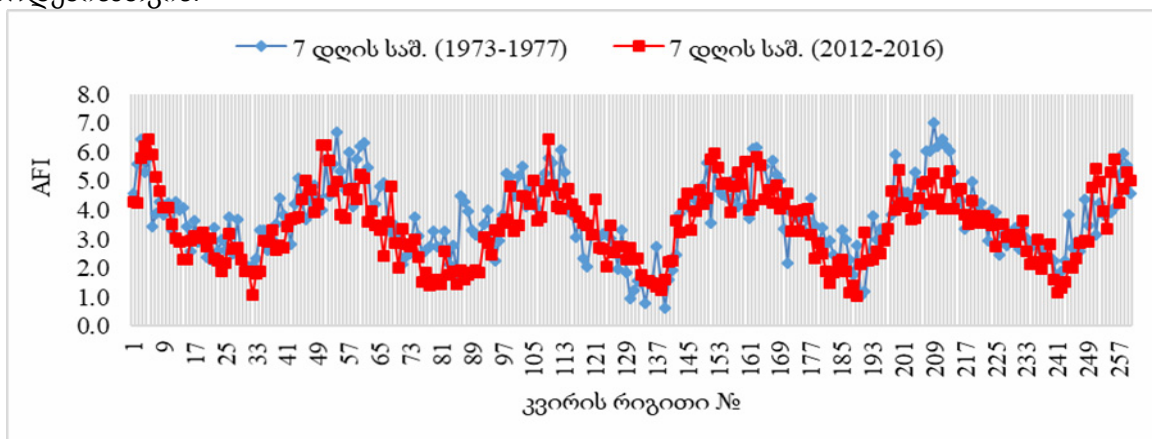
ცხრილიდან 4 და ნახ. 10 გამომდინარეობს, რომ 1973-1977 წლებში AFI -ის დღელამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.2-დან (აგვისტო) 7.7-მდე (იანვარი, დეკემბერი). AFI -ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 2.2-დან (აგვისტო) 5.3-მდე (იანვარი).

2012-2016 წლებში (ცხრილი 4 და ნახ. 10) AFI -ის დღელამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 0.3-დან (აგვისტო) 7.5-მდე (ნოემბერი). AFI -ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 1.6-დან (აგვისტო) 4.8-მდე (დეკემბერი, იანვარი, თებერვალი).

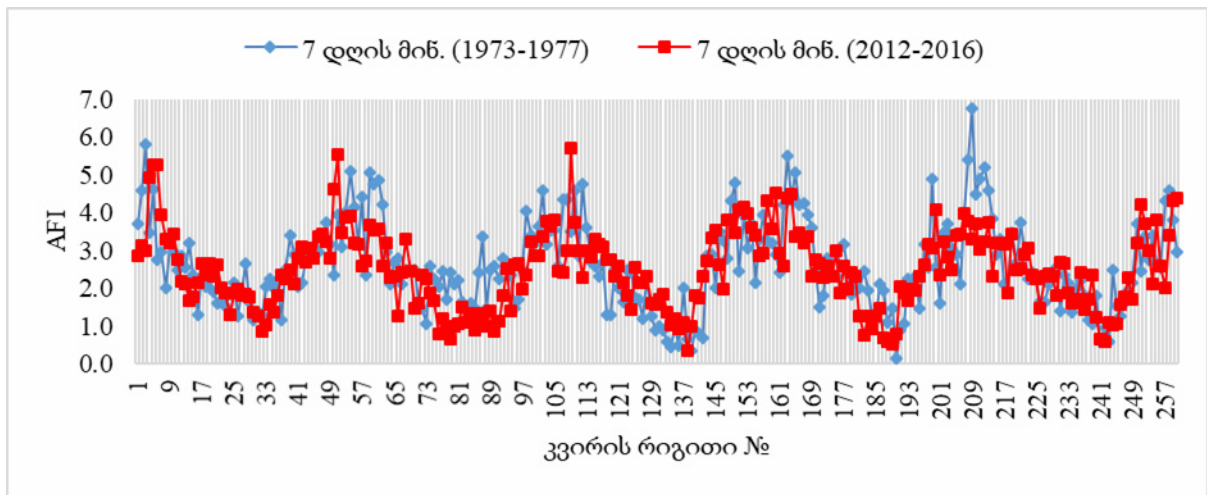
AFI-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობების ნიშნადი შემცირება 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით (ცხრილი 4 და ნახ. 10) დაიკვირვება იანვრიდან მარტამდე და ივნისიდან სექტემბრამდე (ყველაზე დიდი შემცირება აგვისტოში და სექტემბერში, 0.6-ით; უმცირესი - თებერვალში და ივლისში 0.3-ით).

3.3.2. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის საშუალოკვირეული მნიშვნელობების ცვალებადობა თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით.

ნახ. 11 წარმოდგენილია მონაცემები AFI-ის 7 დღის გასაშუალოებული მნიშვნელობების ცვალებადობის შესახებ თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში (260 კვირაზე). ნახ 12 ნაჩვენებია მონაცემები AFI-ის 7 დღის უმცირესი მნიშვნელობების შესახებ დროის იმავე პერიოდებისათვის.



ნახ. 11. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო მნიშვნელობების ცვლილება თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.



ნახ. 12. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის მინიმალური მნიშვნელობების ცვლილება თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.

ზოგადად, როგორც გამომდინარეობს ნახ. 11 და 12 - დან თვალნათელია AFI-ის მნიშვნელობების შემცირება დროის მეორე პერიოდში პირველ პერიოდთან შედარებით.

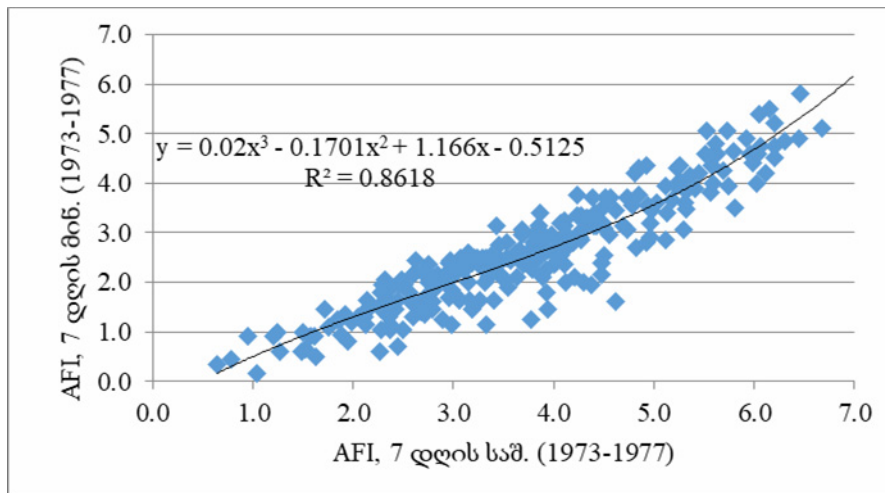
ცხრილი 5. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობების სტატისტიკური მახასიათებლები თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში.

$$\Delta AFI = AFI \text{ (II პერიოდი) საშუალო} - AFI \text{ (I პერიოდი) საშუალო.}$$

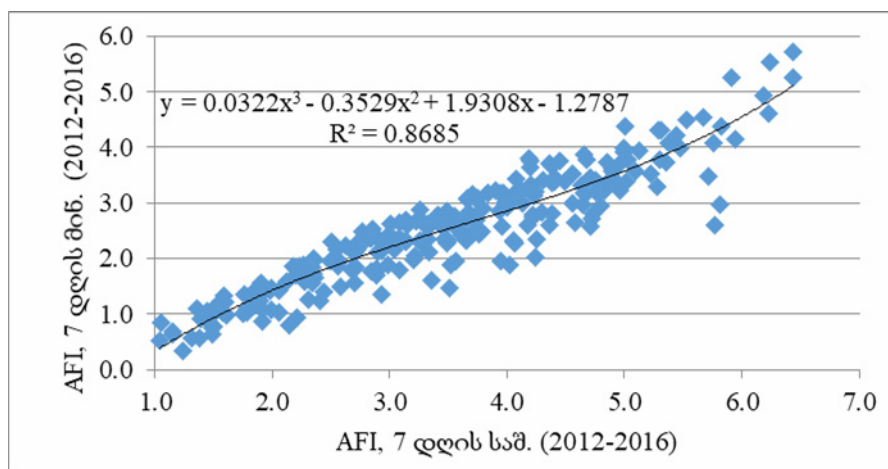
პარამეტრი	AFI, 7 დღის საშ.	AFI, 7 დღის საშ.	AFI, 7 დღის მინ.	AFI, 7 დღის მინ.
პერიოდი	1973-1977	2012-2016	1973-1977	2012-2016
Min	0.6	1.0	0.2	0.3
Max	7.0	6.4	6.8	5.7
Average	3.7	3.4	2.6	2.5
St Dev	1.3	1.3	1.1	1.0
Cv,%	34.3	36.5	44.1	41.2
σ_m	0.08	0.08	0.07	0.06
99%(+/-)	0.20	0.20	0.18	0.16
ΔAFI	-0.3		-0.1	
$\alpha(t)$	<0.01		0.2	

უფრო ზუსტი შეფასება კახეთში კლიმატის ცვლილების ზეგავლენისა AFI-ის 7- დღიან მასშტაბის საშუალოებზე წარმოდგენილია ცხრილში 5. კერძოდ, როგორც ჩანს ამ ცხრილიდან, 7 დღის საშუალოების გასაშუალებით წლის განმავლობაში AFI-ის მნიშვნელობები 1973-1977 და 2012-2016 წლებში შესაბამისად შეადგენს 3.7 და 3.4 (მეორე პერიოდში შემცირება 0.3-ით პირველთან შედარებით). AFI-ის 7 დღის მინიმალური მნიშვნელობების გასაშუალებით წლის განმავლობაში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში შესაბამისად შეადგენენ 2.6 და 2.5 (მეორე პერიოდში შემცირება 0.1-ით პირველთან შედარებით).

ნახ. 13 და 14 წარმოდგენილია AFI-ის 7 დღის საშუალოებსა და მინიმალურ მნიშვნელობებს შორის არსებული რეგრესიული დამოკიდებულება 1973-1977 და 2012-2016 წლებში.



ნახ. 13. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობების ურთიერთკავშირი თელავში 1973-1977 წლებში.

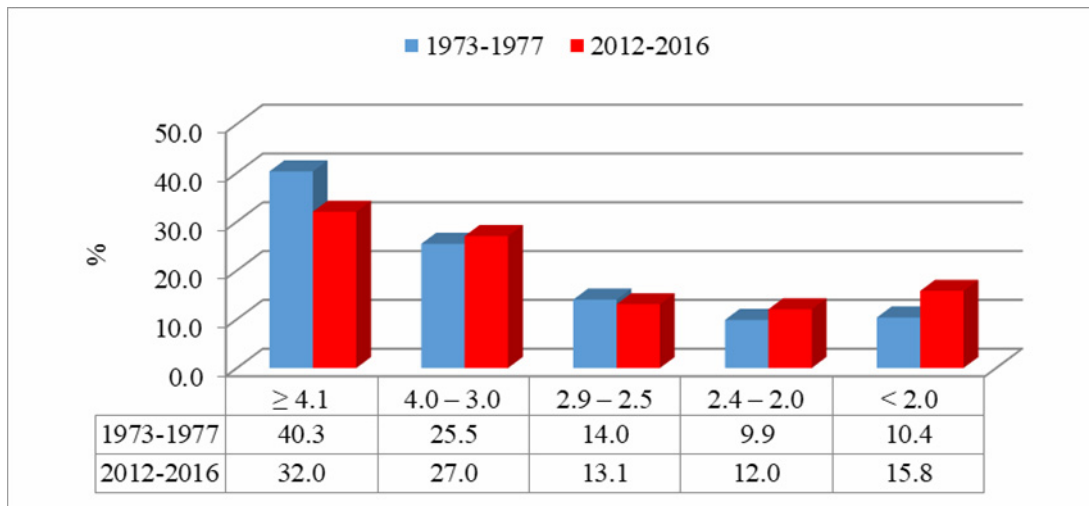


ნახ. 14. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის 7 დღის საშუალო და მინიმალური მნიშვნელობების ურთიერთკავშირი თელავში 2012-2016 წლებში.

როგორც ნახ. 13 და 14 -დან ჩანს, დროის ორივე პერიოდისათვის რეგრესიის სახეს AFI-ის აღნიშნულ მნიშვნელობებს შორის ერთი და იგივე სახე აქვთ - მესამე ხარისხის პოლინომის (დეტერმინაციის კოეფიციენტის ნიშნადობის დონე $\alpha < 0.005$). ესე იგი დაკვირვების ორივე პერიოდში აღნიშნული რეგრესიული დამოკიდებულება ინარჩუნებს მდგრადობას.

3.3.3. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის დღიური მნიშვნელობების ცვალებადობა თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით.

ნახ. 15 წარმოდგენილია AFI-ის დღეღამური მნიშვნელობების განმეორადობის მონაცემები 1973-1977 და 2012-2016 წლებში, ხოლო ნახ. 15-ზე AFI-ის დღეღამური მნიშვნელობების განმეორადობის მონაცემები დროის იმავე პერიოდებში წლის თვეების მიხედვით. ცხრილში 7 წარმოდგენილია ინფორმაცია თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში თვეებისა და წლის სეზონების მიხედვით დღეების საშუალო რაოდენობის შესახებ $AFI \leq 2.9$ და ≤ 2.4 . მნიშვნელობებით. საჭიროა აღინიშნოს, რომ ეს მონაცემები, რომლებიც ახასიათებენ კახეთში კლიმატის ცვლილების ზეგავლენას რეგიონის სახანძრო საშიშროების დონეზე, სამეცნიერო ინტერესის გარდა გააჩნია პრაქტიკული მნიშვნელობაც.



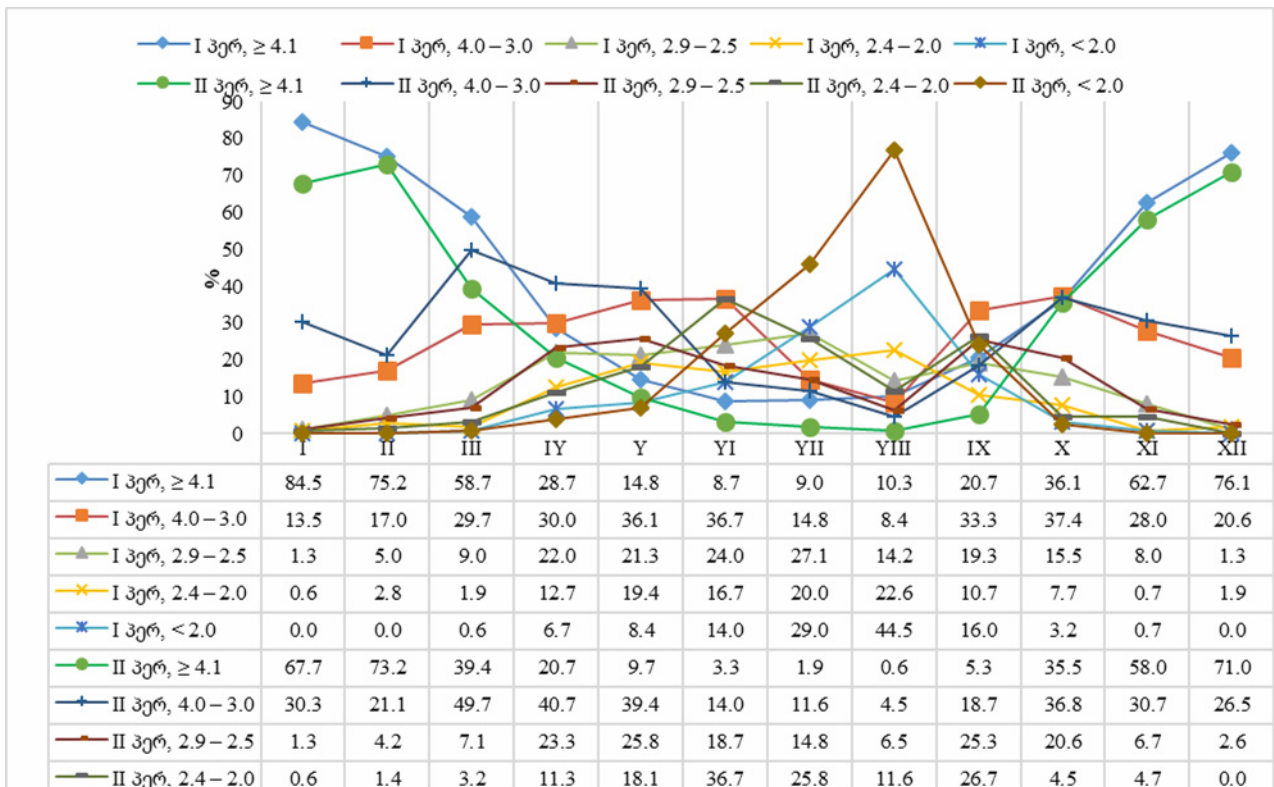
ნახ. 15. ანგარიშის ხანძრის ინდექსის დღიური მნიშვნელობების განმეორადობა თელავში 1973-1977 და 2012-2016.

ნახ. 16-დან ჩანს, რომ AFI-ის განმეორადობა მისი მნიშვნელობების სხვადასხვა დიაპაზონში 2012-2016 წლებში 2012-2016 წლებთან შედარებით შეიცვალა შემდეგნაირად:

- $AFI \geq 4.1$ (ხანძრების გაჩენის დაბალი დონე), შემცირება 40.3 %-დან 32.0 %-მდე (შესაბამისად-147 და 117 დღე წელიწადში);
- $3.0 \leq AFI \leq 4.0$ (ხანძრების გაჩენის ზომიერი დონე), გაზრდილია 25.5 % -დან 27.0 %-მდე (შესაბამისად-93 და 99 დღე წელიწადში);
- $2.5 \leq AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი დონე), შემცირება 14.0 % -დან 13.1 %-მდე (შესაბამისად 51 და 48 დღე წელიწადში);
- $2.0 \leq AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი დონე), გაზრდა 9.9 %-დან 12.0%-მდე(შესაბამისად 36 და 44 დღე წელიწადში);
- $AFI < 2.0$ (ხანძრების გაჩენის ექსტრემალური დონე), გაზრდა 10.4 %-დან 15.8 %-მდე-მდე(შესაბამისად 38 და 58 დღე წელიწადში);

ზოგადად, დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით დღეების რიცხვი ხანძრების საფრთხის დიაპაზონში--ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე გაიზარდა 125-დან 150 დღემდე წელიწადში(ზრდა თითქმის 20 %), ხოლო დიაპაზონში--ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე გაიზარდა 74-დან 102 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 38 %).

ნახ. 16 ჩანს, რომ AFI-ის განმეორადობა მნიშვნელობის დიაპაზონში, რომელიც ნაკლებია 2.9 -ზე 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით მნიშვნელოვნად გაიზარდა ივნისიდან სექტემბრამდე(სახანძრო საშიშროების მატება). წლის დანარჩენ თვეებში ეს ცვალებადობა არც ისეთი მაღალია, 0-2.7 %-ის ფარგლებში $AFI \leq 2.9$ მნიშვნელობებისათვის (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე), და 0-4.0 %-ის ფარგლებში $AFI \leq 2.4$ მნიშვნელობებისათვის (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე).



ნახ. 16. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის დღიური მნიშვნელობების განმეორადობა თელავში 1973-1977 (I პერიოდი) და 2012-2016 (II პერიოდი) წლებში თვეების მიხედვით.

ცხრილი 6. ანგსტრომის ხანძრის ინდექსის საშუალო დღეთა რაოდენობა თელავში 1973-1977 და 2012-2016 წლებში თვეების და სეზონების მიხედვით როცა $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე) და ≤ 2.4 (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე).

AFI	≤ 2.9		≤ 2.4	
	1973-1977	2012-2016	1973-1977	2012-2016
თვე/პერიოდი				
I	1	1	0	0
II	2	2	1	0
III	4	3	1	1
IV	12	12	6	5
V	15	16	9	8
VI	16	25	9	19
VII	24	27	15	22
VIII	25	29	21	27
IX	14	23	8	15
X	8	9	3	2
XI	3	3	0	1
XII	1	1	1	0
XII-II	4	3	2	1
III-V	31	31	15	14
VI-VIII	65	81	45	69
IX-XI	25	35	12	19

ივნისიდან სექტემბრამდე (ნახ.16, ცხრილი 6) AFI-ის განმეორადობა და დღეთა რიცხვი მისი მნიშვნელობის იმ დიაპაზონში, რომელიც ნაკლებია 2.9-ზე (ხანძრების გაჩენის დონე მაღალი და მეტი) 2012-2016 წლებში, 1973-1977-თან შედარებით, შეიცვალა შემდეგნაირად:

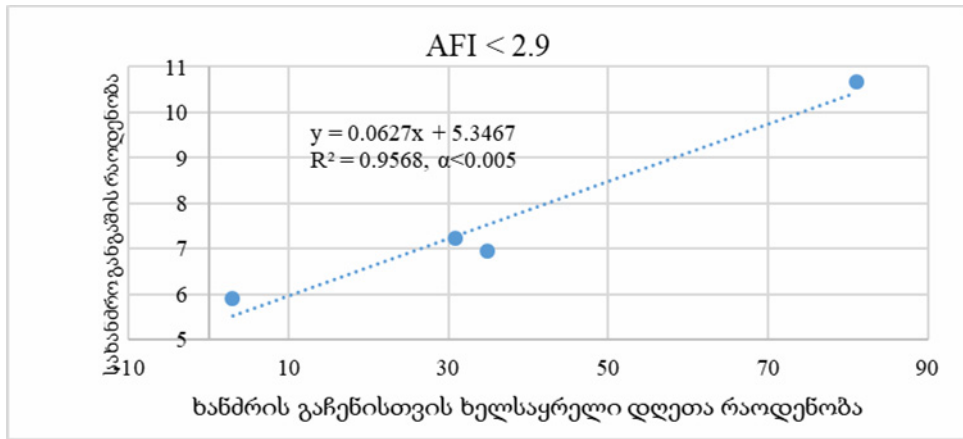
- ივნისი: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 54.7 % -დან 82.7 %-მდე (შესაბამისად 16 და 25 დღე თვეში, მატება 51 %). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 30.7 % -დან 64.0 %-მდე (შესაბამისად - 9 და 19 დღე თვეში, მატება 109 %-ით).
- ივლისი: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 76.1 % -დან 86.5 %-მდე (შესაბამისად-24 და 27 დღე თვეში, მატება 14 %). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 49.0 % - დან 71.6 %-მდე (შესაბამისად-15 და 22 დღე თვეში, მატება 46 % -ით).
- აგვისტო: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 81.3 % -დან 94.8 %-მდე შესაბამისად - (25 და 29 დღე თვეში, მატება 17 % -ით). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 67.1 % -დან 88.4%-მდე (შესაბამისად-21 და 27 დღე თვეში, მატება 32 %).
- სექტემბერი: $AFI \leq 2.9$ (ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 46.0 %-დან 76.0 %-მდე (შესაბამისად-14 და 23 დღე თვეში, მატება 65 %). $AFI \leq 2.4$ (ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე), მატება 26.7 % - დან 50.7 % - მდე (შესაბამისად - 8 და 15 დღე თვეში, მატება 90 %).

ზოგადად, დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით დღეების რიცხვი სახანძრო საშიშროებით მაღალი - ექსტრემალური დონე ივნისიდან სექტემბრამდე გაიზარდა 79-დან 104-მდე წელიწადში(მატება თითქმის 32%-ით) ხოლო დიაპაზონში ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე გაიზარდა 53-დან 84-დღემდე წელიწადში(მატება 58%-ით). წლის დანარჩენ თვეებში (იანვარი-მაისი, ოქტომბერი-დეკემბერი) დროის ორივე პერიოდში დღეების რიცხვი ხანძრის საშიშროების დიაპაზონში ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე არ შეცვლილა (46 ორივეში), ხოლო სახანძრო საშიშროების დიაპაზონში ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე დროის მეორე პერიოდში შემცირდა პირველთან შედარებით 21-დან 18-მდე.

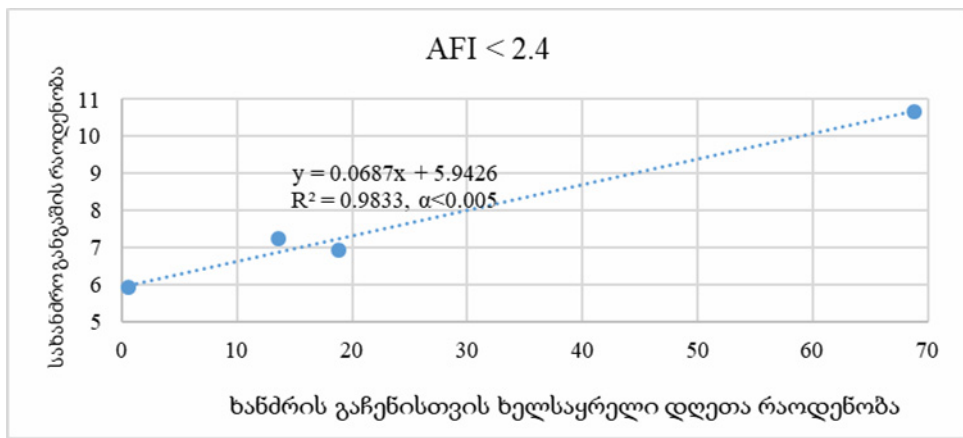
ამრიგად, კახეთში კლიმატის დათბობამ მნიშვნელოვნად იმოქმედა რეგიონში სახანძრო საშიშროების დონის ზრდაზე, რაც ყველაზე აშკარად გამოვლინდა ივნისიდან სექტემბრამდე პერიოდში.

3.3.4. თელავში ხანძრის წარმოქმნისათვის ხელშემწყობი საშუალო სეზონური დღეების რაოდენობის კავშირი კახეთში 2012-2016 წლებში საშუალო სეზონურ სახანძრო განგაშის რაოდენობასთან.

მოცემულ განყოფილებაში კიდევ ერთხელ დასტურდება AFI-ის მონაცემების რეპრეზენტატულობა სახანძრო საშიშროების ხარისხის რეალური შეფასებისთვის, რომელიც ადრე შეფასდა 3.1 განყოფილებაში. ნახ. 17 და 18 -ზე წარმოდგენილია კორელაციური და რეგრესიული კავშირები ხანძრის წარმოქმნისათვის ხელშემწყობი დღეების რაოდენობასა (ცხრილი 6) და სახანძრო განგაშის საშუალოსეზონურ რაოდენობას შორის (გათვლები ნახ. 2 მონაცემებით) $AFI < 2.9$ და $AFI < 2.4$ მნიშვნელობებისათვის.



ნახ. 17. წრფივი კორელაცია და რეგრესია ხანძრის გაჩენისთვის ხელსაყრელი დღეთა რაოდენობის (AFI < 2.9) და სახანძრო განგაშის რაოდენობის შორის 2012-2016 წწ. სეზონების მონაცემების მიხედვით (ცხრილი 6, ნახ. 1).



