

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
სამეცნიერო რეფერირებადი შრომათა კრებული
ტომი N136

ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური
პრობლემები

SCIENTIFIC REVIEWED PROCEEDINGS
OF THE INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
VOL. № 136

PRESSING PROBLEMS IN HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

НАУЧНЫЙ РЕФЕРИРУЕМЫЙ СБОРНИК ТРУДОВ
ИНСТИТУТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ
ТОМ №136

©	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY ИНСТИТУТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	2025
---	--	------

თბილისი-Tbilisi-Тбилиси
2025

გამოცემა 1953 წლიდან

Published since 1953

დამფუძნებლები:

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია

საქართველოს სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია

FOUNDERS:

Georgian Technical University

Institute of Hydrometeorology

Georgian National Academy of Sciences

Georgian Academy of Agricultural Sciences

<u>სარედაქციო კოლეგია</u> ნ.ბუაჩიძე (მთ. რედაქტორი) <u>მთ. რედაქტორის მოადგილეები</u> ე.ელიზბარაშვილი მ.მელაძე ს.გორგიჯანიძე ლ.ინწკირველი მ.ტატიშვილი <u>მდივნები</u> ნ.კაპანაძე ნ.არუთინიანი <u>წევრები</u> გ.ალექსიძე გ.ჯაფარიძე აბდ-ალლა გად (საუდის არაბეთი) ც.ბასილაშვილი ნ.ბეგლარაშვილი ვ.ტრაპაიძე გ.გუნია ხ.ეგამბერდიევი (უზბეკეთი) ბ.ხოლმატჯანოვი (უზბეკეთი) ნ.მეზისაშვილი კ.ლაშაური (კანადა) შუნლინ ლიან (აშშ) რ.მაჰმუდოვი (აზერბაიჯანი) გ.მელაძე მ.მელაძე ი.მეგრელიძე ა.პარანინა (რუსეთი) ი.სამხარაძე ა.სურმავა მ.ტაბატაძე მ.ფიფია სადჰან კუმარ გოშ (ინდოეთი) ლ.შავლიაშვილი ლ.შენგელია <u>სარედაქციო საბჭო</u> მ.ფიფია ე.ელიზბარაშვილი მ.მელაძე ს.გორგიჯანიძე ლ.ინწკირველი მ.ტატიშვილი	<u>EDITORIAL BOARD</u> N.Buachidze (Editor-in-Chief) <u>DEPUTY EDITORS-IN-CHIEF</u> E.Elizbarashvili M.Meladze S.Gorgijanidze L.Intskirveli M.Tatishvili <u>SECRETARIES</u> N.Kapanadze N.Arutiniiani <u>MEMBERS</u> G.Aleksidze G.Japaridze Abd-Alla Gad (Saudi Arabia) Ts.Basilashvili N.Beglarashvili V.Trapaidze G.Gunia Kh.Egamberdiev (Uzbekistan) B.Kholmatjanov (Uzbekistan) N.Dzebisashvili K.Lashauri (Canada) Shunlin Liang (USA) R.Mahmudov (Azerbaijan) G.Meladze M.Meladze I.Megrelidze A.Paranina (Russia) I.Samkharadze A.Surmava M.Tabatadze M.Pipia Sadhan Kumar Ghosh (India) L.Shavliashvili L.Shengelia <u>EDITORIAL COUNCIL</u> M.Pipia E.Elizbarashvili M.Meladze S.Gorgijanidze L.Intskirveli M.Tatishvili
--	--

ელექტრონული ვერსია
Electronic version

<https://ecohydmnet.ge/transaction>.
<http://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/82330>

წინამდებარე კრებულში შესულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის 72-ე მაისის სამეცნიერო სესიაზე მოსმენილი მოხსენებები, მიძღვნილი ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური პრობლემებისადმი. შესაბამისი სტატიები მოცემულია შემდეგ სამეცნიერო მიმართულებათა მიხედვით: მეტეოროლოგია, კლიმატოლოგია, აგრომეტეოროლოგია, ჰიდროლოგია, კლიმატის ცვლილება, ბუნებრივი გარემოს დაბინძურება.