ნახ. 18. წრფივი კორელაცია და რეგრესია ხანძრის გაჩენისთვის ხელსაყრელი დღეთა რაოდენობის (AFI < 2.4) და სახანძრო განგაშის რაოდენობის შორის 2012-2016 წწ. სეზონების მონაცემების მიხედვით (ცხრილი 6, ნახ. 1).

როგორც ნახ. 17 და 18 - დან ჩანს, ორივე შემთხვევაში გამოსაკვლევ პარამეტრებს შორის დაიკვირვება წრფივი კორელაცია და რეგრესია საიმედოობის მაღალი დონით. ამრიგად, ინფორმაცია ანგისტრემის სახანძრო ინდექსზე სრულიად ადეკვატურად ახასიათებს გამოსაკვლევ რეგიონის რეალურ სახანძრო საშიშროებას და მას შეიძლება რეკომენდაცია გაეწიოს პრაქტიკული გამოყენებისთვის როგორც ამ საფრთხის ინდიკატორს.

დასკვნები

ამრიგად, 1973-1976 და 2012-2016 წლებში კახეთის რეგიონში ჩატარებული კვლევების გაანალიზების შედეგად დადგინდა, რომ ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორებით გამოწვეულმა კლიმატის ცვლილებამ, კერძოდ, დათბობამ მნიშვნელოვნად იმოქმედა რეგიონში სახანძრო საშიშროების დონის ზრდაზე, რაც ყველაზე აშკარად გამოვლინდა ივნისიდან სექტემბრამდე პერიოდში. შესაბამისად იმატებს ხანძრების რაოდენობა და მისი უარყოფითი შედეგები, კერძოდ:

1. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის (AFI) გამოყენების რეპრეზენტატულობის შეფასება კახეთში, კერძოდ თელავში, ხანძრების გაჩენის პირობების განსაზღვრისათვის მიმდინარეობდა 7 დღის განმავლობაში 2012-დან 2016 წლამდე (260 კვირა) სახანძრო განგაშების AFI-ის რაოდენობის შედარებით საშუალო და მინიმალურ მნიშვნელობებთან, შედეგად აღინიშნებოდა სახანძრო განგაშის რაოდენობის ზრდა ხდება AFI-ის მნიშვნელობების შემცირების ფონზე. ასევე დადგინდა, რომ აღნიშნული კვლევის შედეგები ადეკვატურად შეესაბამება არა მხოლოდ თელავს, არამედ მთლიან კახეთს;
2. მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობა თელავში, რომლებიც ასოცირებულია ანგსტრომის სახანძრო ინდექსთან 1973-2016 წლებში, აღნიშნულის მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვალებადობის შესასწავლად გამოიყენებოდა T (ჰაერის მაქსიმალური ტემპერატურა) და F-ის (ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობა) ყოველდღიური მნიშვნელობები. საშუალო წლიური მაქსიმალური ტემპერატურის ტრენდი 1973-2016 წწ. დადებითია და წრფივი. რეგრესიის განტოლების შესაბამისად, თელავში 2016 წელს 2013 წლის შედარებით T-ს მნიშვნელობა საშუალოდ გაიზარდა: $16.9^{\circ}\text{C} \rightarrow 18.6^{\circ}\text{C}$ (1.7°C მატება). ჰაერის ტემპერატურის მაქსი-მალური საშუალოთვიური ნიშნადი ზრდა 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით აღინიშნება იანვრიდან სექტემბრამდე. 1973-1977 წლებში ჰაერის მინიმალური ფარდობითი ტენიანობის დღეღამური მნიშვნელობები იცვლებოდა 9 %-დან (დეკემბერი) 100%-მდე (აგვისტო, ოქტომბერი, დეკემბერი). F -ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 46.8 %-დან (აგვისტო) 59.8 %-მდე (თებერვალი). 2012-2016 წლებში ჰაერის მინიმალური სადღეღამისო ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობები იცვლებოდა 20 %-დან (იანვარი, სექტემბერი) 97%-მდე (ნოემბერი). F-ის საშუალოთვიური მნიშვნელობები იცვლებოდა 42.0 %-დან (აგვისტო) 58.3 %-მდე (ნოემბერი).
3. ანგსტრომის სახანძრო ინდექსი თელავში 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით შეიცვალა შემდეგნაირად: 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე გაიზარდა 125-დან 150 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 20%), ხოლო დიაპაზონში--ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე, გაიზარდა 74-დან 102 დღემდე წელიწადში (ზრდა თითქმის 38%). ხოლო თვეების მიხედვით 2012-2016 წლებში 1973-1977 წლებთან შედარებით სახანძრო საშიშროებით, მაღალი - ექსტრემალური დონე ივნისიდან სექტემბრამდე, გაიზარდა 79-დან 104-მდე წელიწადში (მატება თითქმის 32%-ით), ხოლო დიაპაზონში ხანძრების გაჩენის ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე, გაიზარდა 53-დან 84-დღემდე წელიწადში (მატება 58%-ით). წლის დანარჩენ თვეებში (იანვარი-მაისი, ოქტომბერი-დეკემბერი), დროის ორივე პერიოდში დღეების რიცხვი ხანძრის საშიშროების დიაპაზონში - ხანძრების გაჩენის მაღალი - ექსტრემალური დონე, არ შეცვლილა (46 ორივეში), ხოლო სახანძრო საშიშროების დიაპაზონში - ძალიან მაღალი - ექსტრემალური დონე, დროის მეორე პერიოდში პირველთან შედარებით შემცირდა 21-დან 18-მდე.

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press.
2. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Trofimenko L.T., Khurodze T.V. The Statistical Evaluation of the Expected Changes of Air Temperature in Tbilisi and St.-Petersburg up to 2056 Years. *Trans. of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University*, ISSN 1512-0902, vol. 119, 2013, pp.58-622, (in Russian).
3. Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. *Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation"*. Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp.189-192.
4. Bliadze T., Gvasalia G., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Changeability of the Atmospheric Precipitations Regime in Kakheti in 1956-2015. *International Scientific Conference „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“*, Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 74-77.
5. Bliadze T., Gvasalia G., Kartvelishvili L., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Variability of the Annual Sum of Atmospheric Precipitations in Kakheti in 1956-2015. *International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“* Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp. 193-196.
6. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Kotaladze N.B., Megrelidze L.D., Tatishvili M.R. Changeability of the Meteorological Parameters Associated with Holiday Climate Index in Different Mountainous Regions of Georgia in 1956-2015. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, *Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 24(2), 2021, pp. 78-91. DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>
7. Amiranashvili A., Povolotskaya N., Senik I. Comparative Analysis of the Variability of Monthly and Seasonal Air Temperature in Tbilisi and Kislovodsk in 1931-2020. *International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“*. Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021. Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, 2021, pp. 27 - 30.
8. Amiranashvili A. Variability of the Average Annual Air Temperature in Tbilisi Against the Background of Global Warming in 1880-2021. *II International Scientific Conference “Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance”*, Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 265-269. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10118>
9. Lukić T., Marić P., Hrnjak I., Gavrilov M. B., Mladjan D., Zorn M., ... & Stojsavljević R. Forest fire analysis and classification based on a Serbian case study. *Acta geographica Slovenica*, 57 (1), 2017, pp. 51-63.
10. Skvarenina J., Mindas J., Holec, J., Tucek J. Analysis of the natural and meteorological conditions during two largest forest fire events in the Slovak Paradise National Park. *Forest fire in the wildland-urban interface and rural areas in Europe: an integral planning and management challenge*. Athens, 2003.
11. Gubenko I.M. Rubinshteyn K.G. *Sravnitel'nyy analiz metodov rascheta indeksov pozharney opasnosti*. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii*, (347), 2012, pp. 207-222.
12. Kats A.L., Gusev V.A., Shabunina T.A. *Metodicheskie ukazaniya po prognozirovaniyu pozharney opasnosti v lesakh po usloviyam pogody* [Methodological guidelines for predicting fire danger in forests on the conditions of the weather]. Moscow, Gidrometeoizdat, 1975.
13. Ullah M. R., Liu X. D., Al-Amin M. Spatial-temporal distribution of forest fires and fire weather index calculation from 2000 to 2009 in China. *Journal of Forest Science*, 59 (7), 2013, pp. 279-287.

14. Bliadze T., Kirkitadze D., Samkharadze I., Tsiklauri Kh. Statistical Characteristics of Angstrom Fire Index for Tbilisi. Int. Sc. Conf. "Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation". Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, 2019, Tbilisi, pp. 86-90.
15. Bliadze T., Kirkitadze D., Samkharadze I., Tsiklauri Kh. Statistical Characteristics of Angstrom Fire Index for Telavi (Georgia). International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp.64-67.
16. Bliadze T., Gekkieva S., Kirkitadze D. Comparison of Angstrom Fire Index for Nalchik (Kabardino-Balkaria, Russian Federation) and Telavi (Georgia). International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 7, Tbilisi-Telavi, Georgia, 26-28 September, 2020, pp.68-72.
17. Bliadze T., Povolotskaya N., Senik I. Comparison of Angstrom Fire Index for Tbilisi (Georgia) and Kislovodsk (Russia). International Scientific Conference „Natural Disasters in the 21st Century: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proceedings, ISBN 978-9941-491-52-8, Tbilisi, Georgia, December 20-22, 2021, pp. 158-162.
18. Bliadze T., Amiranashvili A., Chkhitunidze M., Laghidze L. Statistical Analysis of Angstrom Fire Index for Kutaisi, Georgia. II International Scientific Conference "Landscape Dimensions of Sustainable Development Science – Carto/GIS – Planning – Governance", Dedicated to the 75th Anniversary of Professor Nikoloz (Niko) Beruchashvili, Proceedings, 12-16 September 2022, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Press, 2022, ISBN 978-9941-36-030-5, pp. 270-274. <http://www.dspace.gela.org.ge/handle/123456789/10119>

ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე

ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., დავითაშვილი მ., ხახიაშვილი მ.

რეზიუმე

კახეთის მაგალითზე წარმოდგენილია ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის გამოყენების რეპრეზენტატულობის გამოკვლევის შედეგები ხანძრის წარმოშობის პირობების შეფასებისათვის და აგრეთვე კლიმატის დათბობის ზეგავლენა ხანძრის საშიშროების ხარისხის ცვლილებაზე.

საკვანძო სიტყვები: ანგსტრომის ხანძრების ინდექსი, კლიმატის ცვლილება.

VARIABILITY OF THE ANGSTROM FIRE INDEX IN KAKHETI DUE TO CLIMATE CHANGE

Amiranashvili A., Bliadze T., Davitashvili M., Khakhiashvili M.

Abstract

On the example of Kakheti, the results of studies of the representativeness of the use of the Angstrom fire index to assess the conditions for the occurrence of a fire, as well as the impact of climate warming on changes in the degree of fire danger, are presented.

Key words: Angstrom Fire Index, climate change.

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЖАРНОГО ИНДЕКСА АНГСТРОМА В КАХЕТИИ НА ФОНЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Амиранашвили А., Блиадзе Т., Давиташвили М., Хахиашвили М.

Реферат

На примере Кахетии представлены результаты исследований репрезентативности использования пожарного индекса Ангстрома для оценки условий возникновения пожара, а также влияние потепления климата на изменение степени пожарной опасности.

Ключевые слова: пожарный индекс Ангстрома, изменение климата.

საქართველოს ჰიდრო ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასება და ეკოლოგიური პრობლემები

კერესელიძე ზ., არზიანი ზ.

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

საბჭოთა კავშირის შემადგენლობაში ყოფნისას საქართველო იყო იმ რესპუბლიკათა შორის, რომელიც ვერ აკმაყოფილებდა საკუთარი რესურსებით მოთხოვნილებას ენერგო მატარებლებზე, კერძოდ, ელექტროენერგიაზე. დეფიციტური ელექტროენერგიის იმპორტი ხდებოდა ძირითადად რუსეთიდან, რაც ჩვეულებრივ შეადგენდა წლიური მოხმარების დაახლოებით ნახევარს ან ოდნავ ნაკლებს. საქართველოში ელექტროენერგიის მოხმარებამ მაქსიმუმს მიაღწია 1988 წელს და შეადგინა დაახლოებით 18 მილიარდი კვტ.სთ. აქედან ნახევარი გამოიმუშავეს ჰიდროელექტროსადგურებმა, ხოლო თითქმის მეოთხედი - თბოელექტროსადგურებმა, რომლებიც მუშაობდნენ ძირითადად იმპორტირებულ ბუნებრივ აირსა და მაზუთზე. მეტად მცირე ოდენობით გამოიყენებოდა აგრეთვე ადგილობრივად მოპოვებული ქვანახშირი და ნავთობ პროდუქტები. ამრიგად, საქართველოში არ არსებობდა საკუთარი ენერგეტიკული ბაზის განვითარებისათვის აუცილებელი ეკონომიკური სტიმული საბჭოთა კავშირში ნავთობ პროდუქტებზე მეტად დაბალი ფასების გამო. მაგრამ, საბჭოთა სახელმწიფოს დაშლისთანავე ვითარება მკვეთრად შეიცვალა. ენერგორესურსების მქონე ქვეყნებმა გაზარდეს ფასები ნედლეულზე, კერძოდ, ბუნებრივ აირზე. ელექტროენერგიასთან ერთად, ასეთი ვითარებაა დღეს ბენზინთან, ნავთთან და თხევად აირთან დაკავშირებითაც. ამ პროდუქტებით ქვეყნის მომარაგება დღეს ხდება კერძო თუ სახელმწიფო სტრუქტურების მიერ საერთაშორისო კომერციულ ფასებში. ამიტომ-მაც არ არის გასაკვირი, რომ დამოუკიდებლობის მოპოვების შემდეგ საქართველოში განვითარდა საკმაოდ ღრმა ენერგეტიკული კრიზისი, რომელიც დღეს მხოლოდ ნაწილობრივ არის დაძლეული. არსებული ვითარებიდან გამოსავალის მოძებნა აუცილებელია თუნდაც იმიტომ, რომ სხვა შემთხვევაში არა ჩანს რეალური გზა ქვეყნის დამოუკიდებელი არსებობის განმტკიცებისათვის.

იმისათვის, რომ ზოგადად ჩავწვდეთ ამჟამად საქართველოში არსებული ენერგო დეფიციტის არსს და მივაგნოთ პრობლემის სათავეს, საჭიროა გავიხსენოთ არც თუ შორეული წარსულის სტატისტიკური მონაცემები. ამასთან დაკავშირებით ისმის კითხვა: როგორი იყო საბჭოთა კავშირის არსებობის ბოლო წლებში მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე და რანაირად ნაწილდებოდა ის სახალხო-სამეურნეო კომპლექსში და მოსახლეობაში? როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ 1988 წელს რესპუბლიკაში დაიხარჯა დაახლოებით 18 მილიარდი კვტ.სთ ენერგია. აქედან მსხვილმა მრეწველობამ მოიხმარა ელექტროენერგიის 26%, სოფლის მეურნეობამ 6,4%, ტრანსპორტმა - 5%, მშენებლობამ - 2,5%, საყოფაცოვრებო-კომუნალურმა სექტორმა - 21%, სხვა ხარჯებმა შეადგინა 20%, ხოლო დანაკარგებმა და საკუთრივ ენერგეტიკული ობიექტების საჭიროებებმა - 18,5%. სხვა ხარჯებში იგულისხმება მრეწველობის ის დარგები, რომლებიც წამყვანი

არ იყო სახალხო მეურნეობაში, ე.ი. ძირითადად ადგილობრივი მრეწველობის ობიექტები. 1988 წლის შემდეგ, დამოუკიდებლობის აღდგენის პირველივე წლებიდან, ელექტროენერჯის მოხმარება ყოველწლიურად მცირდებოდა. 1994 წელს, მიახლოებითი შეფასებით, სულ მოხმარებული იყო 7-8 მილიარდი კვტ.სთ. ელექტროენერჯია, რომლის 25-30% იმპორტირებული იყო მეზობელი სახელმწიფოებიდან, კერძოდ, სომხეთიდან, აზერბაიჯანიდან და თურქეთიდან. ენერჯეტიკისა და ჰიდრონაგებობათა სამეცნიერო ინსტიტუტის იმდროინდელი გაანგარიშებით 2000 წლისათვის საქართველოს წელიწადში დასჭირდებოდა მინიმუმ 15 მილიარდი კვტ.სთ. ელექტროენერჯია იმისათვის, რომ სახალხო-სამეურნეო კომპლექსი ნორმალურად ამუშავებულიყო და დაკმაყოფილებულიყო მოსახლეობის მინიმალური საყოფაცხოვრებო მოთხოვნები. ასეთი პროგნოზი ითვალისწინებდა ელექტროენერჯის დიდი რაოდენობით, დაახლოებით 6 მილიარდ კვტ.სთ., იმპორტს. იგივე პერიოდისათვის, ევრო გაერთიანების ტექნიკური დახმარების საბჭოს ექსპერტთა გაანგარიშებით, საქართველოსათვის საკმარისი იქნებოდა 12 მილიარდი კვტ.სთ. ენერჯია, ანუ დაახლოებით იმდენი, რასაც დღეს მოვიხმართ წელიწადში. თუმცა, ეს შეფასება გულისხმობდა ენერგოდამზოვი ტექნოლოგიების დანერგვას და ფართოდ გამოყენებას მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში, რაც დღემდე მიუღწევად ამოცანად რჩება.

წარსულის მწარე გამოცდილებიდან გამომდინარე ბევრისათვის აშკარა გახდა, რომ შემდეგ უძლებელია ქვეყნის სრული დამოუკიდებლობის მიღწევა ენერჯეტიკული დამოუკიდებლობის გარეშე. ცხადია, რომ ამ, ქვეყნისათვის სასიცოცხლო მნიშვნელობის მქონე პრობლემის, გადაწყვეტის ძირითადი ფაქტორია იმ ენერჯეტიკული რესურსის რაციონალურად გამოყენება, რომელიც საქართველოს გააჩნია. ბუნებრივია, რომ ჩვენი მთავარი სიმდიდრეა ჰიდრო რესურსი, რომელის პოტენციალის ხელახალი გადაფასება დღეს მწვავე კამათის საგანს წარმოადგენს, რაც, ჩემი შეხედულებით, მიმდინარეობს ადრე დაგროვებული ინფორმაციის მიმართ ნიჰილისტური დამოკიდებულების ფონზე. ამის მთავარ მიზეზად მიმაჩნია აშკარა ფაქტი, რომ დისკუსიაში ჩართული ადამიანების უმეტესობას გააჩნია კომპეტენციის დეფიციტი ენერჯეტიკის სფეროში. ასეთი ვითარებას ორი წყარო კვებავს: *ნიჰილიზმი საბჭოთა ეპოქის სამეცნიერო-ტექნიკური მემკვიდრეობისადმი და ვულგარული, რამის ინფანტილიზმამდე მისული, დეტერმინიზმი ფუნდამენტალური საკითხების ანალიზის პროცესში*. იმისათვის, რომ არ გავცდეთ მოცემული მოკლე მიმოხილვის კონკრეტული მიზანს, მოვიშველიოთ გარკვეული რეტროსპექტიული ინფორმაცია, რომელიც მნიშვნელოვნად ადასტურებს ზემოთ მოყვანილი თეზის სამართლიანობას. კერძოდ, ადრეული, მეტად გადაჭარბებული ოპტიმისტური შეფასებებით, საქართველოს მთლიანი ჰიდროენერჯო რესურსი წელიწადში თეორიულად 100 მილიარდ კვტ.სთ ელექტრული ენერჯიის ექვივალენტს შეადგენდა. თუმცა, იმთავითვე, სპეციალისტების ერთი ნაწილის შეხედულებით, უფრო რეალურად მიჩნეული იყო პოტენციალური 80-60 მილიარდი კვტ.სთ., რომელიც უმცირესი მდინარეების პოტენციალის ჩათვლით შეიძლება კიდევ მაქსიმუმ 5-6%-ით გაზრდილიყო. ამრიგად, ითვლებოდა, რომ ჩვენს მდინარეებს თეორიულად შეეძლოთ დაახლოებით ხუთჯერ მეტი ელექტროენერჯის მოცემა, ვიდრე საქართველომ მოიხმარა 1988 წელს. ცხადია, რომ იმ დროს ასეთი პროგნოზი საქართველოს ჰიდროენერჯეტიკული ბაზის უზარმაზარ რეზერვებზე მიუთითებდა. ამასთან, აღინიშნებოდა უცილობელი ფაქტი, რომ რესპუბლიკის ტერიტორიაზე ჰიდრორესურსები არანათანაბრად იყო განაწილებული. კერძოდ, ითვლებოდა, რომ მთლიანი პოტენციალიდან დაახლოებით 60 მილიარდი კვტ.სთ. მოდიოდა დასავლეთ საქართველოზე (73%), ხოლო 30 მილიარდი კვტ.სთ.- აღმოსავლეთზე (27%). ამასთან, არსებობდა სპეციფიკური პირობა, რომელიც გათვალისწინებული უნდა ყოფილიყო ჰიდრორესურსების ათვისების პროცესში. საქმე იმაშია, რომ საქართველოს მდინარეებისათვის დამახასიათებელია

ჩამონადენის ძლიერი ვარიაციები წელიწადის განმავლობაში. ეს გამოწვეულია იმით, რომ მდინარეთა აბსოლუტური უმრავლესობა სათავეს იღებს მთებში, ე.ი. მათი ჰიდროპოტენციალი დამოკიდებულია თოვლის დნობის პროცესზე. ბუნებრივია, რომ ასეთი მდინარეები წყალუხვია გაზაფხულზე და ზაფხულის დასაწყისში, ხოლო წყალმცირე - ზამთარში. ცნობილია, რომ დასავლეთ საქართველოს ჰიდრო პოტენციალის ძირითადი ნაწილი მოდის ოთხ დიდ მდინარეზე: რიონზე, ენგურზე, ბზიფზე და კოდორზე. მათი ჩამონადენი გაზაფხულსა და ზაფხულში შეადგენს დასავლეთის რეგიონის წლიური ჩამონადენის 70%-ს. ეს გარემოება მნიშვნელოვნად ართულებს ამ მდინარეების ენერგო პოტენციალის ეფექტურ ათვისებას, რადგანაც აუცილებელია წყლის ხარჯის რეგულირება სეზონის მიხედვით, რაც შესაძლებელია მხოლოდ საკმაოდ დიდი წყალსაცავების არსებობის პირობებში. ამიტომ, მიჩნეული იყო, რომ პერსპექტივაში სრულიად რეალური იქნებოდა მოკლე ხანში დასავლეთ საქართველოს დიდ მდინარეებზე აგებული ჰიდროელექტრო სადგურებიდან წლის განმავლობაში დამატებით კიდევ მინიმუმ 12 მილიარდი კვტ. სთ. ენერჯის მიღება. ამავე პროგნოზის მიხედვით, ჩამონადენის სიდიდეზე იგივე სეზონური დამოკიდებულების პირობებში, შავი ზღვის აუზის მდინარეებთან შედარებით ნაკლებად წყალუხვ, აღმოსავლეთ საქართველოს დიდ მდინარეებს წელიწადში პოტენციალურად მხოლოდ 1 მილიარდი კვტ. სთ. ენერჯის მოცემა შეეძლოთ.

რადგანაც მდინარეებში წყლის ხარჯს მკვეთრად სეზონური ხასიათი აქვს, საბჭოთა პერიოდში ჰიდრო ენერგეტიკოსები აუცილებლად მიიჩნევდნენ დიდი წყალსაცავების შექმნას, რაც უმეტესად, კასკადური პრინციპით უნდა განხორციელებულიყო. მარტივად რომ ვთქვათ, ჰიდროელექტროსადგურების მაქსიმალური დატვირთვის რეჟიმში ექსპლოატაციის უზრუნველსაყოფად უნდა არსებობდეს ისეთი სისტემა, როდესაც წყალდიდობის დროს ხდება წყალსაცავების შევსება, ხოლო წყალმცირობისას - დაგროვილი წყლის ხარჯვა. ამასთან, წყალსაცავების კასკადების არსებობის შემთხვევაში ერთი და იგივე წყლის მასა მრავალჯერ იქნება გამოყენებული ელექტროენერჯის მისაღებად, რითაც მიღწეული იქნება ოპტიმალური ეკონომიური ეფექტი. აქ იგულისხმება, რომ გაჩნდება საშუალება სეზონური, ანუ პიკური ელექტროენერგია, საჭიროების შემთხვევაში, ტრანსფორმირდეს ბაზისურ ენერჯიად. ეს ნიშნავს, რომ, თბოსადგურების მსგავსად, შეიქმნას ჰიდროელექტროსადგურიდან ენერჯის სტაბილური პარამეტრებით ხანგრძლივადიანი მიღების პირობები. რამდენად რეალურია ასეთი პერსპექტივა? გადაჭრით უნდა ითქვას, რომ ამ კითხვაზე ცალსახა პასუხი არ არსებობდა და დღესაც არ არსებობს. თუმცა, არის მეორე კითხვაც: რამდენად არის ეკონომიურად გამართლებული, რომ საქართველომ მომავალში ორიენტაცია აიღოს მხოლოდ ჰიდრო რესურსების ათვისებაზე? ამ კითხვაზე პასუხი არაკორექტული იქნება, თუ ობიექტურად არ შეფასდა ჰიდროენერგეტიკის ალტერნატიული, ენერჯის დამატებითი წყაროების უფრო ფართოდ გამოყენების პერსპექტიული შესაძლებლობები. ასეთი ალტერნატიული ვარიანტებიდან, ქარისა და მზის ენერჯის სიმძირის გამო, დღეს რეალურია ორი: 1) ახალი თბოელექტროსადგურების აგება და არსებულების ექსპლოატაცია, ძირითადად იმპორტული მანუთისა და აირის ხარჯზე, საკუთარი ქვანახშირის დამატებით; 2) ელექტროენერჯის შესყიდვა მეზობელი სახელმწიფოებიდან (აზერბაიჯანი, რუსეთი, თურქეთი). ცხადია, რომ როგორც პირველი, ასევე მეორე ვარიანტის განხილვისას პირველ რიგში მხედველობაში უნდა მივიღოთ საერთაშორისო ბაზარზე არსებული ფასები საწვავ რესურსებზე და ელექტროენერჯიაზე. მაგალითად: დღეს მანუთი ღირს დაახლოებით 300-400 დოლარი ერთი ტონა, ბუნებრივი აირი – 200-250 დოლარი 1000 კუბური მეტრი, რასაც კიდევ ემატება სატრანსპორტო ხარჯები, ამიტომ, საქართველოს თბოელექტროსადგურებში მიღებული ერთი კვტ.სთ. ენერჯის საბაზრო ფასი დაახლოებით 8-10 ცენტის ფარგლებშია. დაახლოებით ამდენივე ღირს იმპორტირე-

ბული ელექტროენერგია, მაშინ როდესაც ჰიდროელექტრო სადგურებზე გამომუშავებული ელექტროენერგია როგორც მინიმუმ, 3-4 ჯერ უფრო იაფი ჯდება. ცალკეული ჰესების ენერჯის ზუსტი ღირებულების გარკვევა შეუძლებელი აღმოჩნდა, თუმცა ცნობილია, რომ ენერჯისზე გამომუშავებული ერთი კვტ. სთ. ორ თეთრზე ნაკლები ჯდება. ბუნებრივია, რომ ენერჯის ღირებულება დამოკიდებულია ჰიდროელექტროსადგურებისა და წყალსაცავების მშენებლობისათვის საჭირო მნიშვნელოვან კაპიტალ დაბანდებებზე და მათი ექსპლოატაციის ხარჯებზე. ზოგადად ითვლება, რომ სწორი ექსპლოატაციის შემთხვევაში კაპიტალური დანახარჯები მოკლე დროში (დაახლოებით შვიდ წელიწადში) უნდა ანაზღაურდეს, რაც ახალი ჰესების მშენებლობისათვის მეტად მნიშვნელოვან სტიმულად უნდა ჩაითვალოს. მითუმეტეს, რომ, მიუხედავად ჰიდრორესურსებით განსაკუთრებული სიმდიდრისა, მათი ათვისების დონით საქართველო საგრძნობლად ჩამორჩება მსოფლიოს განვითარებულ ქვეყნებს. ამ მხრივ გასაოცარ შედეგს მიაღწიეს ნორვეგიაში, რომელიც საქართველოს მსგავსად ჰიდრორესურსებით მდიდარი ქვეყანაა და ამჟამად პირველ ადგილზეა მსოფლიოში ერთ სულ მოსახლეზე ელექტროენერჯის გამომუშავებით. კერძოდ, ტექნიკური ჰიდრორესურსების ათვისების დონე 1988 წელს საქართველოში იყო პოტენციური შესაძლებლობის მხოლოდ 11%. დამოუკიდებლობის მიღების შემდგომ პერიოდში, ახლად აგებული რამდენიმე საშუალო და მცირე სიმძლავრის ელექტროსადგურის დამატების შემდეგ, ეს დონე ნაკლებად თუ შეიცვლებოდა. შედარებისათვის, 1988 წელს საფრანგეთში ათვისებული იყო ტექნიკური ჰიდრორესურსების 90%, გერმანიაში - 75%, იაპონიაში - 64%, კანადაში - 51%, აშშ-ში - 46%.

ჰიდრორესურსებისაგან განსხვავებით, საქართველოს არ გააჩნია ენერგეტიკაში აუცილებელი ნავთობისა და ბუნებრივი აირის სერიოზული მარაგები, თუმცა მათი დაზვერვა საბჭოთა ეპოქის შემდეგაც სისტემატიურად მიმდინარეობს. ამ მიმართულებით პერსპექტივასთან დაკავშირებით არსებობს განსხვავებული შეფასებები. კერძოდ, დროდადრო ჩნდება იმედი, რომ უახლოეს მომავალში საქართველო დაიკმაყოფილებს ნედლ ნავთობზე მთლიანი მოთხოვნილების ნახევარს მაინც, ანუ არანაკლებ ერთ მილიონ ტონას წელიწადში. არსებული მონაცემებით, საქართველოს ამჟამად გააჩნია დაახლოებით 12 მილიონი ტონა ნავთობის რესურსი, ხოლო ოპტიმისტური პროგნოზით, თუ შავი ზღვის სანაპირო შელფზე აღმოჩნდება ნავთობი, ეს ციფრი რამდენიმე ათეულჯერ შეიძლება გაიზარდოს და 500 მილიონ ტონას მიაღწიოს. დღეს ეს ოცნებას უფრო ჰგავს, ვიდრე რეალობას. რაც შეეხება ბუნებრივ აირს, ვარაუდობენ, რომ ჩვენი წიაღი მას შეიცავს 2-დან 100 მილიარდ კუბურ მეტრამდე, თუმცა დღემდე საქართველოში გაზის სამრეწველო მოპოვება არ განხორციელებულა. გარდა ნავთობისა; გარკვეული პერსპექტივა გააჩნია, აგრეთვე, გეოთერმული წყლების მოპოვებას და მათ სამრეწველო ექსპლოატაციას. სპეციალისტების აზრით, სრულიად შესაძლებელია წელიწადში 200-250 მილიონი კუბური მეტრი თერმული წყლების მოპოვება არც თუ დიდი სიღრმეებიდან, რომელთა ტემპერატურა 50-100 გრადუსია. ამ მხრივ განსაკუთრებით მდიდარია სამხრეთი საქართველო, ისტორიული სამცხე, სადაც დაზვერილი თერმული წყლების საბადოების სავარაუდო სიღრმე 3კმ-ს არ აღემატება, თანაც, წყალი გადაჯერებულ ორთქლს შეიცავს. ეს საკმარისია ამ რეგიონში საკმაოდ მძლავრი თბოელექტროსადგურის მუშაობისათვის. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ თბილისის მიდამოებიც საკმაოდ მდიდარია თერმული წყლებით, რაც საფუძველს ქმნის მათი უფრო ინტენსიურად გამოყენებისათვის მოსახლეობის საყოფაცხოვრებო საჭიროებების დასაკმაყოფილებლად. ავლნიშნავთ, რომ თუ სრული დატვირთვით მოხდება გეოთერმული წყლების საბადოების ექსპლოატაცია, ზოგიერთი ექსპერტის შეფასებით მიღწეული იქნება ისეთი ენერგეტიკული ეფექტი, რომელიც არანაკლებ 1,3-1,5 მილიონი ტონა პირობითი საწვავის ექვივალენტურია.

ბუნებრივი რესურსებიდან საქართველოს ყველაზე მეტი ოდენობით გააჩნია საკმაოდ დაბალი ხარისხის ქვანახშირი. ექსპერტთა შეფასებით, მისი მარაგი ტყიბულში, ტყვარჩელში და ახალციხეში 700 მილიონ ტონას აღწევს. საბჭოთა კავშირის არსებობის ბოლო წლებში საქართველოში მოპოვებული ქვანახშირის ოდენობამ წელიწადში თითქმის ერთი მილიონი ტონა შეადგინა, ხოლო დღეს იგი მეტად უმნიშვნელო რაოდენობით მხოლოდ ტყიბულში მოიპოვება. სპეციალისტებს მიაჩნიათ, რომ აქ სრულიად რეალურია ქვანახშირის მოპოვებამ წელიწადში 2 მილიონ ტონას მიაღწიოს, ოღონდ ამისათვის საჭირო იქნება საბადოების სრული ტექნიკური მოდერნიზაცია, რასაც მნიშვნელოვანი კაპიტალდაბანდება სჭირდება. ავღნიშნავთ, რომ 1 მილიონი ტონა მურა ნახშირით თბოელექტროსადგურს წელიწადში დაახლოებით 1 მილიარდი კვტ. სთ. ენერჯის გამომუშავება შეუძლია. ვინაიდან საქართველო ქვანახშირით არც ისე მდიდარია, გამართლებული იქნება მისი არაპირდაპირი მოხმარება, ანუ გარდაქმნა აირად და თხევად პულპად, რაც ეკოლოგიურად გამართლებს მის გამოყენებას.

ბევრს მიაჩნია, რომ თანამედროვე ტექნოლოგიურ ფაქტორთა შორის, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ საქართველოს ენერგეტიკული დამოუკიდებლობა, განსაკუთრებული როლი შეიძლება შეასრულოს ქარისა და მზის ენერჯიამ. ზოგადად, ეს იდეა ყოველმხრივ მიმზიდველია, თუმცა, მისი ფართო მასშტაბიანი რეალიზაცია შორეული პერსპექტივის საგანია. ეს რომ ასეა, სრულიად მარტივად მტკიცდება: დღეს მსოფლიოში ქარის ენერჯით გამომუშავებული ელექტროენერჯის წილი გლობალურ გამომუშავებაში 5-6% შეადგენს, ხოლო მზის ბატარეების წილი 2-2.5%. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ ელექტროენერჯის წილი მსოფლიო ენერჯო მოხმარების დაახლოებით 40%-ია, ანუ ნახევარზე ნაკლები. ბუნებრივია, რომ ეს პროპორცია შეუქცევადად იზრდება ელექტროენერჯის სასარგებლოდ მიუხედავად ამ პროცესის თანმდევი სირთულეებისა. კერძოდ, როდესაც განახლებადი და არაგანახლებადი ენერგეტიკული რესურსების პრობლემას ვიხილავთ, პირველ რიგში უნდა აღინიშნოს, რომ უმთავრესი სირთულე, რომელიც თანახლავს არატრადიციული განახლებადი წყაროების გამოყენებას, მდგომარეობს მათ მიერ გამომუშავებული დენის პარამეტრების სამრეწველო მოხმარებისათვის აუცილებელ სტანდარტამდე მიყვანაში. ეს მოითხოვს მაღალი ღირებულებისა და მნიშვნელოვანი ზომების მქონე გარდაქმნელ დანადგარებს, ელექტრული ენერჯის სპეციალურ კოლექტორებს რთული გადამცემი ქსელებით და ელექტრული ენერჯის მოკლე და ხანგრძლივადიანი აკუმულაციის დანადგარებს. მაგალითად, ქარის ელექტროგენერატორებისათვის დამახასიათებელი არათანაბარი გამომუშავების სტაბილიზაციისა და მათი ავტონომიურ რეჟიმში გამოყენებისათვის უნდა არსებობდეს დაზღვევა ელექტრული სადგურის ან ელექტრული ენერჯის აკუმულირების სპეციალური სასაწყობო სისტემის საშუალებით. გასათვალისწინებელია, რომ ასეთ სისტემაში ტრადიციული დენის ტრანსფორმატორების ჩართვა მნიშვნელოვან ენერგეტიკულ დანაკარგებთან იქნება დაკავშირებული, იმ შემთხვევაშიც კი, თუ განიხილება ეკონომიკურად უფრო მომგებიანი გიგანტური ქარის ელექტრო “წისქვილების” დიდი “პლანტაცია”. ამიტომ, ერთეული ან რამდენიმე ქარის გენერატორისაგან შემდგარი სისტემის შემთხვევაში ეკონომიურად უფრო გამართლებულია ელექტროენერჯის ლოკალური საყოფაცხოვრებო მიზნებისათვის გამოყენება. ასევე, შესაძლებელია ელექტროენერჯის აკუმულირება სხვადასხვა ტიპის ბატარეებში, გამოყენება წყალბადის წარმოებაში ან გარდაქმნა შეკუმშული ჰაერის ენერჯიაში, ან ისეთ პროდუქტში, რომლის შენახვა შესაძლებელია რეზერვუარებში და ა.შ. თუმცა, ელექტროენერჯის ასეთი გარდაქმნის თვითღირებულება ჯერ-ჯერობით საკმაოდ მაღალია. ამიტომ, სამრეწველო საჭიროებისათვის გამოსადეგი არატრადიციული განახლებადი ენერჯის წყაროებით მიღებული დენის ფასი, ტრანსფორმაციის ხარჯების გათვალისწინებით, არც თუ შორეულ წარსულში აღწევდა 40-70 ამე-

რიკულ ცენტს ერთი კვტ.სთ. ენერჯიაზე. დღეს ეს ფასი რამდენიმეჯერ არის შემცირებული, რაც განპირობებულია მზისა და ქარის ელექტროგენერატორების ტექნოლოგიების სფეროში საწარმოო ხარჯების მნიშვნელოვანი შემცირებით. მაგალითად, 2019 წლის მონაცემებით, განახლებადი წყაროების ერთი კვტ.სთ. ელექტროენერჯიის საშუალო მსოფლიო ღირებულებამ დაახლოებით 7-11 ცენტი შეადგინა. აშკარაა, რომ ეს მონაცემები არ შეიძლება საყოველთაოდ საიმედოდ მივიჩნიოთ და დროთა განმავლობაში ის დაზუსტდება. მმანამდე კი სტანდარტად შედარებისათვის შესაძლებელია მივიჩნიოთ ელექტროენერჯიის საშუალო ფასი მოსახლეობისათვის წამყვან ქვეყნებში. მაგალითად, გერმანიაში ბოლო წლებში ის შეადგენდა 28--22 ევროცენტს კვტ.სთ-ზე, რაც დაახლოებით 3-4 ჯერ აღემატება ღირებულებას საქართველოში. აქედან გამომდინარეობს, რომ დღეს ალტერნატიული წყაროების გამოყენებით მიღებული ელექტროენერჯია ეკონომიურად უფრო მომგებიანი იქნება მდიდარი ქვეყნებისათვის, ვიდრე ღარიბებისათვის. საქმე იმაშია, რომ ტექნოლოგიური თვალსაზრისით დანახარჯები ორივე შემთხვევაში ერთნაირია გარდა სახელფასო ხარჯებისა, რაც მცირე ფარგლებში შეიძლება იცვლებოდეს. ამიტომ აზრი, რომ ქარის ენერჯია საქართველოს მთლიან მასშტაბში ჰიდროენერჯეტიკის რეალურ, ეკონომიურად გამართლებულ ალტერნატიულ წყაროს წარმოადგენს, მინიმუმ საკამათოა და შეიძლება არც თუ საფუძვლიანი იყოს. მაგრამ, ისე, როგორც ეს მსოფლიოში საყოველთაოდ არის მიჩნეული, საქართველოშიც მზე და ქარი, როგორც ელექტრული ენერჯიის გენერაციის წყაროები, ლოკალურ მასშტაბებში მეტად ხელსაყრელია. პირველ რიგში ეს ეხება მცირე აგლომერაციებს, აგრეთვე ინდივიდუალური განსახლების ადგილებს. ურბანული დატვირთვის სპეციფიკური განაწილების თვალსაზრისით საქართველო საკმაოდ მოხერხებული ქვეყანაა, რადგანაც აქ, სოფლების მსგავსად, ქალაქების გარეუბნებში მრავლად არის კერძო სახლები. რაც მთავარია, საქართველოში არსებობს შესაფერისი ბუნებრივი პირობები მზის და ქარის ენერჯიის განსაკუთრებით ეფექტურად გამოყენებისათვის. კერძოდ, მრავალწლიანი დაკვირვებების მონაცემების საფუძველზე შექმნილია საქართველოს ტერიტორიაზე ქარების განაწილების კადასტრი, ანუ ქარების გაბატონებული მიმართულებებისა და მახასიათებელი სიჩქარეების საკმაოდ დეტალური რუქა, რომლის მიხედვით შესაძლებელია ოთხი განსხვავებული ტიპის ზონის გამოყოფა:

1. განსაკუთრებით მაღალი მახასიათებელი სიჩქარის მქონე ქარების ზონა, რომელსაც განეკუთვნებიან: ქედების ღია გადასასვლელები, თხემები, პლატოები; სამხრეთ საქართველოს მთიანეთი; კახაბერის დაბლობი აჭარაში და კოლხეთის დაბლობის ცენტრალური ნაწილი;
2. ნელსვლიანი და ნაწილობრივ სწრაფსვლიანი ქარის ელექტრო გენერატორების ეფექტური ექსპლოატაციის ზონა, რომელიც მოიცავს: მტკვრის ხეობას მცხეთიდან რუსთავამდე, ჯავახეთის მთიანეთის სამხრეთ ნაწილსა და შავი ზღვის სანაპირო ზოლს ფოთიდან კახაბერის ვაკემდე;
3. ნელსვლიანი ენერჯეტიკული დანადგარების ეფექტური ექსპლოატაციის ზონა: გაგრის ქედი, კოლხეთის დაბლობის პერიფერიები, აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობები;
4. ნელსვლიანი ენერჯეტიკული დანადგარების შეზღუდული გამოყენების ზონა: იორის ზეგანი და სიონის წყალსაცავის მიმდებარე ტერიტორია.

ამრიგად, საქართველოს ტერიტორიის მნიშვნელოვანი ნაწილი ქარის ენერჯეტიკული დანადგარების მონტაჟისათვის საკმაოდ შესაფერისია.

დადგმული სიმძლავრეების მიხედვით ქარის ელექტროგენერატორი შეიძლება იყოს: მცირე (1-10 კვტ), საშუალო (10-100 კვტ) და დიდი (100 კვტ-ზე მეტი). საქართველოში, თეორიულად, სხვადასხვა ტიპის ელექტრო გენერატორების სავარაუდო პოტენციურმა ჯამურმა სიმძლავრემ, ყველა ზონის სრული ათვისების შემთხვევაში, შეიძლება თეორიულად მიაღწიოს 600-700 მეგავატს საათში, რაც დაახლოებით ენგურის ჰესის პიკური სიმძლავრის თანაზომადია.

თუმცა, თუ რეალურად ვიმსჯელებთ, საქართველოში ქარის საშუალებით წელიწადში შეიძლება გამოიმუშავებულ იქნას 250-500 მილიონი კვტ.სთ. ანუ 250-500 გვტ.სთ. (გიგა ვატებში) ელექტროენერგია. ეს არც თუ ისე მცირე სიდიდეა, თუ მას შევადარებთ ენგურის ჰესის წლიურ საპროექტო გამოიმუშავებას 4380 გვტ., რომელიც მიღებულია საშუალო სიმძლავრისათვის 500 მგტ.სთ. შეიძლება მოვიყვანოთ კიდევ ერთი შედარება: დაუზუსტებელი მონაცემებით დღეისათვის დედამიწაზე ქარის ენერგეტიკული დანადგარების ჯამური სიმძლავრე საკმაოდ მცირეა და გლობალური გამოიმუშავებული ელექტროენერგიის დაახლოებით 5% შეადგენს. თეორიულად, საქართველოსათვის ეს პარამეტრიც, ჯამური გენერაციის დღევანდელ დონესთან მიმართებაში, დაახლოებით 3-6% იქნებოდა.

ქარისა და ბიოენერგეტიკული დანადგარებისაგან განსხვავებით, მზის ენერგიის გარდამქმნელი აგრეგატების ეფექტური მუშაობა მთელი წლის განმავლობაში შეუძლებელია. საქართველოში წელიწადში საშუალოდ 250 მზიანი დღეა, მაგრამ მზის გამოსხივების ენერგიის უდიდესი ნაწილი ჩვენთან მოდის მარტ-ოქტომბრის პერიოდზე. ამრიგად, თბომომარაგებისათვის მზის ენერგეტიკული სისტემების გამოყენება საქართველოში შეიძლება დაახლოებით რვა თვის განმავლობაში. ნოემბერ-თებერვალში, როდესაც ენერგეტიკული თვალსაზრისით ყველაზე უფრო დამაბული პერიოდია, მზის გამოსხივების ინტენსივობა იმდენად დაბალია, რომ მისი გამოყენება დაბალეფექტური იქნება ტექნიკური მიზეზების გამო. მიახლოებითი გაანგარიშებით, რომლის სანდოობა სავარაუდოა და გადამოწმებას მოითხოვს, საქართველოს პირობებში შესაძლებელია მზის ენერგიის კოლექტორის ყოველი კვადრატული მეტრიდან წლის განმავლობაში მიღებულ იქნას 100-150 კვ. პირობითი საწვავის შესაბამისი ენერგია. თუ მზის დანადგარების (პანელების) ღირებულება მომავალშიც ისეთივე მაღალი იქნება, როგორც დღეს, მზის ენერგეტიკის პერსპექტივა საქართველოში არც თუ სახარბიელოდ მოსჩანს. ასეთ შემთხვევაში ის ცალკეული ენთუზიასტების მოქმედების არედ დარჩება. ითვლება, რომ ჩვენს პირობებში მზის ენერგიის გამოყენება შეიძლება ეკონომიკურად ეფექტური იყოს მხოლოდ დაბალ ტემპერატურული თბომომარაგებისათვის. რაც შეეხება მზის ენერგიის სამრეწველო მასშტაბებში გამოყენებას, ის დაკავშირებულია ელექტროენერგიის მნიშვნელოვანი ოდენობის აკუმულაციის (რეზერვაციის) პრობლემასთან - როგორც ჩანს, ჩვენთან ეს ეკონომიკურად გაუმართლებელი იქნება დიდი თვითღირებულების გამო.

როდესაც ენერგიის არატრადიციულ განახლებად წყაროებზე ვმსჯელობთ, აუცილებლად უნდა შევხებით ბიოენერგეტიკის შესაძლებლობებს. ამკარა, რომ ჩვენი კლიმატური პირობები საკმაოდ შესაფერისია ბიომასის დიდი რაოდენობით წარმოებისათვის. მისასაღმებელია, რომ ზოგი ენთუზიასტი იშვიათი მონდომებით ახდენს ბიოგაზის მიმღები დანადგარების პოპულარიზაციას, რასაც გარკვეული ეკონომიკურ-ტექნიკური საფუძვლები გააჩნია. განსაკუთრებით პერსპექტიულია ბიოგაზის დანადგარები მთიანეთის პირობებში, სადაც მესაქონლეობა მოსახლეობის საქმიანობის ტრადიციულ სახეს წარმოადგენს. გამოთვლილია, რომ თუ ოჯახს 6-8 მსხვილფეხა რქოსანი პირუტყვი ჰყავს, მათი ნაკელი საკმარისი იქნება შიდა მეურნეობის ენერგეტიკული უზრუნველყოფისათვის. ისიც არის გასათვალისწინებელი, რომ ბიოაგრეგატში გამოიმუშავებული ნარჩენები შესანიშნავ სასუქს წარმოადგენს, რაც ბიოლოგიურად სუფთა მეურნეობის წარმოებისათვის აუცილებელია. შეიძლება დარწმუნებით ითქვას, რომ ბიოგაზის წარმოების ტექნოლოგია იმდენად მარტივია და ამავე დროს ეკონომიკურად იმდენად ხელმისაწვდომი, რომ, სავარაუდოდ, ახლო მომავალში ბიოაგრეგატები ფართო გავრცელებას ჰპოვებენ საქართველოს სოფლებში. რაც შეეხება საწვავი ტორფის წარმოებას: ეს საკითხი ჯერ კიდევ არ არის ჯეროვანი სიღრმით შესწავლილი. თუმცა, ცნობილია, რომ კოლხეთის დაბლობი ამ

ნედლეულით საკმაოდ მდიდარია. ბიო ნარჩენების მსგავსად, ტორფიც ძვირფას მინერალურ სასუქს წარმოადგენს.

შეიძლება თუ არა საქართველოს პირობებში ისე ვაწარმოოთ ახალი ენერგეტიკული ობიექტების მშენებლობა, ან უკვე არსებულის ექსპლოატაცია, რომ მინიმუმამდე დავიყვანოთ ნეგატიური ზემოქმედება გარემოზე? მსოფლიო გამოცდილება გვიჩვენებს, რომ, სათანადო სურვილისა და დაფინანსების შემთხვევაში, შესაძლებელია დასაშვებ ფარგლებამდე დავიყვანოთ, ან სულაც მთლიანად ავიცილოთ, ტექნოგენური ზემოქმედება ბუნებრივ წონასწორობაზე. მაგალითისათვის განვიხილოთ წყალსაცავების მშენებლობა. საკითხი, თუ რამდენად საჭიროა საქართველოს მასშტაბებით დიდი წყალსაცავები, განსაკუთრებით პრინციპული დავის საგანი გახდა ჯერ კიდევ საბჭოთა ეპოქიდან მოყოლებული. რამდენიმე ათწლეულის წინ დაწყებული გაცხარებული პოლემიკა ერთის მხრივ, ენერგეტიკოსებსა და ჰიდრომშენებლებს, ხოლო, მეორეს მხრივ, ბუნების დამცველებს შორის, კვლავ მთელი ძალით გაღვივდა ჯერ ხუდონის, დღეს კი ნამოხვანჰესის პროექტთან დაკავშირებით. გავიხსენოთ, რომ საქართველოს ჰიდრორესურსებს ახასიათებს სეზონური ცვლილებები, რაც დაკავშირებულია შემოდგომა-ზამთრის პერიოდში მდინარეთა ჩამონადენის მკვეთრ შემცირებასთან. იმისათვის, რომ დაიფაროს წყლის დეფიციტი, უნდა ხდებოდეს მისი აკუმულირება ხელოვნურ რეზერვუარებში. წყალსაცავები საშუალებას იძლევა ჰიდროელექტროსადგურებზე შევინარჩუნოთ ელექტროენერჯის გამომუშავების მეტ-ნაკლებად სტაბილური დონე. ეს ნიშნავს, რომ, გარდაუვალი აუცილებლობის შემთხვევაში, იარსებებს შესაძლებლობა, რომ ჰესები გამოვიყენოთ არა მარტო ენერჯიაზე პიკური მოთხოვნილებების დასაფარავად, არამედ, საჭიროების მიხედვით, გარკვეული დროის განმავლობაში, ისინი ვამუშაოთ ბაზისურ რეჟიმში. გავიხსენოთ, რომ ახლო წარსულში, საშინელი ენერგეტიკული კრიზისის დროს, ბაზისურ რეჟიმში მომუშავე ენგურჰესი აღმოჩნდა ფაქტიურად ქვეყნის გადამრჩენელი სრული ეკონომიკურ-სოციალური კოლაფსისაგან. ეს მაგალითი საკმარისია იმისათვის, რომ გავიგოთ ენერჯო სისტემის სტაბილურობის მნიშვნელობა, მით უმეტეს მაშინ, როცა დადგმული სიმძლავრეები ქვეყნის მოთხოვნილებას ელექტროენერჯიაზე მინიმალურადაც ვერ აკმაყოფილებს. ამიტომ, თუ ენერგეტიკული პრობლემის ჩვენი ძალებით გადაწყვეტა მართლაც გვიწევს, საქართველოში ან უნდა შეიქმნას თბოელექტროსადგურების ძლიერი ბაზა, ან უნდა აშენდეს ახალი, საკმაოდ მძლავრი ჰესები, რომლებიც, საჭიროების შემთხვევაში, გარკვეული დროის განმავლობაში, ბაზისურ რეჟიმში იმუშავენ. მაგრამ, ძნელი წარმოსადგენია, თუ როგორ შევძლებთ თანამედროვე, მძლავრი ჰიდროენერგეტიკული ობიექტების შექმნას, საკმაო მოცულობის მქონე, წყლის ხარჯის მარეგულირებელი წყალსაცავების გარეშე. თუმცა, ჰიდროტექნიკურ ნაგებობათა შორის ყველაზე მეტად, სწორედ წყალსაცავები ახდენენ ტექნოგენურ დაწოლას გარემოზე. ბუნებრივია, რომ მათ პროექტირებისას მაქსიმალურად მკაცრად უნდა იყოს გათვალისწინებული ეკოლოგიური მოთხოვნები, ხოლო იმ ადამიანებმა, რომელთა საცხოვრებელ გარემოს უშუალოდ შეეხება მშენებლობა, უნდა მიიღონ ღირსეული კომპენსაცია.