კრებული განკუთვნილია გეოფიზიკურ, გეოგრაფიულ და ეკოლოგიურ მეცნიერებათა სხვადასხვა დარგში მომუშავე მეცნიერებისა და სპეციალისტებისათვის, მაგისტრანტებისა და დოქტორანტებისათვის.

In this issue texts of papers presented at the 72-nd May Scientific Session of the Institute of Hydrometeorology are offered, dedicated to the pressing problems of Hydrometeorology and Ecology. Relevant papers are given according to the following scientific directions: Meteorology, Climatology, Agrometeorology, Hydrology, Climate Change, and Environmental Pollution.

The volume is intended for experts working in different branches of geophysical, geographical and ecological sciences, magistrates and doctorates.

В настоящий сборник включены тексты докладов, заслушанных на 72-ой Майской Научной Сессии Института Гидрометеорологии, посвященной актуальным проблемам гидрометеорологии и экологии. Соответствующие статьи даны по следующим научным направлениям: метеорология, климатология, агрометеорология, гидрология, изменение климата, загрязнение природной среды.

Сборник предназначен для ученых и специалистов, работающих в различных областях геофизических, географических и экологических наук, магистрантов и докторантов.

	სარჩევი - Contents – Содержание	
	ჰიდროლოგია-Hydrology-Гидрология	
1	დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა უდიდესი წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური დინამიკა. ბასილაშვილი ც., ფიფია მ., არუთინიანი ნ. Long-term trends in peak discharge rates of major floods in the rivers of Western Georgia. Basilashvili Ts.Z., Pipia M.G., Arutiniani N.E. Многолетняя динамика максимальных расходов наибольших паводков на реках Западной Грузии. Баси- лашвили Ц.З., Пипия М.Г., Арутюнян Н.Э.	7
2	აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის საშუალო წლიური ხარჯების განახლებული პარამეტრები. ბასილაშვილი ც.ზ. Updated Parameters of Average Annual River Discharge in Eastern Georgia. Basilashvili Ts.Z. Обновлённые параметры среднегодовых расходов воды рек Восточной Грузии. Басиლაშвили Ц.З.	16
3	გორგიჯანიძე ს., მაკარაშვილი გ., ჯინჩარაძე გ., ჩიტაძე თ., კობახიძე ნ., გაჩეჩილაძე გ. ინფორმაციული კომუნიკაციების მნიშვნელობა ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების მართვისთვის. Gorgijanidze S., Makarashvili G., Jincharadze G., Chitadze T., Kobakhidze N., Gachechiladze G. The importance of information communications for natural disasters management. Горгиджанидзе С., Макарашвили Г., Джинчарадзе Г., Читадзе Т., Кобахидзе Н., Гачечиладзе Г. Значение ин- формационных коммуникаций для управления стихийными бедствиями.	23
4	მდ. იორის ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება. ფიფია გ., გორგიჯანიძე ს., გრიგოლია გ., გულაშვილი ზ., ჩიტაძე თ. Intraannual distribution of the Iori River runoff. Pipia G., Gorgijanidze S., Grigolia G., Gulashvili Z., Chitadze T. Внутригодовое распределение стока реки Иори. Пипия Г., Горгиджанидзе С., Григолия Г., Гулашвили З., Чи- тадзе Т.	30
5	კალაპოტურ დეფორმაციებზე ანტროპოგენური ზემოქმედების ზოგიერთი ასპექტი. ტრაპაიძე ვ., ბრეგვაძე გ., ცინცაძე ნ., ალავერდაშვილი მ., ხუფენია ნ., კოკაია ნ., კიკნაძე დ. Some aspects of anthropogenic impact on river channel deformations. Trapaidze V., Bregvadze G., Tsintsadze N., Alaverdashvili M., Khufenia N., Kokaia N., Kiknadze D Некоторые аспекты антропогенного воздействия на русловые деформации. Трапайдзе В., Брегвадзе Г., Цинцадзе Н., Алавердашвили М., Хупения Н., Кокая Н., Кикнадзе Д.	35
	კლიმატოლოგია-Climatology-Климатология	
6	ქვემო კართლის რეგიონში ტემპერატურის და ნალექების სივრცე-დროითი განაწილების კლიმატური კანონზომიერებანი. ელიზბარაშვილი ე., ფიფია მ., ელიზბარაშვილი შ., ბეგლარაშვილი ნ., დიასამიძე ც., სამუკაშვილი რ., ჭელიძე ნ. Climatic regularities of the spatiotemporal distribution of temperature and precipitation in the Kvemo Kartli region. Elizbarashvili E., Pipia M., Elizbarashvili Sh., Beglarashvili N., Diasamidze Ts., Samukashvili R., Chelidze N. Климатические закономерности пространственно-временного распределения температуры и осадков в регионе Квемо Картли. Элизбарашвили Э., Пипия М., Элизбарашвили Ш., Бегларашвили Н., Диасамидзе Ц., Самукашвили Р., Челидзе Н.	38
7	კარტოფილის კულტურის გავრცელება იმერეთის რეგიონის აგროკლიმატურ პირობებში და მოსავლის პროგნოზი. მ.მელაძე, გ.მელაძე, თ.კობახიძე Distribution of potato in the agro-climatic conditions of Imereti region and the yield forecast. M.Meladze, G.Meladze, T.Kobakhidze Возделывания картофеля в агроклиматических условиях Имеретинского региона и прогноз урожая. М.Меладзе, Г.Меладзе, Т.Кобахидзе	46
8	სეტყვიან დღეთა რიცხვის მრავალწლიური ცვლილების ზოგადი სტატისტიკური ანალიზი კლიმატის ცვლილების ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოში. ფიფია მ., ბეგლარაშვილი ნ., დიასამიძე ც., ჯამრიშვილი ნ., კობახიძე ნ. General statistical analysis of long-term changes in the number of days with hail in the background of climate change in Eastern Georgia. Pipia M., Beglarashvili N., Diasamidze Ts., Jamrlishvili N., Kobakhidze N. Общий статистический анализ многолетних изменений числа дней с градом на фоне изменения климата в Восточной Грузии. Пипия М., Бегларашвили Н., Диасамидзе Ц., Джамришвили Н., Кобахидзе Н.	54