საქართველო ღარიბია ბუნებრივი შიდა წყალსატევებით. ჩვენს ტერიტორიაზე სულ 200-მდე ბუნებრივი ტბაა, თანაც ძირითად ძალიან მცირე ზედაპირული ფართის მქონე. ხელოვნური წყალსაცავების ზომებიც არც თუ ისე დიდია. ბუნებრივია, რომ როცა კაშხალის საშუალებით ხდება მდინარის კალაპოტის გადაკეტვა და წყლის დატბორვა, იკარგება ჩვენი, ისედაც მცირემდიწიანი ქვეყნისათვის სასარგებლო, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულები და ხშირ შემთხვევაში წყლით იფარება სოფლები. მოვიშველიოთ მცირე სტატისტიკა, რომელიც უკვე არსებულ ან პერსპექტივაში შესაძლებელ ხელოვნურ წყალსაცავებს ეხება. მაგალითად: ენგურის წყალსაცავმა, რომლის სარკის ზედაპირი 1350 ჰექტარია, დაფარა კიდევ უფრო დიდი ფართის ტყის მასივი;

1150 ჰა ზედაპირის მქონე ჟინვალის წყალსაცავის ქვეშ აღმოჩნდა 326 ჰა სასოფლო-სამეურნეო სავარგული; გალის წყალსაცავმა დაფარა 215 ჰა; ხუდონის წყალსაცავი, თუ კი ის აშენდება, დაფარავს 120 ჰა-ს, ტვიშის - 47 ჰა-ს; ნამახვანისა და ჟონეთის - 250 ჰა-ს. ერთის შეხედვით, ეს ფართები არც თუ დიდია, თანაც ეს წყალსაცავები ძირითადად მდებარეობენ ან გამიზნულნი არიან მთიან ადგილებში ასაგებად. მაგრამ, დატბორვის გარდა, მათი მშენებლობა და ექსპლოატაცია დაკავშირებულია გზების გაყვანასთან, ტყის გაჩეხვასთან და ა.შ. ამიტომაც, წყალსაცავის პრობლემა აუცილებლად უნდა იყოს განხილული კომპლექსურად, რადგანაც სასოფლო-სამეურნეო სავარგულის გარდა წყლით იფარება ტყე-ბუჩქნარიც. მაგალითად, ჟინვალის წყალსაცავმა, სასოფლო-სამეურნეო მიწებთან ერთად, დაფარა დაახლოებით 800 ჰა ტყე, ხოლო ხუდონი დაფარავს არა ნაკლებ 400 ჰა-ს. ეს კი ჯამში უკვე მნიშვნელოვან ფართს შეადგენს. ამიტომ, ყველა წყალსაცავის საპროექტო ხარჯებში, აუცილებლად გათვალისწინებული უნდა იყოს ტყის დანაკარგების, ე.ი. მერქნის რესურსის, კომპენსაცია, ანუ უნდა მოხდეს დანაკარგის ტოლფასი ტყის გაშენების ფინანსირება.

წყალსაცავების მშენებლობას ხშირად თან ახლავს განსაკუთრებით უარყოფითი მომენტი, სოფლების გადასახლება. მაგალითად: თავის დროზე ენგურისა და გალის წყალსაცავების მშენებლობამ გამოიწვია 15 სოფლის გადასახლება. ხუდონჰესისა და ნამახვანჰესის მშენებლობის შემთხვევაში ეს გამოიწვევს ასეულობით ოჯახის აყრას და ახალ საცხოვრებელ გარემოში გადასახლებას. ეს პროცესი დაკავშირებულია პრობლემასთან, რომელიც ცხოვრების ყველა ასპექტს ეხება: სოციალურს, ეთნიკურს, ეკონომიკურს და კულტურულს. ბუნებრივია, რომ გადასახლების პროცესს არ შეიძლება თან არ ახლდეს გარკვეული სოციალური დისკომფორტი, რაც ზოგიერთისათვის ფსიქოლოგიური სტრესის ტოლფასი შეიძლება აღმოჩნდეს. გასაგებია, რომ უკიდურეს შემთხვევაში ფსიქოლოგიურ ზიანს ვერავითარი მატერიალური კომპენსაცია ვერ აანაზღაურებს. მაგრამ, ისიც უნდა ავლნიშნოთ, რომ თუ კომპენსაცია შესაფერისი იქნება ახალ პირობებში ნორმალური ცხოვრებისათვის, მიგრანტთა ოჯახებს, განსაკუთრებით ახალგაზრდებს, გაუჩნდებათ ღირსეული მომავლის პერსპექტივა. ამის გარანტი უნდა იყოს სახელმწიფო, რომელიც ვალდებულია პირველ რიგში დაიცვას მოსახლეობის, ხოლო შემდგომ, მშენებლის ან ჰიდროენერგეტიკული ობიექტის ექსპლოატატორის ინტერესები.

არსებობს აგრეთვე დიდი წყალსაცავების მშენებლობით გამოწვეული, პრაქტიკულად ძნელად კომპენსირებადი, ზარალი, რომელიც მდინარეების იქტო ფაუნას ეხება. ცნობილია, რომ კაშხლები ზღუდავენ თევზის მიგრაციისა და გამრავლების ბუნებრივ გზებს. ამ კუთხით საქართველოს ბუნებამ უზარმაზარი დანაკარგი განიცადა, როდესაც რიონის, ენგურისა და მტკვარის გადაკეტვის გამო უნიკალურ ჯიშებს, მაგალითად, ზუთხსა და ორაგულს, მოესპო ამ მდინარეების სათავეებისაკენ, იქ სადაც მათი ბუნებრივი გამრავლება ხდებოდა, მიგრაციის საშუალება. ამის შედეგად შავმა და კასპიის ზღვებმა თითქმის დაკარგეს უძვირფასესი თევზის ჯიშები. განსაკუთრებით ეს ეხება ატლანტიკურ ზუთხს. პროექტით, ყველა კაშხალს გათვალისწინებული უნდა ჰქონდეს სპეციალური თევზგამტარები. მაგრამ, როგორც წესი, ეს გამტარები ძალიან მალე ისილება ან ქვალორლით იხერგება, რის გამოც ისინი ვეღარ ასრულებენ თავის ფუნქციას. ასევე, მეტად უარყოფითი შედეგები მოაქვს მდინარეთა კალაპოტებში წყლის შემცირებას წყალსაცავების შევსების დროს, რადგანაც შიშვლდება დატბორილი ფართობები და თევზის მიერ დაყრილი ქვირითი იღუპება. მიუხედავად იმისა, რომ, ფორმალურად, ზოგიერთი წყალსაცავის პროექტი ითვალისწინებდა თევზის გასამრავლებელი ხელოვნური საშენების მოწყობას, უმნიშვნელო დაფინანსების გამო ამ მიმართულებით საქართველოში ბევრი არაფერი გაკეთებულა.

განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი მასშტაბების ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ ზარალს იწვევს მდინარეების მყარი ნატანის აკუმულირება ხელოვნურ წყალსაცავებში. სწორედ ეს ქმნის მყარი ნატანის დეფიციტს შავი ზღვის სანაპირო ზოლში. მაგალითად, ენგურის კაშხლის აგებამ გამოიწვია მის შესართავში, ანაკლიასთან სანაპირო ზოლის სწრაფი ტემპებით გამორეცხვა. თავის დროზე მსგავსი რამ მოხდა, მაგალითად, ბიჭვინთის პლიაჟზე, რომელის აღდგენასა და დამაგრებას მნიშვნელოვანი თანხები დასჭირდა. აჭარაში იძულებულნი იყვნენ რამდენიმეჯერ მიემართათ პლიაჟების აღდგენისათვის, რაც გულისხმობს მყარი ნატანის ხელოვნურ ტრანსპორტირებას დარღვეულ სანაპირო ზოლში. დღესაც დიდ შემფოთებას იწვევს აჭარის სანაპიროს მდგომარეობა თურქეთის მხრიდან ჭოროხის დაგუბების გამო. საქმე იმაშია, რომ ამ მდინარეს ყოველწლიურად ჩამოჰქონდა 5,5 მილიონ კუბურ მეტრზე მეტი მყარი ნატანი, რომელიც ახდენდა აჭარის პლიაჟების ფორმირებას. ცხადია, რომ თუ არ მოხდა ამ ინერტული მასის დანაკარგის ხელოვნური კომპენსაცია, აჭარის პლიაჟები დროთა განმავლობაში შეიძლება კრიტიკულ მდგომარეობაში აღმოჩნდეს.

ეკოლოგიური აზრით დიდი წყალსაცავების მიმდებარე ტერიტორიაზე აუცილებლად უნდა მოხდეს კლიმატის ცვლილება, რაც, თავის მხრივ, გავლენას მოახდენს ადგილობრივ მეტეოროლოგიურ პირობებზე და ფლორაზე. არსებობს მსოფლიო მონაცემები, რომლებიც ობიექტურად მეტყველებენ ასეთ ცვლილებებზე განსაკუთრებით დიდი ხელოვნური წყალსაცავების რაიონებში. თუმცა, ჩვენთან, მაგალითად, ენგურის ან ჟინვალის წყალსაცავების გავლენით, კლიმატური და ატმოსფერული გეოფიზიკური პარამეტრების მნიშვნელოვანი ცვლილება არ ფიქსირდება. საზოგადოდ, მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე აპრიორი ცალსახად უარყოფით კონტექსტში ლაპარაკი არაკორექტულია, რადგანაც უნდა გვახსოვდეს, რომ ატმოსფერო არ წარმოადგენს ჩაკეტილ ფიზიკურ (თერმოდინამიკურ) სისტემას. *ამიტომ, ატმოსფერული პარამეტრების მცირე ლოკალურ შემფოთებას არ შეუძლია გამოიწვიოს კატასტროფული შედეგები მასშტაბური კლიმატური ცვლილებების სახით.* ეს ფაქტი სრულად ეხება ჩვენს წყალსაცავებს, რომელთა სარკეების ფართი არც თუ დიდია. მაგალითად: ენგურის წყალსაცავის ფართია 13,5 კვ.კმ, მოცულობა - ერთი კუბური კილომეტრი, ჟინვალისა - 11,5 კვ.კმ და მოცულობა - 0,5 კუბური კილომეტრი. რადგანაც სხვა ჩვენი წყალსაცავების სარკეების ფართი კიდევ უფრო მცირეა, მათ, მით უმეტეს არ შეიძლება გამოიწვიონ მიკროკლიმატის მნიშვნელოვანი ცვლილება. აქ აუცილებლად უნდა აღინიშნოს, რომ გავრცელებული აზრი, თითქოსდა ენგურის წყალსაცავი მიზეზი იყო 1987 წელს დასავლეთ საქართველოში მომხდარი კატასტროფული წყალდიდობისა, არავითარ მეცნიერულ საფუძველს არ ემყარება.

უარყოფითი ეკოლოგიური ზემოქმედების თვალსაზრისით თბოელექტროსადგურები ჰიდროელექტროსადგურებზე არა ნაკლები ზიანის მომტანები არიან. ცნობილია, რომ თესები გარემოში, მავნე გამონაბოლქვთან ერთად, გამოყოფენ სითბოსა და ქიმიურად დაბინძურებულ წყალს. განსაკუთრებით სახიფათოა გამონაბოლქვი, რომელიც შეიცავს მყარ ნაწილაკებს, ე.წ. აეროზოლებს, მაგალითად, გოგირდის დიოქსიდსა და ჟანგეულებს, აგრეთვე ნახშირბადის ჟანგს. 1990 წლის მონაცემებით საქართველოში მრეწველობის მავნე გამონაყოფების 15-20 % მოდიოდა თბოენერგეტიკის ობიექტებზე. ამ მხრივ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანი იყო გარდაბნის რაიონული თბოელექტროსადგურის მუშაობით გამოწვეული დაბინძურება. იმ დროს ქ. რუსთავის მიდამოებში მავნე ნივთიერებების ფონური კონცენტრაცია ჰაერში და ნიადაგში მნიშვნელოვნად აღემატებოდა ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. ცხადია, რომ ამაში არ შეიძლება მარტო თბოელექტროსადგურის "წვლილის" დეტერმინირება, რადგანაც დაბინძურებაში მონაწილეობდა, აგრეთვე, რუსთავში განლაგებული სხვა დიდი სამრეწველო ობიექტები, მეტალურგიული

კომბინატი და აზოტოვანი სასუქების ქარხანა. მაგრამ ლომის წილი მაინც თბოსადგურზე მოდიოდა. ეს გამოავლინა დამოუკიდებლობის შემდგომმა კრიზისულმა წლებმა, როცა რუსთავის საწარმოების მოქმედება მინიმუმამდე დავიდა. ფორმალურად, გარდაბნის თბოსადგურში დამონტაჟებული იყო გამონაბოლქვის გამწმენდი ფილტრები, აგრეთვე, არსებობდა ნამუშევარი წყლის გამწმენდი დამლექავი აუზები. დღესაც ეს თბოსადგური, მიუხედავად მისი მოდერნიზაციისა, გარემოს დამცველთა აზრით, მხოლოდ ნაწილობრივ აკმაყოფილებს ეკოლოგიური უსაფრთხოების მოთხოვნებს.

საქართველოს ჰიდრო ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასება და ეკოლოგიური პრობლემები

კერესელიძე ზ., არზიანი ზ.

რეზიუმე

დღეს ჰიდროენერგეტიკის პრობლემა საქართველოში განსაკუთრებით აქტუალურია. დღევანდელი ვითარება თითქმის ოთხი ათწლეულის წინ განვითარებული პროცესებიდან გამომდინარეობს.

ამიტომ, ბუნებრივია ისმის კითხვა: როგორი იყო საბჭოთა კავშირის არსებობის ბოლო წლებში მოთხოვნილება ელექტროენერგიაზე და რანაირად ნაწილდებოდა იგი საქართველოს სახალხო-სამეურნეო კომპლექსსა და მოსახლეობაზე? საწყის წერტილად მოსახერხებელია ავიღოთ 1988 წელი, როცა ელექტროენერგიის მოხმარებამ მაქსიმუმს მიაღწია. ამ წლის განმავლობაში საქართველომ დახარჯა 18 მილიარდი კვტ.სთ. ენერგია, საიდანაც მსხვილმა მრეწველობამ მოიხმარა 26%, სოფლის მეურნეობამ 6,4%, ტრანსპორტმა - 5%, მშენებლობამ - 2,5%, საყოფაცოვრებო-კომუნალურმა სექტორმა - 21%, სხვა ხარჯებმა შეადგინა 20%, ხოლო დანაკარგებმა და საკუთრივ ენერგეტიკული ობიექტების საჭიროებებმა - 18,5%. სხვა ხარჯები ნაწილდებოდა მრეწველობის იმ დარგებზე, რომლებიც წამყვანი არ იყო სახალხო მეურნეობაში. ძირითადად ეს იყო ადგილობრივი მრეწველობის ობიექტები. 1988 წლის შემდეგ ელექტროენერგიის მოხმარება ყოველწლიურად მცირდებოდა ისე, რომ 1994 წელს, მიახლოებითი შეფასებით, სულ მოხმარებული იყო 7-8 მილიარდი კვტ.სთ. ელექტროენერგია, რომლის 25-30% იმპორტირებული იყო მეზობელი სახელმწიფოებიდან: სომხეთიდან, აზერბაიჯანიდან და თურქეთიდან. ენერგეტიკისა და ჰიდრონაგებობათა სამეცნიერო ინსტიტუტის იმდროინდელი გაანგარიშებით 2000 წლისათვის საქართველოს დასჭირდებოდა მინიმუმ 15 მილიარდი კვტ.სთ. ელექტროენერგია წლის განმავლობაში, რათა სახალხო-სამეურნეო კომპლექსი ნორმალურად ამუშავებულიყო და დაკმაყოფილებულიყო მოსახლეობის მინიმალური საყოფაცხოვრებო მოთხოვნები. ასეთი პროგნოზი გულისხმობდა ელექტროენერგიის იმპორტს, დაახლოებით 6 მილიარდ კვტ.სთ. ოდენობით. იგივე პერიოდისათვის, ევროგაერთიანების ტექნიკური დანამარების საბჭოს ექსპერტთა გაანგარიშებით, საქართველოსათვის საკმარისი იქნებოდა 12 მილიარდი კვტ.სთ. ენერგია, ანუ დაახლოებით იმდენი, რასაც დღეს მოვიხმართ. თუმცა, ასეთი შეფასება გულისხმობდა ენერგო დამზოგი ტექნოლოგიების დანერგვას და ფართოდ გამოყენებას მრეწველობასა და სოფლის მეურნეობაში, რაც დღემდე მიუღწევად ამოცანად რჩება.

წარსულის მწარე გამოცდილებიდან გამომდინარე ბევრისათვის აშკარა გახდა, რომ შეუძლებელია ქვეყნის სრული დამოუკიდებლობის მიღწევა ენერგეტიკული დამოუკიდებლობის გარეშე. ამ სასიცოცხლო მნიშვნელობის მქონე პრობლემის გადაწყვეტის ძირითადი ფაქტორია იმ

ენერგეტიკული რესურსის რაციონალურად გამოყენება, რომელიც საქართველოს გააჩნია. ბუნებრივია, რომ ჩვენი მთავარი სიმდიდრეა ჰიდრორესურსი. რადგანაც მდინარეებში წყლის ხარჯს მკვეთრად სეზონური ხასიათი აქვს, საბჭოთა პერიოდში ჰიდროენერგეტიკოსები აუცილებლად მიიჩნევდნენ დიდი წყალსაცავების შექმნას, რაც უმეტესად, კასკადური პრინციპით უნდა განხორციელებულიყო. წყალსაცავების მშენებლობას ხშირად თან ახლავს განსაკუთრებულად უარყოფითი მომენტი. თუმცა, მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე აპრიორი ცალსახად უარყოფით კონტექსტში მსჯელობა არაკორექტულია, რადგან ატმოსფერო ლოკალურ მასშტაბებში არ წარმოადგენს ჩაკეტილ თერმოდინამიკურ სისტემას. ამიტომ, ატმოსფერული პარამეტრების მცირე შეშფოთებას არ შეუძლია გამოიწვიოს კატასტროფული შედეგები მასშტაბური კლიმატური ცვლილებების სახით. უარყოფითი ეკოლოგიური ზემოქმედების თვალსაზრისით თბოელექტროსადგურები ჰიდროელექტროსადგურებზე არა ნაკლები ზიანის მომტანები არიან.

საკვანძო სიტყვები: გიდროენერგეტიკა, ეკოლოგია.

ASSESSMENT OF GEORGIA'S HYDROPOWER POTENTIAL AND ENVIRONMENTAL PROBLEMS

Kereselidze Z., Arziani Z.

Abstract

Nowadays in Georgia, the problem of hydropower is especially actual. Today's situation is caused by the processes that have developed during the last four decades: what was the need for electricity in the last years of the existence of the Soviet Union and how was it distributed between the national economy and the population? It would be convenient to name year 1988 as the starting point, when power consumption reached its maximum. During this year, Georgia used 18 billion kw/h of electric energy, including 26% in large-scale industry, 6.4% in agriculture, 5% in transport, 2.5% in construction, and 21% - in the household and utility sector, other expenses covered 20%, and the loss and needs of purely power facilities - 18.5%. Other expenses were distributed to those branches of industry that were not leading in the national economy. Basically, these were objects of local industry. After 1988, the consumption of electricity decreased every year so that in 1994, according to a rough estimate, a total of 7-8 billion kw/h of electricity was consumed, 25-30% of which was imported from neighboring states: Armenia, Azerbaijan and Turkey. According to the calculations of the Scientific Institute of Energy and Hydro Engineering of that time, by the year 2000 Georgia would annually use at least 15 billion kw/h of electricity for the normal functioning of the national economy and meet the minimum domestic needs of the population. This forecast implied the import of electricity in the amount of approximately 6 billion kw/h. By the same period, according to the calculations of the Council of Technical Assistance of the European Union, 12 billion kw/h of electric energy would be enough for Georgia, i.e., approximately as much as we use today. However, such an assessment implied the introduction of energy-saving technologies and their widespread use in industry and agriculture, which to this day remains an inaccessible task. Based on the negative experience of the past years, it became clear to many that it is impossible to achieve the full independence of the country without power independence. The main factor of this vital problem is the rational use of Georgia's available water resources. Naturally, our main wealth is water resources. Since the flow of water in the rivers is purely seasonal, during the period of the Soviet Union, hydropower specialists considered it necessary to create large reservoirs, which often had to be implemented in a cascading manner. Constructing a reservoir is often accompanied by a negative moment, though the judgment about microclimatic changes in a priori definite negative context is incorrect, since the atmosphere on a local scale does not represent a closed thermodynamic system. Therefore, the slightest perturbation in atmospheric parameters cannot cause catastrophic results in the form of large-scale climate changes. In regard to negative economic impact, thermal power plants are as harmful as hydroelectric power plants.

Key words: hydropower, ecology.

ОЦЕНКА ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГРУЗИИ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Кереселидзе З., Арзиани З.

Реферат

Сегодня в Грузии особенно актуальна проблема гидроэнергетики. Сегодняшняя ситуация обусловлена процессами, которые развивались в течение последних четырех десятилетий: какова была потребность на электроэнергию в последние годы существования Советского Союза и как она распределялась между народно-хозяйственным комплексом и населением? За начальную точку удобнее назвать 1988 год, когда потребление энергии достигло своего максимума. В течение этого года Грузия потребила 18 миллиардов квт/ч энергии, в том числе на долю крупной промышленности приходится 26%, на долю сельского хозяйства – 6,4%, транспорта – 5%, строительства – 2,5%, бытового-коммунального сектора – 21%, другие расходы составили 20%, а на долю потерь и потребности сугубо энергетических объектов – 18,5%. Другие расходы распределялись на те отрасли промышленности, которые не были ведущими в народном хозяйстве. В основном это были объекты местной промышленности. После 1988 года потребление электроэнергии с каждым годом уменьшалось так, что в 1994 году, по приближенной оценке, всего было потреблено 7-8 миллиардов квт/ч электроэнергии, 25-30 % которой была импортирована из соседних государств: Армении, Азербайджана и Турции. При тогдашних расчетах научного Института энергетики и гидростроительства к 2000 году Грузия ежегодно использовала бы минимум 15 миллиардов квт/ч энергии для нормального функционирования народно-хозяйственного комплекса и удовлетворения минимальных бытовых потребностей населения. Такой прогноз подразумевал импорт электроэнергии в количестве приблизительно 6 миллиардов квт/ч. К тому же периоду по расчетам совета технической помощи Евросоюза, для Грузии было бы достаточно 12 миллиардов квт/ч энергии, т.е. приблизительно столько, сколько употребляем мы сегодня. Хотя такая оценка подразумевала внедрение энергоэкономных технологий и их широкое использование в промышленности и сельском хозяйстве, что до сегодняшнего дня остается недоступной задачей. Исходя из негативного опыта прошлых лет, для многих стало ясно, что невозможно достичь полной независимости страны без энергетической независимости. Основным фактором этой жизненно важной проблемы является рациональное использование имеющегося гидроресурса Грузии. Естественно, наше главное богатство гидроресурс. Так как в реках расход воды имеет сугубо сезонный характер, в период Советского Союза гидроэнергетики считали обязательным создание больших водохранилищ, что часто должно было быть реализовано по каскадному принципу. Строительство водохранилищ часто сопровождается отрицательным моментом, хотя суждение о микроклиматических изменениях априори однозначно в отрицательном контексте некорректно, так как атмосфера в локальном масштабе не представляет замкнутую термодинамическую систему. Поэтому, малейшее возмущение атмосферных параметров не может вызвать катастрофические результаты в виде масштабных климатических изменений. С точки зрения отрицательного экономического воздействия теплоэлектростанции вредят также, как гидроэлектростанции.

Ключевые слова: гидроэнергетика, экология.

დედამიწის მაგნიტური ველი და ადამიანი

კერესელიძე ზ., არზიანი ზ.

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

გენომი, ცოცხალი უჯრედის, რომელსაც უკავშირებენ ბიოლოგიურ საათს, ჩამოყალიბდა უწყვეტი რადიაციული და ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების პირობებში. მეცნიერების მიერ დადგენილი ზოგიერთი ფაქტი, მაგალითად, ცოცხალი ორგანიზმების დაბერების პროცესის დაჩქარება ხისტი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების გადიდებული დოზების გამო, ან მათი ზრდის სტიმულაცია სუსტი რადიაციული ზემოქმედებისას, სრულიად ბუნებრივად აღიქმება. ეს ნიშნავს, რომ ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ველების გამორიცხვა უმნიშვნელოვანესი ევოლუციური ფაქტორების რიგიდან დაუშვებელია. აქვე უნდა ავლნიშნოთ, რომ ბიოლოგიურ ობიექტებზე მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ აგრეთვე უწყვეტი მოქმედების ლოკალური გეოფიზიკური ფაქტორებიც: გარემოს ტემპერატურა, ჰაერის ქიმიური შემადგენლობა, ატმოსფერული წნევა და ტენიანობა, რომელთა გავლენა ადამიანის ორგანიზმის სიცოცხლისუნარიანობაზე საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი.

ცნობილია, რომ დედამიწის მაგნიტური ველი წარმოადგენს ცვლადი და მუდმივი მდგენელების ჯამს, რომელთაგანაც პირველი განისაზღვრება კოსმიური ფაქტორებით, ხოლო მეორე შედარებით მყარია და დროში ნაკლებად ცვლადი, რადგანაც მას განსაზღვრავს დედამიწის შინაგანი სტრუქტურა. ამიტომ, დედამიწის მაგნიტურ ველს ახასიათებს რეგულარული და არარეგულარული ცვლილებები, ე.წ. შემფოთებები, რომლებიც, სავარაუდოდ, გარკვეულ გავლენას ახდენენ სასიცოცხლო პროცესებზე [1,2]. გეომაგნიტური ველის ცვლილებები განპირობებულია როგორც მზის აქტივობითა და დედამიწის გეოლოგიური სტრუქტურებით, ასევე დედამიწის მაგნიტური გარსის მაგნიტოსფეროს აგებულებით და მასში მიმდინარე ფიზიკური პროცესებით.

გეომაგნიტური ველი ორპოლუსიანია, ანუ დიპოლური სტრუქტურის მქონეა. მისი მაგნიტური ველის ღერძი, პირველ მიახლოებაში შეიძლება დავამთხვიოთ დედამიწის ბრუნვის ღერძს. დედამიწის მაგნიტური ველის დამაბულობა (ინდუქცია) გაცილებით უფრო მცირეა, ვიდრე, მაგალითად, მზის ან იუპიტერის მაგნიტური ველების ინდუქცია. თუმცა, მისი ინტენსივობა საკმარისი აღმოჩნდა კოსმოსური სივრციდან მომავალი, ორგანული მატერიის დამლუპველი, რადიაციული გამოსხივების ეკრანირებისათვის. გეომაგნიტური ველის ინდუქციის მახასიათებელი სიდიდე CGSM სისტემაში დაახლოებით 0,5 ერსტედია, თუმცა მიღებულია მისი დამაბულობის ვექტორის (0,5 გაუსი) მდგენელების შეფასება ერთი მეასიათასედი გაუსის, გამას საშუალებით, რომელიც ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში (CI) სიდიდით ემთხვევა ნანოტესლას. კოსმოსურ ეპოქაში დედამიწის მაგნიტური ველის დიპოლური სტრუქტურა რეალობაში შეცვლილი აღმოჩნდა მზის ზედაპირული ფენიდან, ფოტოსფეროდან, მომავალი მეტად გაიშვიათებული პლაზმური ნაკადის, ე.წ. მზის ქარის, არსებობის გამო. საპლანეტათაშორისო სივრცე რომ ამ ნაკადით არ იყოს შევსებული, დედამიწის მაგნიტური ველი მართლაც დიპოლური იქნებოდა, ანუ სტრუქტურა, რომელსაც ახასიათებს საგრძნობი სიმეტრია ეკვატორულ და მერიდიანულ კვეთებში. დიპოლის შემთხვევაში გეომაგნიტური ველის ძალწირებს ექნებოდათ

იდენტური ტოპოლოგია როგორც მზის მიმართულებით,, ასევე საწინააღმდეგოდ. სინამდვილეში დედამიწის მაგნიტოსფერო ჰგავს გიგანტურ ხოჭოს, რომლის თავი, ანუ დღის მხარე, მზისკენ არის მიმართული, ხოლო კუდი, ანუ ღამის მხარე, მზის საწინააღმდეგოდ. ამასთან, მაგნიტოსფერო, მიუხედავად იმისა, რომ მისი ზომები, დედამიწასთან შედარებით, გიგანტურია, კოსმოსურ სივრცეში შეზღუდული აღმოჩნდა. მაგნიტოსფეროს განსაკუთრებულად რთული აგებულება აქვს და შედგება რამოდენიმე შრისაგან, რომელთაგანაც დედამიწისათვის უახლოესია ატმოსფერო. შემდეგ მოდიან იონოსფერო, ე.წ. დედამიწის ელექტრონული გარსი, ხოლო მის ზემოთ სივრცეს ეწოდება პლაზმოსფერო, რომელიც წარმოადგენს გეომაგნიტური ველის მიერ დაჭერილი კოსმოსური პლაზმის მთავარ რეზერვუარს. ამ შრეების გარდა, მაგნიტოსფერო შეიცავს ე.წ. რადიაციულ სარტყლებს, სხვადასხვა სასაზღვრო ფენებსა და მაგნიტოსფეროს ღამის მხარეს (მაგნიტოსფეროს კუდი) განლაგებულ ე.წ. ნეიტრალურ ფენას. ასეთი რთული სტრუქტურული აგებულების მქონე სისტემა ძალზედ ფაქიზად რეაგირებს მზეზე და კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე პროცესებზე [3,4].

გეომაგნიტური ქარიშხლები, ვარიაციები და პულსაციები. მედიკოსების წრეში დიდი ხანი ითვლებოდა, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის ცვლილებების მრავალრიცხოვან ტიპებს შორის მხოლოდ გლობალური, ანუ მსოფლიო მასშტაბის მქონე, გეომაგნიტური ქარიშხლები მოქმედებენ ცოცხალ არსებებზე და ადამიანებზე. უნდა აღინიშნოს, რომ ეს საკითხი კოსმოსური სივრცის პრობლემებზე მომუშავე ფიზიკოსებისათვის დღემდე არ არის ისეთივე ცხადი, როგორც ზოგიერთ მედიკოსათვის. მაგალითად, გეომაგნიტური ქარიშხლები არ არიან პირდაპირ დაკავშირებულნი არც მზის სითბურ გამოსხივებასთან და არც კოსმოსურ რადიაციასთან, ანუ სითბურ ტალღებთან შედარებით კიდევ უფრო მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტურ ტალღებთან. რეალურად, მცირე ინტენსივობის მქონე პულსაციებისა და ვარიაციების მსგავსად, გეომაგნიტური ქარიშხლები შიდა მაგნიტოსფერულ ფიზიკურ პროცესებზე მზის აქტივობის ცვლილების გავლენის შედეგია.

გეომაგნიტური ველის ფორმირებაში მონაწილეობენ ე.წ. მუდმივი და ცვლადი მდგენელები. ასეთი დაყოფა, გარკვეულწილად, პირობითია. პირველ მდგენელს, ანუ მთავარ გეომაგნიტურ ველს, ახასიათებს მხოლოდ განსაკუთრებით გრძელპერიოდიანი, ე.წ. საუკუნეობრივი ცვლილებები, რომელთა ამპლიტუდა შეიძლება 10 ნტლ რიგისაგ კი იყოს. გეომაგნიტური ველის ცვლადი მდგენელი განიცდის გაცილებით უფრო სწრაფ ცვლილებებს, რომელთა ამპლიტუდაც 0,1-10 ნტლ დიაპაზონშია, ხოლო პერიოდი შეიძლება იყოს წამის ნაწილებიდან დღე-ღამემდე.

ცვლადი გეომაგნიტური ველის (ცვლადი მდგენელი) ყველაზე გრძელპერიოდიანი ცვლილებების მახასიათებელი სიხშირეებია 10^{-4} - 10^{-5} / ჰერცი. ასეთი ფლუქტუაციები შეიძლება იყოს როგორც რეგულარული, ასევე ირეგულარული, ანუ სპონტანური ხასიათის მქონე. რეგულარული ფლუქტუაციების, ანუ, როგორც მათ უწოდებენ, გეომაგნიტური ვარიაციების, არსებობა დაკავშირებულია მზის გამოსხივების ულტრაიისფერი ნაწილის ზემოქმედებასთან დედამიწის იონოსფეროზე. დღეღამურ გეომაგნიტურ ვარიაციებს ახასიათებთ მკვეთრი დამოკიდებულება განედის კოორდინატებზე. ისინი განიცდიან დღეღამურ, სეზონურ და წლიურ ცვლილებებს მზის აქტივობის პერიოდულ ციკლებში, მინიმალური ხანგრძლივობა დაახლოებით 11 წელიწადია [5 ნიშიდა]. ვარიაციების დღეღამური ცვლილების ამპლიტუდამ საშუალო და დაბალ განედებზე, მაგალითად, საქართველოში, გეომაგნიტური ველის ჰორიზონტალურ კომპონენტაში შეიძლება შეადგინოს 40-50 ნტლ. რეგულარული ვარიაციებისაგან განსხვავებით, სპონტანური ბუნების მქონე გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლები, მიღებული კლასიფიკაციის მიხედვით, იყოფიან ორ ტიპად: გეომაგნიტური ქარიშხლები უეცარი (SSC) ან თანდათანო-

ბითი დასაწყისით. გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლები შეიცავენ განვითარების რამოდენიმე ფაზას. საწყისი ფაზა განსაკუთრებით კარგადაა გამოხატული SSC ქარიშხლებისათვის. ჩვეულებრივ, ეს ფაზა გრძელდება 1-3 საათს. ქარიშხლის მთავარი ფაზა გრძელდება 3-12 საათს და ხასიათდება მაგნიტური ველის დეპრესიით, რომლის ამპლიტუდაც დაბალი განედებიდან მაღალი განედების მიმართულებით, განსაკუთრებით პოლარულ არეში, იზრდება. ქარიშხლის მესამე, აღდგენით ფაზაში გეომაგნიტური ველი მდოვრედ უბრუნდება მახასიათებელ ფონურ მნიშვნელობებს.

გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლების არსებობა დროში შემთხვევითი ხასიათისაა, რადგანაც მათი განმეორებადობა დაკავშირებულია მზეზე მიმდინარე სპონტანურ პროცესებთან. თუმცა, მაინც აღინიშნება გარკვეული ტენდენცია. კერძოდ, მზის აქტივობის 11 წლიანი ციკლის დასაწყისისათვის დამახასიათებელია რამდენიმე მაგნიტური ქარიშხალი წლის განმავლობაში. გაზრდილი მაგნიტური აქტივობის წლებში ქარიშხლების რიცხვი წელიწადში 30-50 აღწევს. გარდა ამისა, გეომაგნიტურ ქარიშხლებს ახასიათებს აგრეთვე 27-დღიანი ციკლით განმეორებადობა, რაც დაკავშირებულია მზის ბრუნვასთან საკუთარი ღერძის ირგვლივ.

დედამიწის მაგნიტური ველის პერიოდულ ფლუქტუაციებს სიხშირეთა დიაპაზონში 10^{-3} - 10^{-1} ჰერცი, ეწოდებათ გეომაგნიტური პულსაციები. შესაბამისად, ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების არაერთგვაროვან სპექტრში გეომაგნიტურ პულსაციებს ყველაზე დაბალი სიხშირეები გააჩნიათ. ამ სპექტრის შიგნით ცხადად გამოიყოფა რამდენიმე მახასიათებელი სიხშირე, რომელთა შესაბამისი პულსაციების ამპლიტუდები იზრდება დაბალიდან მაღალი განედებისაკენ. მაგალითად, ყველაზე გრძელპერიოდიანი რხევების ამპლიტუდები აღწევს 100 ნტლ-ის რიგს ავრორარულ (პოლარულ) არეებში. ეკვატორულ არეებში დამზერილი ყველაზე უფრო მოკლეპერიოდიანი პულსაციებისათვის ამპლიტუდა მცირდება ნტლ-ის წილებამდე. ამპლიტუდების სიდიდის გარდა, მათ გააჩნიათ სხვა განმასხვავებელი ნიშნებიც. ცნობილია გეომაგნიტური პულსაციების 9 ძირითადი ტიპი სხვადასხვა სახესხვაობით. პულსაციათა ძირითადი ტიპებია: რეგულარული Pc1, Pc2, Pc3, Pc4, Pc5, Pc6, და ირეგულარული Pi1, Pi2 და Pi3 პულსაციები. Pc ტიპის პულსაციებს გააჩნიათ კვაზისინუსოიდალური ხასიათი და საკმაოდ ხანგრძლივი არსებობის რეჟიმი სტაბილური პარამეტრებით. Pi ტიპის ირეგულარული პულსაციები წარმოადგენენ რხევათა მოკლე ცუგებს, ან მაგნიტურ ხმაურს მკვეთრად ცვლადი ამპლიტუდით. მდგრადი პულსაციები Pc3, Pc4, Pc5, Pc6 და ირეგულარული პულსაციები Pi2 და Pi3 გაერთიანებულია ე.წ. გრძელპერიოდიან გეომაგნიტურ პულსაციათა ჯგუფში, ხოლო P და ნარჩენები წარმოადგენენ მოკლეპერიოდიან პულსაციებს. ყველა გეომაგნიტური პულსაცია დედამიწის მაგნიტური ველის შემფოთების გამოვლინებაა, მიუხედავად მათი გამომწვევი მიზეზებისა. მაგალითად, Pi ტიპის პულსაციები წარმოადგენენ მაგნიტოსფეროს მდგომარეობის ცვლილების განსაკუთრებულად ცხად ინდიკატორებს, რადგანაც, თან ახლავს სუბქარიშხლების (ლოკალური სუსტი ქარიშხლები) განვითარების პროცესს პოლარულ არეებში. ამიტომ, ისინი ჩვენს განედზე შედარებით იშვიათად დაიმზირებიან, თანაც გაცილებით მცირე ამპლიტუდებით, ვიდრე მაღალ განედებზე.

საშუალო განედებზე განსაკუთრებულ ინტერესს წარმოადგენს მდგრადი ტიპის გეომაგნიტური პულსაციების დინამიკა. ეს პულსაციები, Pc5-ის გამოკლებით, არ არიან დაკავშირებულნი კონკრეტული მაგნიტოსფერული შემფოთების განვითარებასთან. თუმცა უდავოა, რომ, საზოგადოდ, მდგრადი პულსაციების გენერაცია მაგნიტოსფეროს სტრუქტურულ ცვლილებასთან არის დაკავშირებული, რაც განსაკუთრებით თვალნათელია გეომაგნიტური ქარიშხლების დროს. დადგენილია, რომ ყველა ტიპის მდგრად გეომაგნიტურ პულსაციას შეესაბამება კონკრეტული მაგნიტოსფერული სტრუქტურა. მაგალითად, საშუალო განედურ სარტყელში (ე.ი. სა-

ქართველოშიც) ყველაზე გავრცელებულია P_{c3} პულსაცია, რომელიც დაიმზირება პრაქტიკულად ყოველდღე, განსაკუთრებით ლოკალური შუადღის მახლობლობაში, მახასიათებელი პერიოდით 15-30 წმ.

ტიპიური გეომაგნიტური ქარიშხლის დინამიკის ნათლად წარმოსადგენად მოკლედ განვიხილოთ მაგნიტოსფერული შეშფოთების განვითარების სურათი. მზეზე ქრომოსფერული აალების შემდეგ, რომელიც წარმოადგენს გლობალური მაგნიტური ქარიშხლის გამშვებ მექანიზმს, იონოსფეროს დღის მხარე, დაახლოებით 8 წუთის დაგვიანებით, განიცდის შეშფოთებას მზეზე აალებით გენერირებული ელექტრომაგნიტური გამოსხივებით, რასაც ხშირად მოჰყვება 10-100 წმ პერიოდის მქონე მილევადი გეომაგნიტური პულსაციები. გეომაგნიტური ქარიშხალი ჩვეულებრივ იწყება აალებიდან ორი-სამი დღის შემდეგ, როცა მზის ქარის პლაზმური ნაკადის დარტყმითი ტალღის ფრონტი მაგნიტოსფეროს საზღვარს მიაღწევს. დაგვიანების დრო დამოკიდებულია პლაზმური მზის ქარის სიჩქარეზე, რომლის მნიშვნელობაც იცვლება 300-1500 კმ.წმ⁻¹ ინტერვალში. არსებობს რამდენიმე ეფექტი, რომელიც თან ახლავს გეომაგნიტური ქარიშხლის უეცარ დასაწყისს. ასე მაგალითად, შემჩნეულია, რომ მატულობს P_{c1} პულსაციების აქტივობა SSC -მდე დაახლოებით ერთი საათით ადრე, რასაც უკავშირდება Pრეგულარული გეომაგნიტური პულსაციების სიხშირული სპექტრის მკვეთრი ცვლილება. ასევე, შესაძლებელია პულსაციების აღძვრა უშუალოდ SSC მომენტში [2,5,6].

გეომაგნიტური ქარიშხლის ყველაზე ხანგრძლივ, აღდგენით, ფაზაში ისევ აღიმკვრებიან Pi2 პულსაციების ცალკეული ცუგები, რომლებიც იშვიათად აღწევენ დაბალ განედებამდე. ამ დროს P_{c1} პულსაციების აქტიურობა კვლავ მატულობს Pi2-ის აქტიურობის დაცემის ფონზე. ასევე, მაგნიტოსფეროს დღის მხარეზე ხდება წყნარი მაგნიტური სტრუქტურების აღდგენა, რა დროსაც ზოგჯერ აღიმკვრებიან გრძელპერიოდიანი პულსაციები.

ასეთია გეომაგნიტური ქარიშხლის განვითარების ტიპიური სურათი, რომლის დამახასიათებელი დროითი მასშტაბი, ჩვეულებრივ, 2-3 დღეა. მაგნიტოსფერული, იონოსფერული და ტროპოსფერული წყაროების გარდა, ელექტრომაგნიტური ტალღების გენერაცია შეიძლება მოხდეს აგრეთვე ზღვის გარემოშიც. ითვლება, რომ ამ დროს ხდება იონოსფერულ-მაგნიტოსფერული წარმოშობის ველებისა და ინდუქციური მკვდ ველების სიხშირეთა სპექტრების გადაფარვა, რასაც შეიძლება მოჰყვეს ბევრი საინტერესო ფიზიკური შედეგი. ასევე, სავარაუდოა რომ, ამ ეფექტს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს მედიკო-ბიოლოგიური თვალსაზრისითაც. უნდა აღინიშნოს, რომ ბოლო დროს გარკვეული ყურადღება ეთმობა აგრეთვე ანტროპოგენული წარმოშობის ელექტრომაგნიტური ველების ბიოლოგიურ ეფექტსაც, რომლებიც ბუნებრივ ველებთან ერთდ მონაწილეონენ დედამიწაზე ე.წ. ელექტრომაგნიტური ამინდის ფორმირებაში.

პოპულარულ დონეზე ავადმყოფ ადამიანებზე გეომაგნიტური ქარიშხლების ზემოქმედებას აიგივებენ მზის რენტგენული გამოსხივების ეფექტთან. ასეთი წარმოდგენა გამომდინარეობს რენტგენული სხივების ინტენსივობის მკვეთრი ზრდიდან მზეზე აქტიური ზონის წარმოქმნის დროს. საქმე იმაშია, რომ რენტგენის სხივები ვრცელდება სინათლის სხივის სიჩქარით (300000 კმ.წმ⁻¹), ხოლო გეომაგნიტური ქარიშხლის გამომწვევი მზის ქარის სიმკვრივის მკვეთრი ცვლილებები ჩვეულებრივ ვრცელდება 500-1000 კმ.წმ⁻¹ სიჩქარით. ამიტომ, მზეზე აალების შემდეგ, რენტგენის სხივები დაახლოებით რვა წუთში აღწევენ დედამიწამდე, ხოლო მზის ქარის შემადგენელი ელექტრონები და პროტონები მხოლოდ რამდენიმე დღის შემდეგ. თუმცა, სტატისტიკური მონაცემები ადასტურებენ, რომ მაგნიტური ქარიშხლების წინ ხდება გულ-სისხლძარღვთა დაავადებების გამწვავებები, რაც ზოგი ავადმყოფისათვის ლეტალურად მთავრდება. ასეთი ინფორმაციის სანდოობა ითხოვს დაზუსტებას, რაც არც თუ იოლია, რადგანაც შესაბამისი კვლევა დაკავშირებულია გრძელვადიან დაკვირვებებთან ავადმყოფთა დიდ ჯგუფებზე დედამიწის

სხვადასხვა ადგილში. ასეთი წარმოდგენის სამართლიანობის მაგალითია ცნობილი ფაქტი, რომელიც ადასტურებს წინასწარი განწყობის როლს მეცნიერულად დაუდასტურებელი, უფრო ზუსტად, მცდარი ინფორმაციის მიმართ. ცნობილია, რომ ჯერ კიდევ საბჭოთა პერიოდში გაზეთი "იზვესტია" სისტემატურად ბეჭდავდა გეომანტიური ქარიშხლების პროგნოზს, ე.ი. მაგნიტოსფეროში ძლიერი შემფოთების განვითარების მოსალოდნელ თარიღებს. მიზანი თითქოს კეთილშობილური იყო, რისკის ქვეშ მყოფი პირები შესაბამისად უნდა მოზადებულიყვნენ მათი ჯანმრთელობის მდგომარეობის შესაძლებელი გართულებების თავიდან აცილების მიზნით. ერთი შეხედვით, კეთდებოდა მეტად მნიშვნელოვანი საქმე, რომელიც მხოლოდ ადამიანებზე ზრუნვით იყო ნაკარნახევი. "იზვესტიის" მსგავსად, საქართველოში პროგნოზის გამოქვეყნება დაიწყო გაზეთმა "თბილისმაც", რომელიც მკითხველებს აწვდიდა, აგრეთვე, ექიმთა რჩევებს, თუ როგორ უნდა მოქცეულიყვნენ ადამიანები მაგნიტური ქარიშხლების განვითარების დროს. ყოველივე ამან მეტად პოპულარული გახადა ადამიანზე დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენის თემა. მაგრამ, სამწუხაროდ, ეს ხდებოდა მხოლოდ უარყოფითი კუთხით, ვინაიდან პრაქტიკულად ყველამ მაგნიტური ქარიშხალი აღიქვა, როგორც ადამიანის ჯანმრთელობის ცალსახად გამაუარესებელი მოვლენა. Aშემდგომში პროგნოზის გამოქვეყნების ტრადიცია ისევ აღსდგა, რადგანაც ინტერნეტის რიგ საიტებზე გაჩნდა გეომანტიური ქარიშხლების სავარაუდო თარიღები. პირველი გეომანტიური პროგნოზის გამოქვეყნებისთანავე, ბუნებრივად დაიბადა კითხვა: რამდენად სარწმუნო იყო გეომანტიური ქარიშხლების წინასწარმეტყველება? ცხადია, ამ კითხვაზე პასუხი უნდა გაეცათ სპეციალისტებს, რომელთა დამოკიდებულება ასეთი პროგნოზის მიმართ კატეგორიულად კრიტიკული იყო. იმ დროის უკლებლივ ყველა წამყვანმა მაგნიტოლოგმა ოფიციალურ განცხადებაში დაადასტურა, რომ პროგნოზის ავტორებს, შეგნებულად ან უნებლიედ, შეცდომაში შეჰყავდათ მოსახლეობა. საქმე იმაშია, რომ გეომანტიური ქარიშხლების პროგნოზი დაკავშირებულია მზეზე მიმდინარე პროცესების პროგნოზთან, რაც მოკლე ვადებში (ე.ი. დღეების სიზუსტით) შეუძლებელია.

საკითხი, თუ რა ზემოქმედებას ახდენს მაგნიტური ველი ადამიანზე, არ შეიძლება მხოლოდ მაგნიტური ქარიშხლების კუთხით განვიხილოთ [1]. ზოგიერთი ფიზიკოსისა და ბიოფიზიკოსის ადრე მოარული აზრით, ადამიანზე თავისი მოქმედებით გეომანტიურ ქარიშხლებზე არა ნაკლებ ეფექტური შეიძლება იყოს გეომანტიური პულსაციები. ასეთ მოსაზრებას ადასტურებდნენ რამოდენიმე ფაქტით, რომელთა შორის განსაკუთრებით საინტერესოდ მიგვაჩნია ელექტრო კარდიოგრამის სპექტრალური ანალიზის შედეგები. ცნობილია, რომ ელექტრო კარდიოგრამა გულის ბიოპოტენციალის ცვლილებების საუკეთესო მახასიათებელია. იმის მიხედვით, ადამიანი ჯანმრთელია თუ ავადმყოფი, მის ელექტროკარდიოგრამაში მონაწილეობს რამდენიმე რეზონანსული სიხშირე. ელექტროკარდიოგრამის სპექტრალურმა ანალიზმა გამოავლინა გასაოცარი რამ: პირველ სამ სიხშირეს, რომელიც ყველა ადამიანის გულს აქვს, შეესაბამება პერიოდები: 4-5 წამი, 11-13 და 19-37 წამი [7]. ამ ფაქტის დაფიქსირების შემდეგ მათემატიკოსის მიხეილ სავინის მიერ წამოყენებულ იქნა ჰიპოთეზა, რომ კარდიოგრამაში მონაწილე 11-13 და 19-37 წამი პერიოდის მქონე რხევები სხვა არაფერია, თუ არა მაგნიტოსფეროში ყველაზე გავრცელებული, Pc2 და Pc3 გეომანტიური პულსაციების, ასახვა გულის პოტენციალის ცვლილებაში (რაც შეეხება 4-5 წმ. პერიოდის რხევებს ცნობილია, რომ ისინი წარმოადგენენ ე.წ. სუნთქვით ტალღებს). ამრიგად, ამ ჰიპოთეზის მიხედვით, ადამიანის ორგანიზმის, კერძოდ გულის, მახასიათებელი ზოგიერთი სიხშირე ემთხვევა რეგულარული გეომანტიური პულსაციების სიხშირეებს. ადამიანის გულისცემის სიხშირე მართლაც თავსდება ყველაზე უფრო მოკლე პერიოდის მქონე Pc1 გეომანტიური პულსაციის სიხშირის ცვლილების დიაპაზონში. შესაბამისად, გაჩნდა მოსაზრება, რომ ადამიანის ორგანიზმში ბუნებრივი გარემო ხელს უწყობს რეზონანსუ-

ლი ეფექტების განვითარების შესაძლებლობას. ეს ნიშნავს, რომ ზოგ შემთხვევაში გარე სუსტ სიგნალს შეუძლია ბიოლოგიური ეფექტის გამოწვევა ან მისი გაძლიერება. ასეთი მოვლენა სრულიად რეალურია, რადგანაც ცოცხალ ორგანიზმებში ნამდვილად არსებობენ გარეშე სიგნალების ბიოლოგიური გამაძლიერებლები. სწორედ ისინი უზრუნველყოფენ ორგანიზმის საპასუხო რეაქციის განვითარებას მიღებულ სიგნალზე. ეს არის ცოცხალი მატერიის უმთავრესი თვისება, რომლის მეშვეობითაც შესაძლებელი ხდება შედარებით მცირე ენერგეტიკული დანახარჯებით ბიოლოგიური ობიექტების მდგომარეობის შესამჩნევი ცვლილება.

ვუბრუნდებით რა ჩვენს ორგანიზმში გეომაგნიტური პულსაციებისა და გულის საკუთარი სიხშირეების თანხვედრის შესაძლებლობას, გავიხსენოთ რეზონანსის მოვლენა, რომელიც ხშირად საკმაოდ მყარი კონსტრუქციებიმექანიკურის დანგრევას იწვევს. ანალოგიური რამ შეიძლება მოხდეს ცოცხალ ორგანიზმშიც გეომაგნიტური პულსაციების ზეგავლენით. თუ ადამიანი ჯანმრთელია, მისი გული ადვილად იტანს გაზრდილ დატვირთვას, რასაც სავარაუდოდ გამოიწვევს გეომაგნიტური პულსაციებისა და გულის საკუთარი სიხშირეების თანხვედრა. მაგრამ, თუ გული დაავადებულია, ასეთი ეფექტის გამო სრულიად შესაძლებელია კრიზისული მოვლენების განვითარება, რაც შეიძლება სავალალო შედეგითაც დამთავრდეს. მით უმეტეს რომ, ზოგიერთი კარდიოლოგის აზრით, კარდიოგრამაში მონაწილე ორი, ყველაზე უფრო გრძელპერიოდული, რხევა ახასიათებს მხოლოდ დაავადებულ, ე.წ. გადაგვარებულ გულის კუნთს. მაგრამ, უარყოფით ეფექტებთან ერთად, გეომაგნიტურ პულსაციებს აუცილებლად დადებითი ზემოქმედებაც უნდა ჰქონდეთ ცოცხალ ორგანიზმებზე, რაც ზემოთ ნახსენები მიხეილ სავინის ჰიპოთეზის, ჩვენი შეხედულებით, განსაკუთრებით საინტერესო ნაწილს წარმოადგენს. კერძოდ, მან მიიჩნია, რომ გეომაგნიტური პულსაციები ორგანიზმში ხელს უწყობენ გონებრივი პოტენციალის ზრდას, რაც განსაკუთრებით კარგად ვლინდება ბუნებრივი ნიჭით დაჯილდოებული ზოგიერთი ადამიანის მაგალითზე. სავინის აზრით, ნიჭიერი ადამიანი ქვეცნობიერად განსაკუთრებით მგრძნობიარეა საშუალო პერიოდული გეომაგნიტური პულსაციების მიმართ. ეს ეფექტი, სავარაუდოდ, ასეთ ადამიანს ზოგ შემთხვევაში შემოქმედებით სტიმულს აძლევს. ეს ჰიპოთეზა გარკვეულად ნათელს ჰფენს კლასიკური მუსიკის ბიოლოგიური ეფექტის შესაძლო მექანიზმს. ბიოფიზიკოსებმა კარგა ხანია რაც დაადგინეს, რომ ბგერითი სიგნალები ნერვულ ქსოვილში გარდაიქმნებიან იდენტური სიხშირეების მქონე ელექტრომაგნიტურ სიგნალებად იმ შემთხვევაში, თუ ბგერითი სიგნალის სიხშირე დაემთხვევა ორგანიზმის რომელიმე საკუთარ სიხშირეს. ფაქტია, რომ ცოცხალი ორგანიზმების, პირველ რიგში ადამიანების, საკუთარი სიხშირეების სპექტრი ჩამოყალიბდა გარემო ფაქტორების გავლენით, რომელთა შორის უმთავრესია გეომაგნიტური ველი. ამრიგად, რეზონანსის პირობებში მოსალოდნელია ორგანიზმის შიგნით განვითარდეს საგრძნობი ბიო-ელექტრომაგნიტური ეფექტი, როგორც რეაქცია ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ფონის პარამეტრების ცვლილებაზე. ამ თვალსაზრისიდან გამომდინარე, ზოგადად, მუსიკალური ნაწარმოების ადამიანზე ზემოქმედების დონე უშუალოდ უნდა იყოს დაკავშირებული ნაწარმოების ჰარმონიული წყობის ხასიათთან. უნდა ავლნიშნოთ, რომ ლაპარაკია ისეთ ნაწარმოებებზე, რომლებიც ერთნაირი ემოციური ძალით მოქმედებენ როგორც მუსიკაში გათვითცნობიერებულ ადამიანებზე, ასევე დილეტანტებზეც, რომელებიც არ იცნობენ ჰარმონიის თეორიას.