	მეტეოროლოგია-Meteorology-Метеорология	
9	შუმანის რეზონანსი და კატასტროფული მოვლენები დედამიწაზე. მკურნალიძე ი., კაპანაძე ნ. Schumann resonance and catastrophic events on Earth. Mkurnalidze I. , Kapanadze N. Резонанс Шумана и катастрофические события на Земле. Мкурналидзе И.П., Капанадзе Н. И.	64
10	გვალვის ტენდენციები აღმოსავლეთ საქართველოში გლობალური დათბობის ფონზე. კაპანაძე ნ, ტატიშვილი მ. მელაძე მ. მკურნალიძე ი. Drought Trends in Eastern Georgia in the Context of Global Warming. Kapanadze N., Tatishvili M., Meladze M., Mkurnalidze I. Тенденции засухи в Восточной Грузии на фоне глобального потепления. Капанадзе Н.И, Татишвили М.Р., Меладзе М.Г. Мкурналидзе И.П.	69
11	მზის აქტივობის გავლენა და ტენდენციები საქართველოს კლიმატზე და მის პოტენციალზე. ხუციშვილი ე. The impact and trends of solar activity on the climate and potential of Georgia. Khutsishvili E. Влияние и тенденции солнечной активности на климат Грузии и его потенциал. Хуцишвили Е.	78
12	გვალვის მონიტორინგის შესაძლებლობები მანქანური სწავლების საშუალებით. ფალავანდიშვილი ა. Drought monitoring capabilities through machine learning. Palavandishvili A. Возможности мониторинга засухи с помощью машинного обучения. Палавандишвили А.	84
13	აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარული აუზების მყინვარების და თოვლნარების მორფოლოგიისა და ექსპოზიციის შესწავლის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების საფუძველზე. შენგელია ლ., კორძახია გ., თვაური გ., გულიაშვილი გ., ძაძამია მ. Results of the study of the morphology and exposure of glaciers and snowfields in the glacial basins of estern Georgia based on satellite remote sensing. Shengelia L., Kordzakhia G , Tvauri G., Guliashvili G., Dzadzamia M. Результаты изучения морфологии и экспозиции ледников и снежников ледниковых бассейнов Восточной Грузии на основе спутникового дистанционного зондирования. Шенгелия Л., Кордзахия Г., Тваური Г., Гулиашвили Г., Дзadzamia М.	89
14	სტრუქტურირებული მონაცემების გამოყენება საქართველოს დაუცველ რეგიონებში ბუნებრივი ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების შესაფასებლად. ტატიშვილი მ., სამხარაძე ი., ფალავანდიშვილი ა., ნებერიძე ნ., ელბაკიძე-ჩარგაზია ხ. Use of Structured data to evaluate natural hydrometeorological events in vulnerable regions of Georgia. Tatishvili M., Samkharadze I., Palavandishvili A., Nebieridze N., Elbakidze-Chargazia Kh. Использование структурированных данных для оценки природных гидрометеорологических явлений в уязвимых регионах Грузии. Татишвили М., Самхарадзе И., Палавандишвили А., Небнеридзе Н., Элбакидзе-Чаргазия Х.	102
15	გვალვების უარყოფითი ეკოლოგიური და ეკონომიკური ზეგავლენის შეფასების სირთულეები საქართველოში. მ. ციцаგი, ზ. გულაშვილი, ა. ფალავანდიშვილი, მ. ტატიშვილი, ნ. ზოტიკიშვილი Difficulties in Estimating the Negative Ecological and Economic Impacts of Droughts in Georgia. M.Tsitsagi, Z.Gulashvili, A.Palavandishvili, M.Tatishvili, N. Zotikishvili Трудности оценки негативных экологических и экономических последствий засух в Грузии. М. Цицаги, З.Гулашвили, А.Палавандишвили, М.Татишвили, Н.Зотикишвили	106
	ეკოლოგია-Ecology-Экология	
16	იისფერი ფოტოტროფული ბაქტერიების (PPB) გამოყენება ცირკულარული ბიოეკონომიკისა და ჩამდინარე წყლების ვალიორიზაციისთვის საქართველოში. ძებისაშვილი ნ., დუღაშვილი დ. Harnessing Purple Phototrophic Bacteria (PPB) for Circular Bioeconomy and Wastewater Valorization in Georgia. Dzebisashvili N., Dughashvili D. Использование пурпурных фототрофных бактерий (PPB) для циркулярной биоэкономики и валоризации сточных вод в Грузии. Дзебисашвили Н., Дугашвили Д.	117
17	სარესტავრაციო სამუშაოებისა და კლიმატის ცვლილების გავლენა ბარაკონის ტაძრის მდგომარეობაზე. ძებისაშვილი ნ., ბუაჩიძე ნ., დუღაშვილი დ., ფოფორაძე ნ., მაისურაძე ვ., ნინოშვილი ლ. The Impact of Restoration Work and Climate Change on the State of the Barakoni Cathedral. Dzebisashvili N., Buachidze N., Dughashvili D., Poporadze N., Maisuradze V., Ninoshvili L. Влияние реставрационных работ и изменения климата на состояние собора Баракони. Дзебисашвили Н., Буачидзе Н., Дугашвили Д., Попорадзе Н., Маисурадзе В., Ниношвили Л.	125

18	ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაცია - კულტურული ტურიზმის გარემოს ეკოლოგიური დატვირთვის ინდიკატორი. გუნია გ., სვანიძე ზ. Mineralization of Atmospheric Precipitation - an Indicator of the Ecological Load of Cultural Tourism Environment. Garry G., Svanidze Z. Минерализация атмосферных осадков - индикатор экологической нагрузки среды культурного туризма. Гуния Г.С., Сванидзе З.С.	130
19	ქ. კუთაისის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შეფასება ექსპერიმენტული გაზომვებით. სურმავა ა., კუხალაშვილი ვ., ინჭკირველი ლ., გიგაური ნ., სესაძე ვ. Assessment of atmospheric air pollution in Kutaisi using experimental measurements. Surmava A., Kukhalashvili V., Intskirveli L., Gigauri N., Sesadze V. Оценка загрязнения атмосферного воздуха г.Кутаиси с помощью экспериментальных измерений. Сурмава А., Кухалашвили В., Инцкирвели Л., Гигаური Н., Сесадзе В.	135
20	მდ. მტკვრის და მისი ზოგიერთი მცირე შენაკადის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის მინიჭება ჰიდროქიმიური ინდიკატორების გამოყენებით (20015-20016, 2023-2024წწ.). მდივანი ს., ბუაჩიძე ნ. Assigning a water quality classification to the Mtkvari River and some of its small tributaries and assessing changes in their ecological status based on comparative analysis (20015-20016, 2023- 2024). Mdivani S., Buachidze N. Присвоение классификации качества воды реке Мтквари и некоторым ее малым притокам и оценка изменений их экологического состояния на основе сравнительного анализа (20015-20016, 2023-2024 гг.). Мдивани С., Буачидзе Н.	142
21	მდ. ცხენისწყალი და ლუხუნის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის დადგენა ჰიდროქიმიური ინდიკატორების მიხედვით. შავლიაშვილი ლ., კუჩავა გ., ტაბატაძე მ., შუბლაძე ე. Determination of water quality classification of Tskhenistskali and Lukhuni rivers according to hydrochemical indicators. Shavliashvili L., Kuchava G., Tabatadze M., Shubladze E. Определение классификации качества воды рек Цхенискали и Лухуни по гидрохимическим показателям. Шавлиашвили Л., Кучава Г., Табатадзе М., Шубладзе Е.	150