დასკვნა. ამრიგად, დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენის შესწავლას ცოცხალ ორგანიზმებზე ფუნდამენტალური მნიშვნელობა შეიძლება მიენიჭოს. წარმოვიდგინოთ, რომ შესაძლებელი იყოს ადამიანის ტესტირება მაგნიტური პულსაციების საშუალებით, რათა დავადგინოთ მისი შესაძლებლობები და შეუცდომლად განვსაზღვროთ საქმიანობის ის სფერო, რომელშიც ესა თუ ის ინდივიდი თავისი უნარის მაქსიმალურ რეალიზაციას შეძლებს. თუმცა, რეზონანსის

ნანსულ ეფექტთან დაკავშირებით გარკვეული სკეპტიციზმი წარმოიქმნა ბულგარეთში მიღებულ შედეგებთან დაკავშირებით [8]. *მკვლევართა ამ ჯგუფის დასკვნა, რომელიც ეჭვქვეშ აყენებს გეომაგნიტური ველით გამოწვეული ბიოსტიმულაციის ეფექტს გულსისხლძარღვთა პათოლოგიის მქონე ადამიანებში, ეყრდნობა მონაცემთა ფართო მასივის სტატისტიკურ ანალიზს.* კერძოდ, ბულგარეთის სასწრაფო სამედიცინო დახმარების არქივის მრავალწლიანი მონაცემებით, პარამეტრული რეზონანსის ეფექტი, რომელიც შეიძლება დამყარდეს მოკლე პერიოდიანი გეომაგნიტური პულსაციების გავლენით, არ შეიძლება იძლეოდეს დადებით თერაპიულ ეფექტს. პირიქით, მიჩნეულია, რომ რეზონანსი დამანგრეველად მოქმედებს კაპილარულ სისხლძარღვებზე, რომელთაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეაქვთ გულის სისხლით მომარაგებაში. ჩვენთან ანალოგიური სტატისტიკური მასალის ანალიზმა, რომელიც ჩატარდა რამდენიმე ათეული წლის წინ, საშუალებას მოგვცა მკაცრი მტკიცების გარეშე განგვეცხადებინა, რომ გამოსაკვლევი ადამიანების მცირე ჯგუფების ფიზიოლოგიური პარამეტრების ადრეული მონიტორინგი და, აგრეთვე, გამოკითხვის გზით მიღებული, საკურორტო ზონის მოსახლეობის რეაქციები არ იძლეოდა ცალსახა პასუხს მაგნიტური ქვიშებისა ზღვაში გენერირებული გეომაგნიტური ველის პულსაციების ბიოეფექტურობის შესახებ [9].

ლიტერატურა - REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Мизун Ю.Г., Хаснулин В.И. Наше здоровье и магнитные бури. Москва, «Знание», 1991, 191 с.
2. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шезбухов К.В. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. Москва, «Полиграф сервис», 2002, 231 с.
3. კერესელიძე ზ., გაბისონია ი.. დედამიწის მაგნიტური სასაზღვრო ფენის მოდელირება. თბილისი, გზა „მერიდიანი“, 2011, 175 გვ.
4. Сергеев В.А., Цыганенко Н.А. Магнитосфера Земли. Москва, Наука, 1980, 173 с.
5. Базаржапов А.Д., Матвеев М.И., Мишин В.М. Геомагнитные вариации и бури. Москва, Наука, 1979, 223 с.
6. Nishida A. Geomagnetic Diagnosis of the magnetosphere. Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin, 1979, 297 p.
7. Bishop R. Vibration. Cambridge, At the Univesity Press, 1965, 190 p.
8. Рапопорт С.И., Бреус Т.К., Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Малиновская Н.К. Геомагнитные пульсации и инфаркты миокарда. Тер. Архив, т.78, № 4, 2006, с. 56-60.
9. კერესელიძე ზ., ჩლაიძე თ., ვეისი ი., აივაზიშვილი ი. საქართველოს პირობებში მზის აქტივობის 1994, გვ. 45-55.

დედამიწის მაგნიტური ველი და ადამიანი

კერესელიძე ზ., არზიანი ზ.

რეზიუმე

კაცობრიობამ ევოლუცია განიცადა ბუნებრივი ელექტრული, მაგნიტური და გრავიტაციული ველების გარემოში. დედამიწაზე სიცოცხლის ჩასახვას, არსებობასა და განვითარებას განსაზღვრავენ კოსმიური ფაქტორები. ჩვენს პლანეტაზე მიმდინარე ყველა ფიზიკური და ბიოქიმიური პროცესების მთავარი მიზეზია მზე, რომლის მოქმედებასაც ცოცხალ ორგანიზმებზე რამდენიმე ფაქტორი განაპირობებს: მზის სითბური ნაკადი, რადიოაქტიური გამოსხივება და აქტივობის დონე. რომელთა გავლენის გამორიცხვაც ცოცხალ არსებებზე არასწორი იქნებოდა. მაგრამ, მაღალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღების გარდა, რომელთაც მიეკუთვნებიან

სითბური ნაკადი და რადიოაქტიური გამოსხივება, არსებობენ აგრეთვე დაბალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღები, რომლებიც აგრეთვე უკავშირდებიან მზის აქტივობას. ამიტომ, საზოგადოების განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს პრობლემა, თუ როგორ მოქმედებენ ცოცხალ ორგანიზმებზე ბუნებრივი ფაქტორები, მათ შორის დედამიწის მაგნიტური ველი (გეომაგნიტური ველი). ორგანულ მატერიაზე გამჭოლი რადიაციის ზემოქმედების ეფექტები საკმაოდ კარგად არის გამოკვლეული, თუმცა მაგნიტური (გეომაგნიტური) ველის ცოცხალ უჯრედზე მოქმედების მექანიზმი ჯერ კიდევ ბუნდოვანია და მრავალ საიდუმლოს მოიცავს.

საკვანძო სიტყვები: დედამიწის მაგნიტური ველი, ადამიანის ჯანმრთელობა.

EARTH'S MAGNETIC FIELD AND MEN

Z. Kereselidze, Z. Arziani

Abstract

Mankind has gone through the process of evolution in the environment of natural electric, magnetic and gravitational fields. The origin of the existence and development of life is determined by cosmic factors. The main cause of all physical and biochemical processes occurring on Earth is the sun, the influence of which on living organisms is determined by several factors: the heat flux of the sun, radioactive radiation and the level of activity, the exclusion of which influence on living organisms would be wrong. However, in addition to high-frequency electromagnetic waves, which include heat flux and radioactive radiation, there are also low-frequency waves. They are related to the activity of the sun. Therefore, of particular interest to society is the problem of how natural factors act on living organisms, and among them the magnetic (geomagnetic) field of the Earth. The effects of penetrating radiation on organic matter have been studied quite well, although the effect of the magnetic (geomagnetic) field mechanism on living organisms has not yet been clearly expressed and contains many secrets.

Key words: Earth's magnetic field, human health.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ И ЧЕЛОВЕК

Кереселидзе З., Арзиани З.

Реферат

Человечество пережило процесс эволюции в среде природного электрического, магнитного и гравитационного полей. Зарождение существования и развития жизни определяют космические факторы. Главной причиной происходящих на Земле всех физических и биохимических процессов является солнце, влияние которого на живые организмы определяют несколько факторов: тепловой поток солнца, радиоактивное излучение и уровень активности, исключение влияния которых на живые организмы было бы неправильно. Однако, кроме высокочастотных электромагнитных волн, к которым относятся тепловой поток и радиоактивное излучение, существуют, также, низкочастотные волны. Они связаны с активностью солнца. Поэтому, особый интерес общества вызывает проблема, как действуют на живые организмы природные факторы и среди них магнитное (геомагнитное) поле Земли. Эффекты проникающей радиации на органическую материю достаточно хорошо исследованы, хотя действие механизма магнитного (геомагнитного) поля на живые организмы пока не четко выражено и содержит множество секретов.

Ключевые слова: магнитное поле Земли, здоровье человека.

დუშეთის ობსერვატორიის 2020-2021 წლების მაგნიტური ველის ვარიაციების დროით-სივრცითი გამოკვლევა

ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., მეზალიშვილი ნ.

თსუ, მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

მაღალი დისკრეტიზაციის ანათვალის გეომაგნიტური ველის ორთოგონალური პარამეტრებისა საშუალებას გვაძლევს შევიქმნათ სწორი წარმოდგენა დედამიწის მაგნიტური ველის ქცევაში, ვიყოთ ობიექტურები ველის ვარიაციებისა და ტენდენციების შეფასებაში, რაც, თავის მხრივ, დაგვებმარება, შევნიშნოთ ველის მახასიათებლებში იშვიათი ანომალიები. ამასთან, მონაცემთა დამუშავების პროცესში ხშირად შეიძლება საქმე გვქონდეს გარდაუვალ ფილტრაციის ამოცანებთან, რომელთა წარმატებით გადაწყვეტა სუბიექტური დასკვნების შექმნისაგან დაგვიცავს. გეომაგნეტიზმის თეორია ითვალისწინებს მაღალი დინამიკის მქონე გეოფიზიკური მონაცემების კვლევას. მიუხედავად დედამიწის მაგნიტური ველის ვარიაციების ურთულესი ბუნებისა, თანამედროვე ტექნიკური შესაძლებლობები გარკვეულ იმედებს იძლევა კვლევების სანდოობის თვალსაზრისით. ჩვენს ნაშრომში მოყვანილია კვლევის ისეთი მეთოდები, რომლებიც ადაპტირებულია სხვადასხვა საბუნებისმეტყველო მიმართულებასთან, პროცესების მთავარი მახასიათებლების შესწავლისა და მნიშვნელოვანი კანონზომიერების იდენტიფიცირებისთვის, რაც, თავის მხრივ, მაღალი სანდოობის ინტერპრეტაციებს და დასკვნებს იძლევა. მონაცემთა დროით-სივრცითი ანალიზის ბევრი მეთოდი არსებობს, მათ შორისაა, გაფართოებული სტატისტიკური ანალიზი, სხვადასხვა პიკური დონისა და გეომაგნიტურ მდგენელთა თვისებრივი (შესაბამისად, მიხრილობათა) ცვლილებები დროში, სპექტოგრამული და სხვა ვიზუალური მანქანური შესაძლებლობებით ძლიერი, საშუალო და სუსტი ანომალიების აღმოსაჩენად.

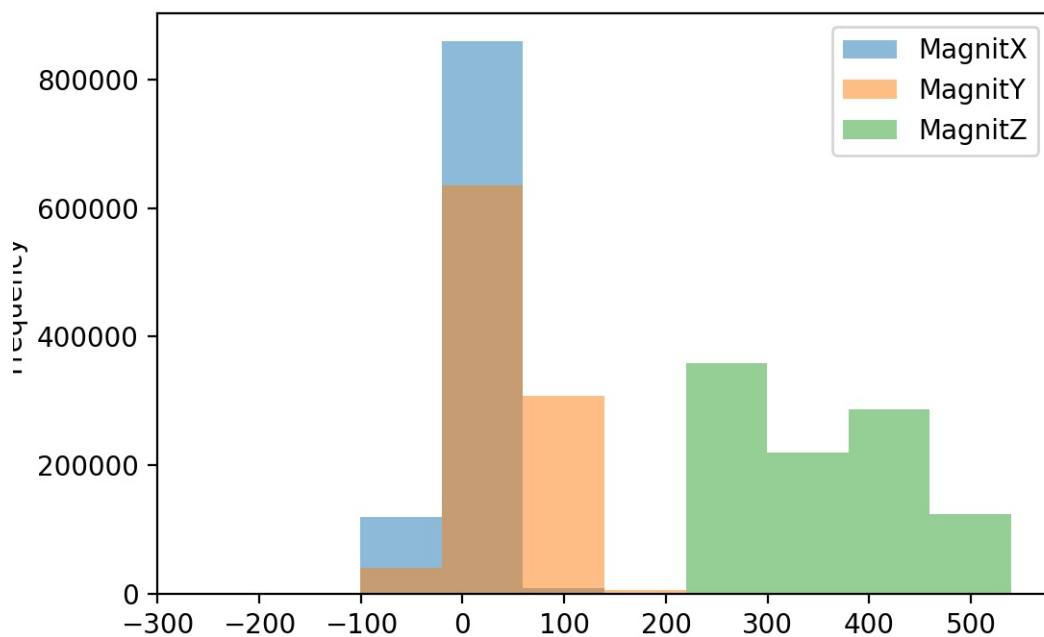
დუშეთის ობსერვატორიის 2020-2021 წლების მაგნიტური ველის მდგენლების ყოველწუთიერი ჩანაწერი მოიცავს Time – დროს, X, Y და Z – მაგნიტური ველის შესაბამის მდგენლებს. დრო აღრიცხულია წუთობრივი დისკრეტიზაციით, მონაცემთა მასივის სიგრძე კი მოიცავს 990612 ჩანაწერს.

ქვემოთ მოყვანილი ცხრილი 1. გვიჩვენებს მონაცემთა ზოგადსტატისტიკურ მნიშვნელობებს. მათ შორისაა ძირითადი სტატისტიკური მახასიათებლები.

ცხრილი 1. 2020-2021 დუშეთის ობსერვატორიის მაგნიტური ველის მდგენლების ჩანაწერთა სტატისტიკა (ე.წ. Describe)

	MagnitX	MagnitY	MagnitZ
count	990612.000000	990612.000000	990612.000000
mean	6.653477	43.593003	352.956217
std	25.245375	35.184209	80.340438
min	-260.162000	-89.558000	209.985000
25%	-8.238250	19.385000	272.527000
50%	8.108000	48.824000	352.088000
75%	23.799000	64.118000	420.433000
max	151.281000	191.524000	539.250000

მაგნიტური ველის მდგენლებისთვის ნაჩვენებია სიხშირეთა ჰისტოგრამული წარმოდგენა, რომელიც საშუალებას გვაძლავს, უფრო კონკრეტულად დავაკვირდეთ ანომალიების ინტენსივობას (წილობრივ რაოდენობას) მთელ დროით მწკრივებში. აშკარად იკვეთება მდგენელთა ვარიაციებში დომინანტურად მეტად ცვალებადი მნიშვნელობები.



ნახ. 1. 2020-2021 დუშეთის ობსერვატორიის მაგნიტური ველის მდგენლების ჩანაწერთა ჰისტოგრამული წარმოდგენა.

ნახ. 1. საშუალებას იძლევა, განვმარტოთ X, Y და Z მდგენელთა თავისებურებები. X, Y-ების ქცევის ბუნება აშკარად თანხვედრილია, რაც ურთიერთშეთანხმებულ ვარიაციებს კიდევ ერთხელ ადასტურებს. იმავეს ვერ ვიტყვით Z მდგენელზე. ის აშკარად ნაკლებად ვარიაციულია და მისი მნიშვნელობათა განაწილების წესი ახლოსაა თანაბარ განაწილებასთან.

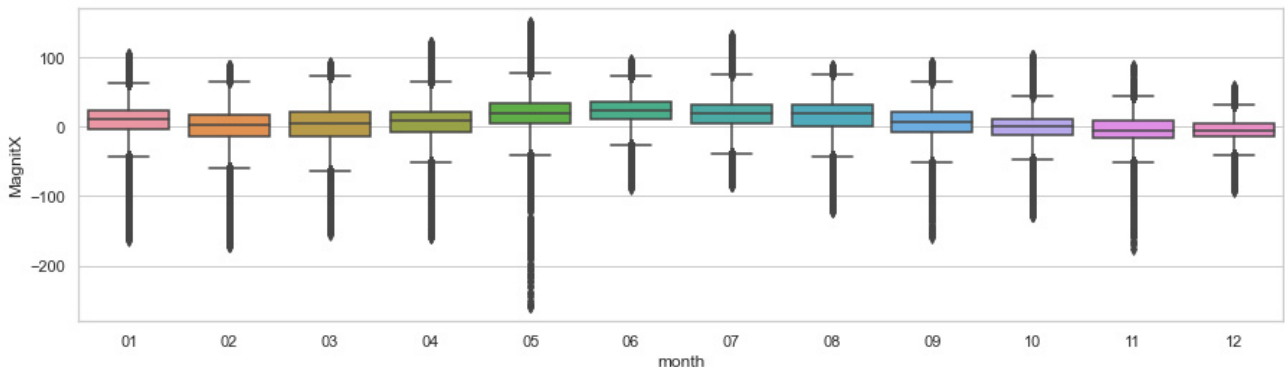
ცხრილი 2-ზე კარგად ჩანს მდგენელთა შორის კორელაციური კავშირები.

ცხრილი 2. 2020-2021 დუშეთის ობსერვატორიის მაგნიტური ველის მდგენელების ჩანაწერთა კორელაციური კავშირების ცხრილი.

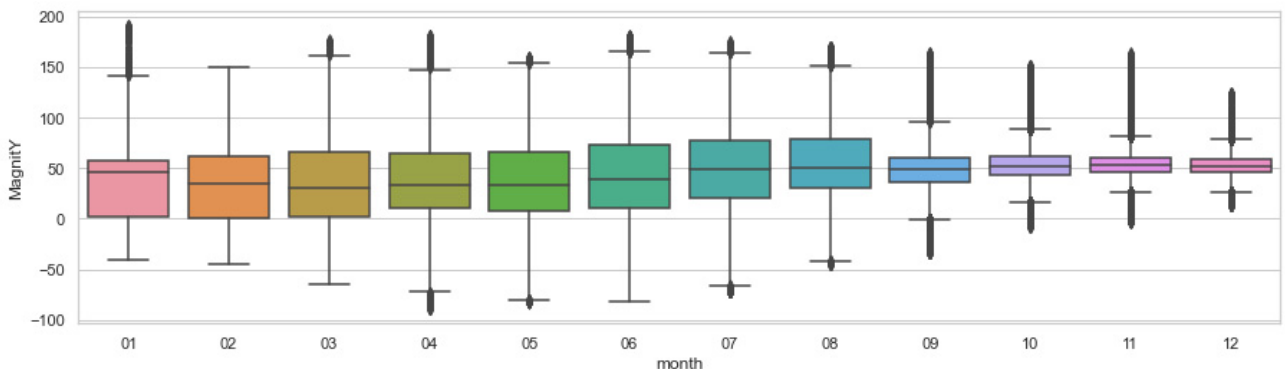
	MagnitX	MagnitY	MagnitZ
MagnitX	1.000000	-0.387206	-0.157344
MagnitY	-0.387206	1.000000	0.621403
MagnitZ	-0.157344	0.621403	1.000000

ყურადღებას იქცევს ის ფაქტი, რომ მაღალი კორელაციაა Y და Z მდგენლებს შორის (0,62).

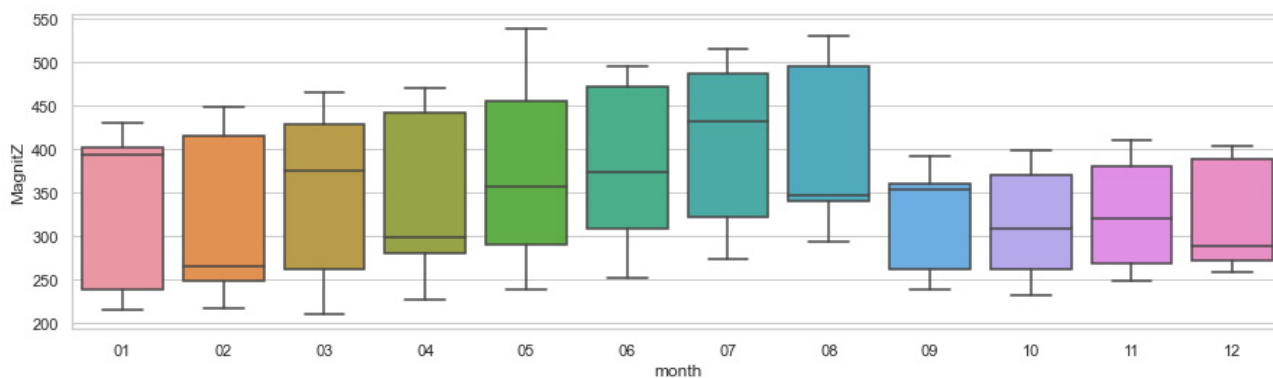
აქედან გამომდინარე, საჭიროდ ჩავთვალებთ, გამოვიკვლიოთ თითოეული მათგანის განაწილება თვისებებზე ეპიზოდურად ბოქსჩარტების გამოყენებით.



X-მდგენელი



Y-მდგენელი



Z-მდგენელი

ნახ. 2. 2020-2021 დუშეთის ობსერვატორიის მაგნიტური ველის მდგენლების ჩანაწერთა განაწილების ყოველთვიური ანალიზი.

როგორც უკვე ჩანს ნახ. 2-დან, მაისი ორივე წელს განსაკუთრებით განსხვავდება სხვა თვეებისგან. ვფიქრობთ, ეს თვე იმსახურებს ცალკე შესწავლას სხვა გეოფიზიკურ პროცესებთან მიმართებაში. X და Z მდგენლები მაის-ივნისში აჩვენებს ვარიაციის კოეფიციენტის ძლიერ ცვლილებას, საგრძნობლად იხრება საშუალო მნიშვნელობა მაქსიმუმისკენ. ზოგადად, თვიდან თვემდე აშკარაა სამივე მდგენელზე, განსაკუთრებით Z მდგენელზე, საშუალო შეწონილი მნიშვნელობების ძლიერი ვარიაცია. ამ მდგენლისთვის ფაქტიობრივად, განაწილების მთელ პოლიგონზე ვერ იპოვით მსგავს თვეებს. იმავეს ვერ ვიტყვით X მდგენელზე. პროცესი სტაციონარულია და მისი ძირითადი სტატისტიკური მახასიათებლები სტაბილურია. ამ თვალსაზრისით ვღებულობთ, რომ X არის სტაციონარული, Y-ს გააჩნია საშუალოს გასწვრივ მაღალ მნიშვნელობათა კუმულაციის ნაზრდი თვისება, რაც შეიძლება მიუთითებდეს გარკვეული დროით პროცესის სტანდარტულ ნორმალურ განაწილებად ჩამოყალიბებაზე.

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Balasis G., Daglis I. A., Anastasiadis A., Papadimitriou C., Manda M., Eftaxias K. Universality in Solar Flare, Magnetic Storm and Earthquake Dynamics Using Tsallis Statistical Mechanics. *Physica A* 390, 2011, pp. 341–346. doi:10.1016/j.physa.2010.09.029
2. Bottou L., Bousquet O. “The Tradeoffs of Large Scale Learning,” in *Optimization for Machine Learning*. Editors S. Sra, S. Nowozin, and S. Wright (Cambridge: MIT Press), 2012, pp. 351–368.
3. Brownlee J. *Imbalanced Classification with Python: Better Metrics, Balance Skewed Classes, Cost-Sensitive Learning*. Kindle Edition. Amazon. 2021, Available at: <https://amzn.to/3s4Ihfb>
4. Глатзмайер Г.А., Робертс П. Х. Трёхмерное самосогласованное компьютерное моделирование разворота геомагнитного поля. *Природа*, 377(6546), 1995, с. 203–209.
5. Loshchilov I., Hutter F. Fixing Weight Decay Regularization in Adam. 2017. arXiv:1711.05101v2.

6. Kingma D.P., Ba J. A Method for Stochastic Optimization. 22 Dec 2014 (v1), last revised 30 Jan 2017 (this version, v. 9).
7. Kratsios A. Deep Arbitrage-Free Learning in a Generalized HJM Framework via Arbitrage Regularization Data. 2020.

დუშეთის ობსერვატორიის 2020-2021 წლების მაგნიტური ველის ვარიაციების დროით-სივრცითი გამოკვლევა

ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., მეზაღიშვილი ნ.

რეზიუმე

ნაშრომში შესწავლილია დუშეთის გეომაგნიტური ობსერვატორიის 2020-2021 წლების მაგნიტური ველის მდგენლების ყოველწუთიერი ჩანაწერების დროით-სივრცითი ანალიზი. გამოყოფილია ძლიერი ანომალური ეპიზოდები 2021-2022 წლის მაის-ივნისის პერიოდში. პერიოდულად დაიკვირვება ცვლილებები მაგნიტური ველის მდგენლებისთვის განაწილების წესებში, მაგრამ არ ფიქსირდება სტატისტიკური მახასიათებლების ძლიერი ცვლილებები. გამოიკვეთა X მდგენლის სტაციონარობა დროში ორივე წელს და Z მდგენლისთვის, პირიქით, არასტაციონარული ბუნება, ვინაიდან არასტაბილურია ძირითადი სტატისტიკური პარამეტრის მნიშვნელობები. სამივე მდგენლისთვის ჩატარებულმა ტესტმა ნორმალური განაწილების შესახებ უარყოფითი პასუხი მოგვცა. ისინი, როგორც მაგნიტური ველის მთავარი კომპონენტები, ეპიზოდურად ავლენენ სუსტ და ძლიერ ანომალიებს. გარკვეულწილად, ეს პროცესები მონაცვლეობითი კანონზომიერებით ხასიათდება. უნდა აღინიშნოს, რომ ადრე ჩატარებული კვლევებთან შედარებით 2020-2021 წლებში მაგნიტური ველის მდგენლებში განსხვავებული ბუნების ანომალიები არ შეინიშნება და თვისობრივად ძლიერ განსხვავებული პროცესები არ გვაქვს. პროცესთა ურთერთ-მსგავსებაზე ჩატარებული ტესტები ამას მკაფიოდ ადასტურებენ.

საკვანძო სიტყვები: მაგნიტური ველის მდგენლები, სტატისტიკური მახასიათებლები.

TEMPORAL-SPATIAL STUDY OF 2020-2021 MAGNETIC FIELD VARIATIONS AT DUSHETI GEOMAGNETIC OBSERVATORY

Kiria T., Nikolaishvili M., Mebaghishvili N.

Abstract

The work considers the temporal-spatial analysis of the minutely records of the magnetic field components in 2020-2021 at Dusheti Geomagnetic Observatory. Strong anomalous episodes in the period of May-June 2021-2022 are distinguished. Periodically, variations in the rules for magnetic field components distribution are observed, but any strong changes in the statistical characteristics have not been recorded. It was revealed that X component was stationary in time during both years, while Z component had non-stationary nature,

since the values of the main statistical parameter were unstable. The test for normal distribution for all three components gave us a negative answer. As the main components of the magnetic field, they periodically show weak and strong anomalies. To some extent, these processes are characterized by alternating regularity. It is noteworthy that, compared to previous studies, in 2020-2021, any anomalies of a different nature in the magnetic field components have not recorded and qualitatively very different processes have not been observed either. It is clearly confirmed by the tests conducted on the similarity of the processes.

Key words: Magnetic field components, statistical parameter.