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-07-15

უკ. 551.482.215.3

დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა უდიდესი წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური დინამიკა

ცისანა ბასილაშვილი, მიხეილ ფიფია, ნარინე არუთინიანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

jarjino@mail.ru

რეზიუმე. დასავლეთ საქართველოს მთავარი 29 ჰიდროლოგიური საგუშაგოს 61-92 წლიან დაკვირვებათა მონაცემებით შედგენილია წყალმოვარდნების უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური ცვლილების ტრენდები და განსაზღვრულია მათი წრფივი აპროქსიმაციის შესაბამისი განტოლებები. მათი პარამეტრების მიღება მეტად აქტუალურია და აქვს დიდი პრაქტიკული ღირებულება, რადგან მათი გათვალისწინება მნიშვნელოვანია მდინარეებზე და მათ სანაპირო ზონებში არსებული და ახალ ნაგებობათა დაგეგმარებისა და პროექტების შედგენის დროს, აგრეთვე საშიში ჰიდროლოგიური მოვლენების პროგნოზირებისა და თავიდან აცილების მიზნით.

საკვანძო სიტყვები: აღმავალი და დაღმავალი ტენდენციები, ტრენდის პარამეტრები.

შესავალი. მდინარისპირა ტერიტორიის ათვისების საწყისი მონაცემი და გარემოს ეკოლოგიური უსაფრთხოების განმსაზღვრელი სიდიდე არის მდინარის წყალმოვარდნის უდიდესი მაქსიმალური ხარჯი და მისი განვითარების მოსალოდნელი ცვლილება შეისწავლება ამ ხარჯების მრავალწლიური ტრენდით.

კლიმატის მიმდინარე გლობალური დათბობის გავლენა აისახება მრავალ ჰიდრომეტეოროლოგიურ მოვლენებზე. ტემპერატურისა და შესაბამისად აორთქლების მომატების გამო, ზღვისპირა რეგიონებში გაიზარდა ატმოსფერული ნალექების რაოდენობა, რაც ზრდის აქ მდინარეთა მაღალი წყალმოვარდნების საშიშროებას. გარდა ამისა, გაიზარდა კავკასიონის მთავარ ქედზე მდინარეთა სათავეებში არსებული მყინვარების დნობის ინტენსივობა. შედეგად გახშირდა კატასტროფული წყალმოვარდნები და მათგან მიყენებული ზარალი. ამ მიზეზთა გამო, მდინარეთა წყლის უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების ცვლილების შესწავლა და შეფასება ძალზე საჭირო და აქტუალურია მოსახლეობის სამეურნეო, საპროექტო და სამეცნიერო ორგანიზაციების მომსახურების მიზნით.

ძირითადი ნაწილი. მდინარეთა წყლის მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური განვითარების შესაფასებლად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ცალკეული მდინარის წყალშემკრები აუზის ტერიტორიაზე ჰიდროლოგიური სადამკვირვებლო ქსელის არსებობას. გასული XX საუკუნის 90-იან წლებამდე საქართველოს მდინარეებზე მოქმედებდა 153 ჰიდროლოგიური პუნქტი [1], სადაც დღეში ორჯერ (8 და 20 სთ) სათანადო გაზომვებით განისაზღვრებოდა წყლის ხარჯები ($\text{მ}^3/\text{წმ}$). მას შემდეგ მოქმედებს მხოლოდ 20-მდე საგუშაგო, სადაც ავტომატურად ხდება წყლის დონეების აღრიცხვა, რომელთა მიხედვით ხარჯების გრაფიკების გამოყენებით იანგარიშება წყლის ხარჯები.

კვლევის მიზნით, 1981 წლამდე არსებული დაკვირვებათა მონაცემები, მდინარეთა წყლის ყოველწლიურ უდიდეს მაქსიმალურ ხარჯებზე, აღებულია გამოქვეყნებული [2-5] ცნობარებიდან, 1981-2020 წლების დაკვირვებათა მონაცემები კი მიღებულია გარემოს დაცვის სააგენტოს [6] ინფორმაციით.

ზოგადად, მდინარეთა წყლის ჩამონადენი წარმოადგენს მოცემული ჰიდროლოგიური პუნქტის (ჰიდროკვეთის) ზემოთ მდებარე წყალშემკრებ აუზში მიმდინარე ყველა მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, გეოლოგიური, ოროგრაფიული და სხვათა ურთიერთქმედების შედეგს.

საქართველოს მდინარეები სათავეს იღებენ დიდი და მცირე კავკასიონის ქედებზე. დასავლეთში მდინარეები ჩაედინებიან შავ ზღვაში, აღმოსავლეთში კი მდინარეები მიედინებიან კასპიის ზღვისკენ. ვინაიდან წყლის ჩამონადენის განმაპირობებელი, როგორც კლიმატური, ასევე სხვა ფაქტორები დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში კარდინალურად განსხვავებულია. ამის გამო, მათზე წყალმოვარდნების ფორმირების პროცესები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან და ამიტომ მათი განვითარების მრავალწლიური დინამიკის შესწავლა ჩატარდა ცალ-ცალკე.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. დასავლეთ საქართველოში მდინარეთა წყალშემკრები აუზები უშუალოდ შავი ზღვისკენ ამფითეატრით არიან მიმართული, საიდანაც წამოსული ნოტიო ჰაერის მასები აქ უხვად კონდენსირდებიან და წარმოქმნიან მაღალ წყალმოვარდნებს წლის თითქმის ყველა დროს. ამასთან ერთად, აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ 1975 წელს გამოქვეყნებულ [7] კატალოგის მიხედვით, დასავლეთ საქართველოში კავკასიონის მთავარ ქედზე არსებული 409 მყინვარის საერთო ფართობი შეადგენდა 465,7 კვ.კმ-ს. კლიმატის მიმდინარე გლობალური დათბობის პირობებში ისინი თანდათან დნებოდნენ და ზრდიდნენ მდინარეთა ჩამონადენსა და მათი წყალმოვარდნების მაქსიმალურ ხარჯებს.