ВРЕМЕННО-ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ДУШЕТСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В 2020-2021 ГГ.

Кирия Т., Николаишвили М., Мебагишвили Н.

Реферат

В статье исследуется временно-пространственный анализ поминутных записей составляющих магнитного поля Душетской геомагнитной обсерватории за 2020-2021 годы. Выделены сильные аномальные эпизоды в период май-июнь 2021-2022 гг. Периодически наблюдаются изменения правил распределения составляющих магнитного поля, но сильных изменений статистических характеристик не зафиксировано. Выявлена стационарность составляющего X в течение обоих лет, тогда как Z - составляющего носила нестационарный характер, так как значения основного статистического параметра были нестабильны. Тест на нормальное распределение для всех трех коэффициентов дал нам отрицательный ответ. Как основные компоненты магнитного поля они периодически проявляют слабые и сильные аномалии. В какой-то мере эти процессы характеризуются чередующейся закономерностью. Следует отметить, что по сравнению с предыдущими исследованиями, в 2020-2021 гг. в составляющих магнитного поля отсутствуют аномалии иного характера и качественно совсем других процессов тоже не наблюдается. Проведенные тесты на подобных процессах наглядно это подтверждают.

Ключевые слова: составляющие магнитного поля, статистический параметр.

ი უ ბ ი ლ ე ე ბ ი

ვულოცავთ დაბადების დღეს გეოფიზიკის ინსტიტუტის იუბილარებს

2022 წელს 90 წელი შეუსრულდა ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს **ჯუმბერ ხარჩილავას**; 85 წელი შეუსრულდა დედამიწის ფიზიკისა და გეომაგნეტიზმის სექტორის მეცნიერ თანამშრომელს. ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს **ნოდარ მებაღიშვილს**; 75 წელი შეუსრულდა ატმოსფეროს ფიზიკის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს **თეიმურაზ ბლიაძეს**; 75 წელი შეუსრულდა გამოყენებითი და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის სექტორის უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს **ავთანდილ თარხან-მოურავს**; 70 წელი შეუსრულდა კოსმოსური კვლევის ცენტრის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს, საქართველოს სახელმწიფო პრემიის ლაურეატს მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, აკადემიკოს **გიორგი ჩაგელიშვილს**.

იუბილარებს ვულოცავთ ღირსშესანიშნავ თარიღს, ვუსურვებთ დიდხანს სიცოცხლეს და ჯანმრთელობას, დიდ წარმატებებს პირად ცხოვრებასა და სამეცნიერო საქმიანობაში.

გიორგი ჩაგელიშვილი - ცნობილი ქართველი ფიზიკოსი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოსური კვლევის ცენტრის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი, საქართველოს სახელმწიფო პრემიის ლაურეატი მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, დაიბადა 1952 წლის 3 დეკემბერს ქ. ქუთაისში. 1974 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი. გ. ჩაგელიშვილი 1974 წლიდან მუშაობდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიკის ინსტიტუტში, სადაც გაიარა საასპირანტურო კურსი და დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. 1978 წლ იდან ის საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორიის თანამშრომელია, ხოლო 2009 წლიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელია. გ. ჩაგელიშვილმა 1990 წელს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე „არამდგრადობები კომპაქტური ობიექტების აკრიაციულ დისკოებში და მათი გამოვლენა“.

2001 წელს აირჩიეს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტად, ხოლო 2013 -საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსად.

აკად. გ. ჩაგელიშვილის მოღვაწეობის სამეცნიერო სფეროა: უწყვეტი გარემოს (მათ შორის პლაზმის) დინამიკა, ასტროფიზიკა, არაწრფივი დინამიკა და თვითორგანიზაცია, ტურბულენტობა არაერთგვაროვან დინებებში.

აკად. გ. ჩაგელიშვილს 2002 წელს მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში 1979-1999 წლებში შესრულებულ შრომათა ციკლისათვის

„დინამიკური პროცესები წანაცვლებით დინებებში და მათი გამოვლინება ასტროფიზიკურ ობიექტებში“.

ჯუმბერ ხარჩილავა - ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი, საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი დაიბადა 1932 წლის 12 ნოემბერს. 1957 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი გეოფიზიკოსის სპეციალობით, 1970 წელს მოსკოვში დაიცვა დისერტაცია გეოგრაფიულ მეცნიერებათა სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად, ხოლო 1994 წელს თბილისში, გეოფიზიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო ხარისხების მიმნიჭებელ სპეციალიზირებულ საბჭოს სხდომაზე დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე “ატმოსფერული ოზონის ვარიაციების გამოკვლევა“. ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორში ჯ. ხარჩილავას ეკავა უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის, ღრუბლების ფიზიკისა და აქტიური ზემოქმედების განყოფილების ექსპერიმენტული პოლიგონის ხელმძღვანელის, ატმოსფეროს ოზონის და აეროზოლების ფიზიკის განყოფილების გამგის, მთავარი მეცნიერი თანამშრომლის თანამდებობები.

ჯ. ხარჩილავას საქმიანობა ეხება ატმოსფეროს ფიზიკის ისეთ მიმართულებებს, როგორებიცაა ატმოსფეროს ოზონი, ღრუბლების ფიზიკა, ელჭექისა და სეტყვის მოვლენები, მცირე მინარევები ატმოსფეროში, ეკოლოგია. თუმცა მისი ძირითადი სამეცნიერო საქმიანობა დაკავშირებულია ატმოსფერული ოზონის ფიზიკასთან. თავისი სამეცნიერო საქმიანობის განმავლობაში ჯ. ხარჩილავამ გამოაქვეყნა 70 სამეცნიერო ნაშრომზე მეტი, მათ შორის 3 მონოგრაფია.

ჯ. ხარჩილავა არის ატმოსფერული ოზონის კვლევის დამაარსებელი მ. ნოდისას ხელისუფლების გეოფიზიკის ინსტიტუტში. 1964 წლიდან დღემდე მისი ხელმძღვანელობითა და უშუალო მონაწილეობით ჩატარდა ოზონის საერთო შემცველობის ვარიაციების, მისი ვერტიკალური განაწილების და აგრეთვე მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ცვალებადობის თავისებურებების გამოკვლევა. შესწავლილია ოზონის საერთო შემცველობის და მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის კავშირები ატმოსფერულ პროცესებთან და მეტეოროლოგიურ ფაქტორებთან. ატმოსფეროს ოპტიკური და ელექტროქიმიური ოზონოზონდირების საფუძველზე მიღებულია ოზონის ვერტიკალური განაწილების პროფილები საქართველოს სხვადასხვა რაიონებისთვის.

1989 წელს ცენტრალურ აეროლოგიურ ობსერვატორიასთან ერთად ჩატარდა წყლისპირა ოზონის კონცენტრაციისა და მისი ვერტიკალური განაწილების შესწავლა საზღვაო ექსპედიციის დროს წყნარი ოკეანის აკვატორიაში სამეცნიერო-კვლევითი გემის “აკადემიკოს შირშოვი“-ს 46-ე რეისის დროს.

შესწავლილია თბილისში მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის მნიშვნელობების ნახევარწლიური და წლიური ტრენდები. ჩატარებულია მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის საშუალოთვიური მნიშვნელობების შედარებითი ანალიზი თბილისისა და კისლოვოდსკის მაღალმთიან სადგურებისათვის.

მთელი რიგი ნაშრომებისა მიძღვნილია ოზონსა და ატმოსფერულ აეროზოლებს შორის კავშირის გამოკვლევას, მისი როლისადმი ყინულწარმომქმნელი ბირთვების შექმნაში, თბილისში ფოტოქიმიური სმოგის და აგრეთვე ოზონის როლისადმი, როგორც ჰაერის დაბინძურების ინდიკატორისა.

რიგი ბოლოდროინდელი კვლევებისა მიძღვნილი იყო COVID-19-ის პანდემიით გამოწვეული ავტოტრანსპორტის გადაადგილების შეზღუდვით გამოწვეული მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციის ზრდის შესწავლას.

ნოდარ მებაღიშვილი - დედამიწის ფიზიკისა და გეომაგნეტიზმის სექტორის მეცნიერ თანამშრომელი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი დაიბადა ქ. თბილისში 1937 წლის 12 აპრილს. 1965 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი. 1963 წლიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის გეომაგნეტიზმის განყოფილების თანამშრომელია. 1974 წელს ირკუტსკში დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე „საშუალო განედებში იონოსფეროს F - გარემოს აღრევების ზოგიერთი საკითხები“. ნ. მებაღიშვილი მონაწილეობდა მეტად დაბალი სიხშირული გამოსხივებისათვის (OH ν) დამახასიათებელი თვისებების კვლევებში. ის, აგრეთვე მონაწილეობდა ჯგუფში, რომელიც სწავლობდა (OH ν) გამოსხივებებს დაბალ სიხშირეებზე. ამ ჯგუფმა შექმნა ხელსაწყო ამ გამოსხივების რეგისტრაციისათვის.

თეიმურაზ ბლიაძე - ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის მთავარი მეცნიერ თანამშრომელი, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი დაიბადა 1947 წლის 8 აპრილს. 1970 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი. 1970-1974 წლებში მუშაობდა სხვადასხვა თანამდებობებზე ანალიზური ხელსაწყოთმშენებლობის სპეციალურ საკონსტრუქტორო ბიუროსა და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში. თ. ბლიაძე 1975-1978 წლებში გეოფიზიკის ინსტიტუტის ასპირანტია, 2005 წელს დაიცვა სამეცნიერო ხარისხი ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერების კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე „სეტყვის მარცვლების ზრდის პროცესის ექსპერიმენტული მოდელირება“.

თ. ბლიაძის სამეცნიერო საქმიანობა დაკავშირებულია გეოფიზიკის ისეთ სფეროებთან, როგორც არის ატმოსფეროს ფიზიკა, ღრუბლების ფიზიკა, ატმოსფერული პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება, სეტყვის მოვლენა, მცირე მინარევები ატმოსფეროში, კლიმატის ცვლილება, ეკოლოგია. თ. ბლიაძემ გამოაქვეყნა 50-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 1 მონოგრაფია.

კერძოდ, თავისი სამეცნიერო საქმიანობის პერიოდში თ.ბლიაძე დაკავებული იყო ისეთი საკითხებით, როგორებიცაა სეტყვის მარცვლების ზრდის ექსპერიმენტული მოდელირება ხელოვნური საღრუბლო გარემოს სხვადასხვა პარამეტრების დროს, სხვადასხვა ფორმის სეტყვის მარცვლების აეროდინამიკა, კლიმატის ცალკეული ელემენტების ცვლილება საქართველოს სხვადასხვა რაიონში, ფოტოქიმიური სმოგის წარმოქმნა და ევოლუცია თბილისის პირობებში და მისი ზემოქმედება ადამიანების ჯანმრთელობაზე, ფოტოქიმიური სმოგის შემადგენლებზე აქტიური ზემოქმედების შემუშავება და სხვ.

ბოლო დროს თ.ბლიაძის უშუალო მონაწილეობით პირველად საქართველოში დაწყებულია სხვადასხვა რაიონებისათვის სახანძრო საშიშროების ინდექსისა და კლიმატის ცვლილების ფონზე მისი ცვალებადობის გამოკვლევები.

ავთანდილ თარხან-მოურავი - გამოყენებითი და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის სექტორის უფროსი მეცნიერ თანამშრომელი, გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორი დაიბადა 1947 წლის 4 ოქტომბერს. 1970 წელს დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი გეოფიზიკოსის სპეციალობით. 1971 წლიდან გეოფიზიკის ინსტიტუტის ჯერ ელექტრომეტრიის, შემდეგ კი წყალსაცავების საინჟინრო გეოფიზიკური კვლევების ლაბორატორიის თანამშრომელია. 1974-1978 წლებში დაუსწრებელი სწავლების ასპირანტია. 1982 წელს დაიცვა დისერტაცია გეოლ.-მინ. მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე „გეოლოგიური სტრუქტურების ეფექტურონის კვლევა და

სიხშირული ელექტრომაგნიტური ზონდირების ინტერპრეტაციის ხერხების დამუშავებან. ავთანდილ თარხან-მოურავის სამეცნიერო საქმიანობა დაკავშირებულია ძიების ელექტრომეტრული მეთოდებით სხვადასხვა საინჟინრო გეოლოგიური ამოცანების გადაწყვეტასთან (მშენებლობა, მეწყერები, ღვარცოფები, წყლის ძიება და სხვა). წყლის ძიების მიზნით ავთ. თარხან-მოურავი 1988-1991 წლებში სამეცნიერო მივლინებით იმყოფებოდა სირიის არაბთა რესპუბლიკაში. 1997-2005 წლებში იყო საქართველოს გეოლოგიური დეპარტამენტის გეოფიზიკური განყოფილების უფროსი.

ლ. დარახველიძე

Ю Б И Л Е И

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРОВ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ С ДНЕМ РОЖДЕНИЯ

В 2022 году исполнилось: 70 лет видному грузинскому ученому, главному научному сотруднику Центра космических исследований Института геофизики, доктору физико-математических наук, лауреагу Государственной премии Грузии по науке и технике, действительному члену Национальной академии наук Грузии **Георгию Давидовичу Чагелишвили**; 90 лет – старшему научному сотруднику Сектора физики атмосферы, доктору физико-математических наук, академику Академии экологических наук Грузии **Джумберу Фомичу Харчилава**; 85 лет - научному сотруднику Сектора физики Земли и магнетизма, академическому доктору физико-математических наук **Нодару Николаевичу Мебагишвили**; 75 лет - главному научному сотруднику Сектора физики атмосферы, академическому доктору физико-математических наук **Теймуразу Герасимовичу Блиадзе** и старшему научному сотруднику Сектора прикладной и экспериментальной геофизики, академическому доктору геолого-минералогических наук **Автандилу Георгиевичу Тархан-Моурави**.

Поздравляем юбиляров с днем рождения. Желает им долголетия, здоровья, счастья, благополучия, долгих лет вдохновенной научной деятельности, всего - всего доброго им самим, и их семьям.

Л.К. Дарахвелидзе

ვ ი ხ ს ე ნ ე ბ თ კ ო ლ ე გ ე ბ ს

ვიხსენებთ 2022 წლის იუბილარებს - გეოფიზიკის ინსტიტუტის იმ მეცნიერებს, რომლებმაც მნიშვნელოვანი წვლილი შეიტანეს საქართველოში გეოფიზიკური მეცნიერების განვითარებაში

120 წელი შეუსრულდებოდა გამოჩენილ ქართველ სეისმოლოგს, გეოფიზიკის ინსტიტუტის ერთ-ერთ ფუძემდებელს, რეგიონული სეისმოლოგიის განყოფილების ხელმძღვანელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს, დოცენტ ალექსანდრე (საშა) ცხაკაიას (1902-1970);

115 წელი შეუსრულდებოდა გამოჩენილ ქართველ გეოფიზიკოსს, მეცნიერების დამსახურებულ მოღვაწეს, სეისმოძიების განყოფილების ხელმძღვანელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ გური თვალთვამეს (1907-1970):

90 წელი შეუსრულდებოდათ:

ოინოსფეროს ფიზიკის დარგში თვალსაჩინო სპეციალისტს, ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს სამეცნიერო ნაწილში 1974-1984 წლებში, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს გიორგი ხოჭოლაავას (1932-1988);

ცნობილ სპეციალისტს სეისმოძიების დარგში, ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს სამეცნიერო ნაწილში 1985-2005 წლებში, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს ვახუშტი ჭიჭინძეს (1932-2013);

ცნობილ სპეციალისტს ატმოსფეროს ფიზიკის დარგში, ყოფილი საბჭოთა კავშირის მინისტრთა საბჭოს პრემიის ლაურეატს მეცნიერებისა და ტექნიკის დარგში, ატმოსფეროს აეროზოლების ფიზიკის განყოფილების ხელმძღვანელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ ვლადიმერ ხორგუანს (1932-1996);

ინსტიტუტის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელს, გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ რამაზ ღამბაშიძეს (1932-2011);

მიწისძვრების ფიზიკის განყოფილების წამყვან მეცნიერ თანამშრომელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორს ნოდარ თუთბერიძეს (1932-2016);

ატმოსფეროს ოზონისა და აეროზოლების ფიზიკის განყოფილების უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, გეოგრაფიულ მეცნიერებათა კანდიდატს ოფელია ლომაიას (1932-2021);

სეისმოძიების განყოფილების უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, 1982 წლიდან ინსტიტუტის საცდელ-მეთოდური გეოფიზიკური ექსპედიციის წამყვან სპეციალისტს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს, რევაზ მახარაძეს (1932-2008);

გეოდინამიკის განყოფილების უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, სპეციალისტს მადნეული საბადოების ელექტროსაძიებო მეთოდებით ძებნა-ძიებაში, გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა კანდიდატს გრიგოლ (გრიელ) ტაბაღუას (1932-2012);

ქანების ფიზიკის განყოფილების უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს შალვა ჩიხრაძეს (1932-1981);

რადიომეტრიის განყოფილების უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, 1982 წლიდან ინსტიტუტის საცდელ-მეთოდური გეოფიზიკური ექსპედიციის რადიოქიმიური დაკვირვებების უბნის უფროსს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს თამაზ ხუნჯუას (1932-2008).

ლ. დარახველიძე

ПАМЯТИ КОЛЛЕГ

Вспоминаем юбиляров 2022 года - бывших сотрудников Института геофизики, которые сыграли значительную роль в развитии геофизической науки в Грузии

120 лет исполнилось со дня рождения известного сейсмолога, одного из основателей Института геофизики, кандидата физ.-мат наук, доцента Александра Давидовича Цхакая; 115 лет исполнилось со дня рождения известного геофизика, заслуженного деятеля науки, доктора физ.-мат. наук, профессора Гурия Калистратовича Твалтвადзе.

90 лет исполнилось со дня рождения доктора физ.-мат наук, проф. В.Г. Хоргуани, доктора геол.-мин. наук. проф. Р.А. Гамбашидзе, докторов физ.-мат наук Г.М. Хочолава и Н.П. Тутберидзе; кандидатов физ.-мат наук В.К. Чичинадзе, Р.К. Махарадзе, Г.Г. Табагуа, Ш.Г. Чихрадзе и Т. Хунджуа, кандидата географ. Наук О.В. Ломая.

Рук. издательской группы, Л.К. Дарахвелидзе

ვასო ქოიავა (1902 – 1972)

2022 წლის 20 აგვისტოს 120 წელი შეუსრულდებოდა გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოსური სხივების განყოფილების უფროს მეცნიერ თანამშრომელს, 1959-1969 წლებში ამავე განყოფილების გამგეს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატს ვასილ კონდრატეს ძე ქოიავას.

ვ.ქოიავა დაიბადა ქ. ფოთში. ფოთის გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ მუშაობდა ფოთის საშუალო სკოლაში ფიზიკისა და მათემატიკის მასწავლებლად. 1927-1932 წლებში სწავლობდა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის ფაკულტეტზე, ამავე დროს ის აგრძელებდა პედაგოგიურ მოღვაწეობას. 1945 წლიდან ვ. ქოიავა იწყებს მუშაობას საქართველოს ჰიდრო-მეტეოროლოგიური სამსახურის სამმართველოში. 1945-46 წლებში იყო ყაზბეგის მაღალმთიანი მეტეო-სადგურის ტექნიკოსი, შემდეგ სპეციალისტი. 1946 წლიდან მუშაობს თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის დედამიწის მაგნეტიზმის განყოფილებაში ჯერ სპეციალისტის, შემდეგ ინჟინრის თანამდებობაზე, მონაწილეობს განყოფილების სამეცნიერო კვლევებში, ამუშავებს თემას „მაგნიტური პულსაციები“.

კოსმოსური სხივების ვარიაციების შესწავლის მიზნით, ყოფილი საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის დედამიწის მაგნეტიზმისა და რადიოტალღების გავრცელების ინსტიტუტის ინიციატივით და პირადად ვ. ქოიავას მონაწილეობით თბილისში, საქართველოს ჰიდრო-მეტეოსამსახურის სისტემაში 1952-1953 წლებში საქართველოს გეოფიზიკურ ობსერვატორიაში დაარსდა კოსმოსური სხივების ინტენსივობის უწყვეტი რეგისტრაციის სადგური. 1953 წელს სადგურში გაშვებულ იქნა ACK-2 ტიპის საიონიზაციო კამერა, ამრიგად კავკასიაში პირველად მიღებული იქნა მონაცემები კოსმოსური სხივების მეზონური კომპონენტის ინტენსივობის შესახებ. 1956 წელს სადგური გადაეცა საკავშირო კავშირგაბმულობის რადიოცენტრს, შემდეგ - კი (1956 წ.), საქართველოს მთავრობის დადგენილებით - საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის განყოფილებას. მალე სადგური გარდაიქმნა კოსმოსური სხივების ლაბორატორიად. არსებობს ინსტიტუტის იმდროინდელი დირექტორის ბატონ ალ. ბუხნიკაშვილის 1956 წლის 1 დეკემბრის ბრძანება. რომლის თანახმადაც კოსმოსური სხივების ლაბორატორიის გამგედ დამტკიცდა ვ.ქოიავა. ლაბორატორიისათვის გამოყოფილი სათანადო ფართობი უკვე ვერ აკმაყოფილებდა სამეცნიერო კვლევების დიდი მასშტაბით ჩატარებას, ახალი ხელსაწყო-დანადგარების დამონტაჟებას. დადგა საკითხი ახალი ექსპერიმენტული ბაზის შექმნის შესახებ. ამ პრობლემის მოგვარება თავის თავზე აიღო ბატონმა ვასო ქოიავამ და რაც აუცილებელია აღინიშნოს, ეს მან შესანიშნავად შეასრულა. დიდი სიმძნელების გადალახვისა და შრომატევადი სამუშაოების ჩატარების შედეგად, ბატონმა ვასომ მოახერხა, რათა ჯერ თბილისის გარე უბანში, დელისში, დაუსახლებელ ტერიტორიაზე ექსპერიმენტული ბაზის ასაშენებლად გამოეყოთ საკმაოდ დიდი მოცულობის მიწის ნაკვეთი, შემდეგ კი სათანადო პროექტის შედგენისა და მშენებლობის საკითხებზეც იზრუნა. ეს ორგანიზაციული სამუშაოები მან მაღალ დონეზე შეასრულა. 1957 წელს კოსმოსური სხივების ვარიაციების შემსწავლელი ექსპერიმენტული ბაზა მწყობრში ჩადგა. 1957-1958 წ.წ. საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის გამოკვლევებთან დაკავშირებით, უკვე კოსმოსური სხივების განყოფილების სტატუსით, განყოფილებაში დაიდგა ნეიტრონული მონიტორი, კუბური ტელესკოპი და საიონიზაციო კამერა, რომლებზედაც 1958 წლის ოქტომბრიდან მიმდინარეობდა კოსმოსური სხივების სხვადასხვა მდგენელების ინტენსიურობათა ვარიაციების რეგისტრაცია, მიღებული მონაცემები იზავენებოდა საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის დაკვირვებათა მასალის შემგროვებელ და შემნახველ ცენტრებში. ამ დანაკვირვები მასალის დამუშავების საფუძველზე ინსტიტუტში მუშავდებოდა სამეცნიერო თემები კოსმოსური სხივების ინტენსიურობათა ვარიაციების შესასწავლად. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ დროისთვის განყოფილება უკვე დაკომპლექტებული იყო ნიჭიერი ახალგაზ-

რდა მკვლევარებით, რომლებიც აქტიურ მონაწილეობას ღებულობდნენ განყოფილების როგორც სამეცნიერო კვლევებში, ასევე დანაკვირვები მასალის დამუშავებაში და ხელსაწყო-დანადგარების შექმნასა და დამონტაჟებაში. საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტის აკადემიკოს მ. კელდიშის მხარდაჭერით მიღებული იყო დადგენილება საქართველოში კოსმოსური სხივების ლაბორატორიის სამეცნიერო-ტექნიკური ბაზის გაფართოების შესახებ. ვ.ქოიავას ინიციატივით და კოსმოფიზიკის დარგში ცნობილი მეცნიერების მხარდაჭერით დაიწყო მიწისქვეშა კომპლექსის მშენებლობა. ამ კომპლექსის გამართვას ესაჭიროებოდა არასტანდარტული აღჭურვილობა - დიდი ზომის მრიცხველები. განყოფილებაში შეიქმნა დიდი ზომის ნეიტრონული (СНМ – 15) და მეზონური (СГМБ-14) მთვლელები. 1971 წელს საკავშირო მეცნიერებათა აკადემიის საკონსტრუქტორო ბიურომ ვ. ქოიავას ინიციატივით დაიწყო ჯვარედინი Т - 9 ტელესკოპის დამზადება. თავის დარგში კოსმოსური სხივების განყოფილება უკვე წარმოადგენდა მძლავრ სამეცნიერო-ექსპერიმენტულ ბაზას, აღჭურვილს თანამედროვე ხელსაწყო - იარაღებით. უკვე შესაძლებელი ხდებოდა, რათა განყოფილება თავისი აღჭურვილობით და მეცნიერული დაკვირვებებით ამ დარგში გადაქცეულიყო მსოფლიო მნიშვნელობის ცენტრად. ამჟამად ეს არის მსოფლიოში, თავისი მეცნიერული კვლევების შედეგებით ცნობილი კოსმოფიზიკური ობსერვატორია. ობსერვატორიის კოსმოსური სხივების მონაცემებს ფართოდ იყენებენ სხვა ქვეყნის ცნობილი მეცნიერები.

1968 წ. ვ. ქოიავამ დაიცვა დისერტაცია ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე: „კოსმოსური სხივების ინტენსივობის ვარიაციების გამოკვლევა თბილისში“. ვ. ქოიავა განყოფილებას ხელმძღვანელობდა 1969 წლამდე. 1969 წლის 17 თებერვლიდან, თანახმად პირადი განცხადებისა, ბატონი ვასო განთავისუფლდა დაკავებული თანამდებობიდან და გადავიდა იმვე განყოფილებაში უფროსი მეცნიერი თანამშრომლის თანამდებობაზე. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ბატონი ვასო ატარებდა დიდ საორგანიზაციო სამუშაოებს თანამედროვე სამეცნიერო ლაბორატორიისა და ხელსაწყოების შესაქმნელად, არ იშურებდა თავის ენერგიას, თავის შესაძლებლობებს, ყურადღებას აქცევდა ახლადმიღებული კადრების აღზრდის საქმეს, იყო კარგი პედაგოგი და ხელმძღვანელი. მის ორგანიზატორულ ნიჭზე მეტყველებს ის ფაქტი. რომ მან ჯერ კიდევ ორმოცდაათიანი წლების დასაწყისში კოსმოსური სხივების სადგურის მშენებლობისათვის შეძლო მოეპოვებინა საკმაოდ დიდი ტერიტორია, სადაც შემდგომში შესაძლებელი გახდებოდა საცხოვრებელი სახლების აშენება თანამშრომლებისათვის. მართლაც, ამ ტერიტორიაზე უკვე არსებობს სამი საცხოვრებელი კორპუსი ინსტიტუტის თანამშრომლებისათვის და ეს უბანი ამჟამად ითვლება თბილისის ერთერთ პრესტიჟულ უბნად.

ვასილ ქოიავა გარდაიცვალა 1972 წლის 27 თებერვალს.

*თსუ, მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორი, ნ. ღლონტი
საგამომცემლო ჯგუფის ხელმძღვანელი, ლ. დარახველიძე*

Представлена информация о научно-организационной деятельности бывшего руководителя отдела космических лучей Института геофизики, кандидата физико-математических наук Василия Кондратьевича Коиава. В 1952-1953 годах при участии В.К. Коиава в системе гидрометслужбы Грузии была основана станция непрерывной регистрации интенсивности космических лучей. Затем станция была передана Институту геофизики АН Грузии. В дальнейшем, при активном участии Василия Кондратьевича для изучения вариаций космических лучей в институте была создана мощная экспериментальная база, оснащенная новейшей аппаратурой и ставшая впоследствии Космофизической обсерваторией, данные которой систематически рассылаются в мировые центры данных. В.К. Коиава скончался в 1972 году. Вечная память Василию Кондратьевичу Коиава.

*Директор Института геофизики им. М. Нодиа, ТГУ, Н. Глонти
Рук. издательской группы, Л.К. Дарахвелидзе*

მანანა სალუქვაძე

ერთი წელი გავიდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის წყლის რესურსებისა და ჰიდროლოგიური პროგნოზების განყოფილების უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის, გეოგრაფიის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორის, ღირსების ორდენის კავალერის, ქალბატონ მანანა სალუქვაძის გარდაცვალებიდან.



მანანა ევტიხის ასული სალუქვაძე დაიბადა 1949 წლის 1 იანვარს ოზურგეთის რაიონის სოფ. ლიხაურში, მოსამსახურის ოჯახში. იგი 1954-1958 წლებში სწავლობდა ქ. ბათუმის მე-9 საშუალო სკოლაში, ხოლო საცხოვრებლად თბილისში გადმოსვლის შემდეგ სწავლა გააგრძელა 39-ე საშუალო სკოლაში (ამჟამად მე-5 საჯარო სკოლა). სკოლის წარმატებით, ოქროს მედალზე დამთავრების შემდეგ, 1966 წელს, ქალბატონი მანანა ჩაირიცხა თბილისის ივანე ჯავახიშვილის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, ფიზიკის ფაკულტეტზე, თუმცა ხანგრძლივი ავადმყოფობის გამო მოუხდა აკადემიური შვებულების აღება და ფაკულტეტის შეცვლა. კერძოდ, ფიზიკის ფაკულტეტიდან გადავიდა გეოგრაფია-გეოლოგიის ფაკულტეტზე, რომელიც 1974 წელს წითელი დიპლომით დაამთავრა ინჟინერ-მეტეოროლოგის სპეციალობით. იმედის მომცემი სტუდენტი შეუმჩნეველი არ დარჩენია უნივერსიტეტის პროფესორ-მასწავლებლებს და იმავე წელს მიწვეულ იქნა მეტეოროლოგია-კლიმატოლოგია-ოკეანოლოგიის კათედრაზე სამუშაოდ უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე. ამ პერიოდში უნივერსიტეტის ღვაწლმოსილი მეცნიერი, პროფესორი გიორგი სულაქველიძე მუშაობდა კავკასიაში თოვლის ზვავების წარმოშობის, გავრცელებისა და მახასიათებლების პრობლემატურ საკითხებზე. ეს თემა განსაკუთრებით აქტუალური გახდა ამიერკავკასიის რკინიგზის მშენებლობის პროექტის შემუშავებასთან დაკავშირებით. აღნიშნულ სამუშაოებში ბატონმა გიორგიმ თავისი საყვარელი სტუდენტიც ჩართო. რაკი შენიშნა პროფესორმა ზვავების თემატიკით მოხიბლული მანანას უსაზღვრო დაინტერესება, ერთდროულად ორ თემაზე მუშაობა შესთავაზა. ერთი მაგისტრალს უკავშირდებოდა, მეორე სვანეთის ზვავების პრობლემას. მანანა ზვავასაშიშროების პრობლემებითა და შემარბილებელი ღონისძიებების კვლევით დაინტერესდა და 1977 წლიდან გადმოვიდა ამიერკავკასიის სამეცნიერო კვლევითი ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის (ახლანდელი ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი) ჰიდროლოგიის განყოფილებაში, ჯერ ინჟინრის (1977-78 წწ.), შემდეგ მეცნიერ თანამშრომლის (1979-91 წწ.), ხოლო 1991 წლიდან სიცოცხლის ბოლომდე - უფროს მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე.

მანანა მაღლიერი იყო თავისი ბედით, რომ მიეცა საშუალება თავისი ცხოვრება მიემდგნა საყვარელი საქმისათვის და იმ ადამიანისთვის, ვისთანაც პროფესიული საქმიანობა აკავშირებდა და მის მუდმივ, მყარ დასაყრდენს წარმოადგენდა. ეს ადამიანი გახლდათ მანანას მეუღლე, ბატონი ლადო ქალდანი - გეოგრაფიულ მეცნიერებათა დოქტორი, გამოჩენილი მეცნიერი, რომელსაც მიღებული აქვს საერთაშორისო სერტიფიკატი ზვავების კარტოგრაფირებაში (თურქეთი, 1998), შედგენილი აქვს მრავალი დასკვნა და რეცენზია დისერტაციებზე, ავტორეფერატებ-

ზე. კურირება და კონსულტაციებს უწევდა ამიერკავკასიისა და დაღესტნის ავტონომიური რესპუბლიკის ჰიდრომეტსამსახურებს, საპროექტო და სამშენებლო ორგანიზაციებს ზვავსასიშროების საკითხებში. მსოფლიო თოვლ-ყინულოვანი რესურსების ატლასში (1997) მოთავსებულია მის მიერ შედგენილი კავკასიის ზვავსასიშროების 4 რუკა, 1963-1980 წწ. მონაწილეობდა კარსტული მღვიმეების გამოკვლევაში და სხვ. ბატონი ლადო ერთ-ერთ უძლიერეს სპეციალისტად ითვლებოდა ზვავების კვლევის სფეროში, არამატო საქართველოში, არამედ მთელს ამიერკავკასიაში და საერთოდ ყოფილ საბჭოთა კავშირში. 2009 წლიდან კი, ბატონი ლადოს გარდაცვალების შემდეგ, მისი ტრადიციების გაგრძელება ქალბატონ მანანას მოუწია ცალუღელად და საკმაოდ წარმატებითაც გაართვა თავი. აი, ასეთი ავტორიტეტულ ადამიანთან ერთად ექსპედიციებში ყოფნის გამოცდილებით, უამრავ სარისკო თავგადასავლების ფასად მოპოვებული ინფორმაციის გათვალისწინებით, სამეცნიერო კვლევების, ლიტერატურული წყაროების შედეგების განზოგადებითა და ზვავების დინამიკისა და პროგნოზირების სფეროში საკუთარი კვლევების საფუძველზე, 1990 წელს ქალბატონმა მანანამ წარმატებით დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე: „კატასტროფული ზვავების გავრცელება საქართველოს ტერიტორიაზე და მათი მასიური ჩამოსვლის წინასწარმეტყველების მეთოდები“ და მიენიჭა გეოგრაფიის მეცნიერებათა კანდიდატის, ხოლო 2009 წლიდან გეოგრაფიის მეცნიერებათა აკადემიური დოქტორის წოდება.

2009 წლიდან მანანა გაათმაგებული ძალით შეუდგა ახალ-ახალ საგრანტო, თემატურ თუ საინიციატივო პროექტებზე მუშაობას, რომელთა შემოკლებული სია ასე გამოიყურება:

1. კატასტროფული წყალდიდობები, ღვარცოფები და თოვლის ზვავები საქართველოში და მათი უსაფრთხოება (გრანტი 2009-2012);
2. ზვავსასიშროში დასახლებული პუნქტების გამოვლენის და ზვავსასიშროების მახასიათებლების დადგენის საფუძველზე ზვავსასიშროების ღონისძიებების შემუშავება (2012-2014);
3. აჭარის მთიანი რაიონების ზვავსასიშროების პრობლემები და მათი შერბილების რეკომენდაციები (2015-2017);
4. ჩოხატაური-ბახმაროს საავტომობილო გზის ზვავსასიშროება (პირადი ინიციატივით 2016); 5. კურორტ ბახმაროს ზვავსასიშროება (პირადი ინიციატივით 2016); 6. თოვლის ზვავებისაგან დაცვა და სამაშველო სამუშაოები რეკომენდაცია, პირადი ინიციატივით 2016);
7. საქართველოს თოვლის ზვავების კადასტრი (პირადი ინიციატივით 2017) და ა.შ. განსაკუთრებით ღირებულია ეს უკანასკნელი, უნიკალური ნაშრომი, რომელიც მრავალწლიანი სავსე კვლევებით და ლიტერატურული წყაროების ანალიზით, ასევე თეორიული მეთოდების გამოყენებით შეადგინა ავტორმა, სადაც 135 მდინარის ხეობაში განლაგებული 338 დასახლებული პუნქტისთვის საშიში 1108 ზვავის მორფომეტრიული და დინამიკური მახასიათებელია წარმოდგენილი. კადასტრში არსებული მონაცემები გასათვალისწინებელია მთიანი რაიონების ათვისების, ინფრასტრუქტურის მოწყობის და ტურისტული მარშრუტების შედგენისას, რაც უდავოდ მნიშვნელოვანი პრობლემის მოგვარების ძირითადი საშუალებაა. ამით არ შემოიფარგლება მანანა სალუქვადის სამეცნიერო მოღვაწეობა. გამოქვეყნებული აქვს 80-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის 11 მონოგრაფია. აქტიურ მონაწილეობას იღებდა საერთაშორისო თუ ადგილობრივ კონფერენციებში, იყო გეოგრაფიული საზოგადოების აქტიური წევრი, მიწვეული იყო სხვადასხვა სკოლებში თუ ორგანიზაციებში ლექციების ჩასატარებლად. შრომისმოყვარეობამ, მაღალმა სამეცნიერო კულტურამ, პასუხისმგებლობის დიდმა გრძნობამ, თავმდაბლობამ, კომუნიკაბელურობამ და კოლეგიალობამ ქალბატონ მანანას ინსტიტუტის ერთ-ერთი წამყვანი მეცნიერის

სახელი შეუქმნა და კოლექტივში მისი მაღალი ავტორიტეტი განაპირობა. იგი სიცოცხლის ბოლო წუთებამდე ერთგულად ემსახურებოდა თავის საყვარელ საქმეს. ამაზე ისიც მეტყველებს, რომ ზუსტად გარდაცვალებამდე ერთი დღით ადრე დაასრულა 2022 წლის დეკემბერში დასამთავრებელი პროექტი. კიდევ ბევრის გაკეთება შეეძლო, უამრავი მასალა ჰქონდა, რომლის სისტემატიზაციაც ვეღარ მოასწრო. ძალიან წუხდა, რომ აღნიშნულ საქმიანობაში მემკვიდრე არ ჰყავდა. დღე და ღამე მუშაობდა, ცდილობდა რაც შეიძლება მეტი ინფორმაცია დაეტოვებინა თავის გამოცდილებიდან მომავალი თაობებისთვის გასათვალისწინებლად. მან სიცოცხლეშივე აიგო დიდების ძეგლი ჩვენს, მის გარშემომყოფთა გულებში. იგი იყო ერთგული მეუღლე, ღირსეული დედა, უღალატო მეგობარი და თანამშრომელი. ქალბატონი მანანას სახით ქართველი ჰიდროლოგების რიგებს გამოაკლდა თვალსაჩინო მეცნიერი, მაღალი ინტელექტისა და კულტურის ადამიანი, რომლის მიერ განვლილი გზა და სამეცნიერო შემოქმედება არის ნიმუში იმისა, თუ როგორ უნდა იცხოვროს და იღვაწოს ადამიანმა, რომ სამუდამოდ დარჩეს ოჯახის, კოლეგებისა და მეგობრების მეხსიერებაში. ქალბატონმა მანანამ დატოვა მდიდარი სამეცნიერო მემკვიდრეობა, რომელიც დიდ სამსახურს გაუწევს მომავალ თაობებს.

*ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის სწავლული მდივანი,
გეოგრაფ. მეცნ. აკად. დოქტორი ნ. კაპანაძე*

ნეკროლოგები

ირაკლი ტუსკია



2022 წლის 16 თებერვალს მძიმე ავადმყოფობის შემდეგ გარდაიცვალა გეოფიზიკის კოსმოფიზიკური ობსერვატორიის მთავარი სპეციალისტი ირაკლი ტუსკია.

ი. ტუსკია დაიბადა 1950 წელს ქ. თბილისში მუსიკოსების ოჯახში. 1972 წელს დაამთავრა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ავტომატიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის ფაკულტეტი საინფორმაციო გამზომი ტექნიკის სპეციალობით. 1973 წლიდან ის გეოფიზიკის ინსტიტუტის კოსმოსური სხივების განყოფილების თანამშრომელია. მუშაობის 50 წლის მანძილზე მას ეკავა ინჟინრის, მეცნიერი თანამშრომლის, მთავარი სპეციალისტის თანამდებობები, ხოლო 2007-2016 წლებში ის

ხელმძღვანელობდა კოსმოფიზიკურ ობსერვატორიას. ი. ტუსკიას უშუალო მონაწილეობით 1973წელს გაიშვა ორიგინალური გეომეტრიის ჯვარედინი ტელესკოპი MT-12, 1975 წელს მონაწილეობდა ჯვარედინი ტელესკოპის T-16 გაშვებაში. ის იყო მაღალი დონის ექსპერიმენტატორი. ი. ტუსკიამ, როგორც ექსპერიმენტატორმა და მკვლევარმა უდიდესი წვლილი შეიტანა კოსმოსური სხივების ნეიტრონული კომპონენტის სარეგისტრაციო ხელსაწყო სუპერნეიტრონული მონიტორის NM-64 სარეგისტრაციო სისტემის განახლებაში. კერძოდ ახალი ელექტრონული სისტემის შექმნაში, სისტემაში შემავალი აპარატურის მოდულების დისტანციურ მართვასა და დიაგნოსტიკაში პერსონალური კომპიუტერიდან. მონაცემების ოპერატიული კონტროლისა და ანალიზის შესაძლებლობისა რეალურ დროში.

ირაკლი ტუსკია ავტორია სამეცნიერო ნაშრომებისა და 2 გამოგონებისა, მათ შორის გამოგონებისათვის „მაიონიზებელი გამოსხივების პროპორციული მთვლელის ელექტრონული ინტერფეისი“ (თანაავტორობით, 2003 წ.) 2007 წელს მას მიენიჭა აკადემიკოს მერაბ ალექსიძის სახელობის პრემია.

შესანიშნავი პიროვნების, უკელთილშობილესი ადამიანის, ჭეშმარიტი ინტელიგენტის ირაკლი ტუსკიას სახელი მრავალ წელს ეხსომებათ მის კოლეგებს და მეგობრებს.

ფიზ.-მათ. მეცნ. აკადემიური დოქტორი თ. ბაქრაძე

НЕКРОЛОГ

Иракли Туския (1950-2022)

16 февраля 2022 года после тяжелой болезни скончался главный специалист Космофизической обсерватории Института геофизики Иракли Туския. И. Туския родился в Тбилиси в семье известных грузинских музыкантов. В 1972 году окончил факультет автоматики и вычислительной техники Грузинского политехнического института. С 1973 года он сотрудник Института геофизики. В 2007-2016 гг. И. Туския занимал должность руководителя Космофизической обсерватории. И.Туския автор научных статей и двух изобретений, лауреат премии имени академика Мераба Алексидзе. Сотрудники Института геофизики всегда будут помнить этого скромного замечательного человека.

მიხეილ ვათიაშვილი



2022 წ. 22 ნოემბერს გარდაიცვალა ცნობილი ქართველი მეტეოროლოგი, სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების და ნალექთა ხელოვნური მოყვანის დარგის აღიარებული სპეციალისტი, გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორი მიხეილ ვათიაშვილი.

მიხეილ ვათიაშვილი დაიბადა ლაგოდეხში 1937 წ. 22 იანვარს. 1956 წელს დაამთავრა თელავის რუსული საშუალო სკოლა და სწავლა განაგრძო სტავროპოლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკა-მათემატიკის სპეციალობაზე. უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ მუშაობდა ღრუბელთა ფიზიკის აქტუალურ საკითხებში ნალჩიკის მაღალი მთის გეოფიზიკის ინსტიტუტში და სტავროპოლის ლაბორატორიაში, სადაც განვლო გზა უმცროსი მეცნიერი მუშაკიდან ლაბორატორიის ხელმძღვანელამდე.

1977 წელს ის დაბრუნდა საქართველოში უკვე როგორც აღიარებული მეცნიერი და სათავეში ჩაუდგა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის იორის ექსპედიციას, სადაც მუშაობდა ნალექთა ხელოვნურ რეგულირების პრობლემაზე.

1985 წელს დაბრუნდა ნალჩიკში, საიდანაც მიიწვიეს არაბეთში პროექტში აქტიური ზემოქმედების მეთოდურ ხელმძღვანელად, სადაც მუშაობდა 3 წლის განმავლობაში.

1997 წლის გაზაფხულზე ისევ დაბრუნდა სტავროპოლში და დაინიშნა „მეტეოროლოგიურ და სხვა გეოფიზიკურ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების გასამხედროებელი სამსახურის“ განყოფილების უფროსად. 2007 წელს სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდის შექმნასთან დაკავშირებით მიიღო გამომგონებლის პატენტი. ამ სამუშაოებისათვის მას მიენიჭა რუსეთის ჰიდრომეტეოსამსახურის საპატიო მუშაკის და ფედერაციის დამსახურებული მეტეოროლოგის წოდება.

2015 წლიდან კვლავ დაბრუნდა საქართველოში და დაიწყო მუშობა საქართველოს თავდაცვის სამინისტროს სამეცნიერო ცენტრში „დელტაში“ თეორიული საკითხებზე. ის რეკომენდაციებს უწევდა აქტიური ზემოქმედების პროექტის განხორციელებას. ამავე დროს მიწვეულ იქნა თბილისის ი.ჯავახიშვილის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გენეტიკის კათედრაზე სალექციო კურსის წასაკითხად ბიომექანიკაში.

დიდია მიხეილ ვათიაშვილის ღვაწლი ახალგაზრდა კადრების აღზრდაში. როდესაც თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ბაზაზე შეიქმნა ფიზიკა-ასტრონომიის სპეციალობა, სადაც უნდა მომზადებულიყვნენ კვალიფიციური კადრები სეტყვასთან ბრძოლის სამსახურისათვის მთელ კახეთში ბატონი მიხეილი სათავეში ჩაუდგა მეტეოროლოგიური მიმართულების საგნებს. სტავროპოლის უნივერსიტეტში მას მიჰყავდა ძირითადი კურსები მეტეოროლოგიის დარგში. ბატონი მიხეილის ხელმძღვანელობით მომზადებულია რამოდენიმე მეცნიერებათა კანდიდატი.

ცნობილია მიხეილის სპორტული მიღწევები. ის თამაშობდა თელავის საფეხბურთო გუნდს „სპარტაკში“. 1956 წელს მიიწვიეს თბილისის „დინამოს“ ფეხბურთელთა გუნდის სათადარიგო შემადგომლობაში და საქართველოს ჭაბუკთა ნაკრებში. სტუდენტობის დროს ირიცხებოდა სტავროპოლის „სპარტაკში“.

გარდაიცვალა ცნობილი მეცნიერი, სანიმუშო მოქალაქე, პატიოსანი, ზნემაღალი, წესიერი, ადამიანური თვისებებით გამორჩეული პიროვნება. სამწუხაროა, რომ დღეიდან იმიერში გადასახლებულად უნდა მოვიხსენიოთ და დავემშვიდობოთ მას.

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი*

სარჩევი - Содержание – Content

<p>კიტოვანი დ. - მეწინავე ტალღის საწყისი წერტილის განსაზღვრა Kitovani D. - Determining the Starting Point of the Leading Wave Китовани Д. Ш. - Определение начальной точки головной волны</p>	5 - 8
<p>ქირია ჯ., ცაგურია თ., საყვარელიძე ე., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ., ქუთელია გ. - თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის II კორპუსში გეოფიზიკის კათედრის გრავიმეტ- რიულ ლაბორატორიაში ჩატარებული დახრისმზომითი დაკვირვების შედეგები Kiria J., Tsaguria T., Sakvarelidze E., Dovgali N., Davitashvili L., Kutelia G. - The Results of Incliner Observations Conducted in II Building of Tbilisi State University, in the Gravimetric Laboratory of the Department of Geophysics Кирия Дж. К., Цагурия Т. А., Сакварелидзе Э. А., Довгали Н. Д., Давиташвили Л., Кутелия Г. А. - Результаты наклонометрических наблюдений, проведенных во II корпусе Тбилисского государственного университета, в гравиметрической лаборатории кафедры геофизики</p>	9 - 12
<p>წაქაძე ა., ჭანტურია მ. - აქტიური სეისმოდამცავი სისტემები უძველეს ქვის შენობებში Tsakadze A., Chanturia M. - Active Seismic Protection Systems in Ancient Stone Buildings Цакадзе А., Чантурия М. - Системы активной сейсмозащиты в древних каменных постройках</p>	13 - 17
<p>ვერულაშვილი ფ., გოგოლიძე თ., კელეპრიშვილი თ. - სეისმურად აქტიურ რაიონებში გამოყენებული მსუბუქი კონსტრუქციების დაპროექტების თავისებურებები Verulashvili F., Gogolidze T., Keleptrishvili T. - Features of the Design of Lightweight Structures used in Seismically Active Areas Верулашвили Ф., Гоголидзе Т., Келептришвили Т. - Особенности проектирования легких конструкций, применяемых в сейсмоактивных районах</p>	18 - 23
<p>ჯერენაშვილი ქ. - მაღლივი შენობებში სართულშუა გადახურვები მრავალსივრცული რეგულირება რეგულირების ფილით Jerenashvili K. - Inter-Floor Roofs in High-Rise Buildings with Multi-Gap Reinforced Concrete Slabs Джеренашвили К. - Межэтажные крыши в высотных зданиях с многослойными железобетонными плитами</p>	24 - 30
<p>კობზევი გ., მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ. - ფაზური სივრცის რეაქციის წინადადება კავშირში გრავიტაციის რეაქციის ფაზური წინადადება Kobzev G., Melikadze G., Jimsheladze T. - Phase Shift of Water Response to Gravity in Georgian Wells</p>	31 - 39
<p>დემეტრაშვილი დ. - საზღვაო პროგნოზის სისტემა და მისი განვითარების პერსპექტივები შავი ზღვის საქართველოს სექტორისათვის Demetrashvili D. - Marine Forecasting System and Prospects for its Development for the Georgian Sector of the Black Sea Деметрашвили Д.И. - Система морского прогноза и перспективы ее развития для Грузинского сектора Черного моря</p>	40 - 51
<p>ტატიშვილი მ., ფალავანდიშვილი ა. - მანქანური სწავლების (ML) და დიდი მონაცემების (BD) გამოყენება გარემოს ინოვაციურ გადაწყვეტილებებში Tatishvili M., Falavandishvili A. - Applying Machine Learning (ML) and Big Data (BD) to Innovative Environmental Solutions Татишвили М., Палавандишвили А. - Применение машинного обучения (ML) и больших данных (BD) к инновационным экологическим решениям</p>	52 - 56
<p>ბერძენიშვილი ნ., კირკიტაძე დ. - საქართველოში სეტყვისა და ჭექა-ქუხილის პროცესების ზოგიერთი კვლევების მიმოხილვა</p>	57 - 75

Berzenishvili N., Kirkitadze D. - Review of Some Studies of Hail and Thunderstorm Processes In Georgia	
კაპანაძე ნ., მკურნალიძე ი., ფიფია მ. - ნალექთა ხელოვნური რეგულირების რეტროსპექტული ანალიზი Kapanadze N., Mkurnalidze I., Pipia M. - Retrospective Analysis of Articial Regulation of Precipitation Капанадзе Н., Мкурналидзе И., Пипиа М. - Ретроспективный анализ искусственного регулирования осадков	76 - 92
Пипиа М.Г. - Об исследованиях современного изменения климата Грузии в институте геофизики им. М. Нодиа, ТГУ ფიფია მ. - თსუ, მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში საქართველოში თანამედროვე კლიმატის ცვლილების კვლევების შესახებ Pipia M. - About Studies of Modern Climate Change in Georgia at the M. Nodia Institute of Geophysics, TSU	93 - 116
ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., დავითაშვილი მ., ხახიაშვილი მ. - ანგსტრომის სახანძრო ინდექსის ცვალებადობა კახეთში კლიმატის ცვლილების ფონზე Amiranashvili A., Bliadze T., Davitashvili M., Khakhiashvili M. - Variability of the Angstrom Fire Index in Kakheti Due to Climate Change Амиранашвили А., Блиадзе Т., Давиташвили М., Хахиаშвили М. - Изменчивость пожарного индекса Ангстрема в Кахетии на фоне изменения климата	117 - 136
კერესელიძე ზ., არზიანი ზ. - საქართველოს ჰიდრო ენერგეტიკული პოტენციალის შეფასება და ეკოლოგიური პრობლემები Kereselidze Z., Arziani Z. - Assessment of Georgia's Hydropower Potential and Environmental Problems Кереселидзе З., Арзиани З. - Оценка гидроэнергетического потенциала Грузии и экологические проблемы	137 - 149
კერესელიძე ზ., არზიანი ზ. - დედამიწის მაგნიტური ველი და ადამიანი Kereselidze Z., Arziani Z. - Earth's Magnetic Field and Men Кереселидзе З., Арзиани З. - Магнитное поле Земли и человек	150 - 157
ქირია თ., ნიკოლაიშვილი მ., მებაღიშვილი ნ. - დუშეთის ობსერვატორიის 2020-2021 წლების მაგნიტური ველის ვარიაციების დროით-სივრცითი გამოკვლევა Kiria T., Nikolaishvili M., Mebaghishvili N. - Temporal-spatial Study of 2020-2021 Magnetic Field Variations at Dusheti Geomagnetic Observatory Кирия Т., Николаишвили М., Мебагишвили Н. - Временно-пространственное исследование вариаций магнитного поля Душетской обсерватории в 2020-2021 гг.	158-163
იუბილეები / Юбилеи	164 - 167
ვიხსენებთ კოლეგებს / Памяти коллег	168 - 174
ნეკროლოგები	175 - 176
სარჩევი - Содержание – Content	177 - 178

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXXV, 2022

Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXXV, 2022

Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. LXXV, 2022

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=EdMkYoYAAAAAJ&hl=en>

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

თბილისი

Tbilisi 2022 Тбилиси

კომპ. უზრუნველყოფა ეკა თეთრაშვილი
გარეკანის დიზაინი მარიამ ებრალიძე

Layout Designer Eka Tetrashvili
Cover Designer Mariam Ebralidze

0128 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 1
1, Ilia Tchavtchavadze Ave., Tbilisi 0128
Tel: 995(32) 225 14 32
www.press.tsu.edu.ge