საყურადღებოა აგრეთვე ის გარემოება, რომ საქართველოს მთიანი ტერიტორია მოქცეულია 7-9 ბალიანი ინტენსივობის მიწისძვრების არეალში. მათი უარყოფითი ზემოქმედება გამოიხატება აქ, არა მარტო ნაგებობათა ნგრევაში, არამედ აგრეთვე მიწისზედა კატასტროფული მოვლენების პროვოცირებაშიც, ისეთი, როგორიცაა თოვლისა და კლდის ზვავები, მეწყერები და სხვა, რომელთაც შეუძლიათ მდინარეთა კალაპოტების ჩახერგვა და ე.წ. ნაზღვლევი წყალმოვარდნების განვითარება. თუ ამ დროს მოხდა თანხვედრა მაღალი ინტენსივობის წვიმებისა, მაშინ წარმოიქმნება კატასტროფული ღვარცოფული წყალმოვარდნა, რაც ზოგჯერ ისე სწრაფად ხდება, რომ მოსახლეობა ვერ ასწრებს ტრაგედიის ადგილიდან გასვლას, თავის გადარჩენას და იღუპება. ამის სავალალო მაგალითი იყო 2023 წლის 3 აგვისტოს შოვის კატასტროფა, რომელმაც გამოიწვია კურორტის განადგურება და 33 ადამიანის დაღუპვა.

წყალმოვარდნებით მიყენებული ზარალის მიზეზი არის კიდევ, მდინარეთა ხეობაში ფერდობებისა და ჭალების ათვისება, მცენარეული საფრის გამეჩხერება, ეროზიული და მეწყრული პროცესების გაძლიერება, მდინარეთა კალაპოტების გამტარუნარიანობის შემცირება და სხვა. წყალმოვარდნების საშიშროების რისკი დასავლეთ საქართველოში განსაკუთრებით დიდია მთისწინებისა და ბარის რელიეფის ზონაში, სადაც წყალმოვარდნები ავსებენ რა მდინარეთა კალაპოტებს, გადმოდიან ნაპირებიდან და ტბორავენ სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს, დასახლებებს, გზებს, აზიანებენ ხიდებს, სასმელი წყლისა და სამელიორაციო სისტემებს და სხვა ნაგებობებს. მდინარეთა აუზების ზედაპირის გადარეცხვით კი, იკარგება ათეულობით ჰექტარი ნიადაგი. სურ. 1-ზე მოცემულია დოკუმენტური მასალა მდინარეზე გავლილი წყალმოვარდნისა, რაც ნათელ წარმოდგენას იძლევა მათ რეალურ საშიშროებაზე.

მდინარეთა ხეობებში ყველა სახის ნაგებობის ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების დასაბუთებისათვის საჭიროა მდინარეთა უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების წყალსამეურნეო საანგარიშო პარამეტრების დადგენა არსებულ მრავალწლიან დაკვირვებათა მასალების სათანადო მათემატიკური სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე.



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

დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყალმოვარდნების შესწავლის მიზნით გამოყენებულ იქნა 29 სამეურნეო დანიშნულების ჰიდროკვეთზე წყლის ხარჯებზე არსებულ დაკვირვებათა ყოველწლიური მონაცემები. ვინაიდან მთის მდინარეებზე, წყალმოვარდნების დროს რთულია წყლის ხარჯების გაზომვითი სამუშაოების ჩატარება, ამიტომ მათზე დაკვირვებათა რიგებში არის გამოტოვებული შემთხვევები. მათი

აღდგენისა და დაკვირვებათა ერთიანი რიგების შედგენის მიზნით, გამოყენებულ იქნა ანალოგ მდინარეთა წყლის ხარჯების მონაცემთა ურთიერთკავშირების კორელაციური ანალიზი და გრაფიკული ინტერპოლაციის მეთოდი. მრავალმხრივი კვლევის შედეგად მიღებულ იქნა მდინარეთა უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების 61-92 წლიან ყოველწლიურ მონაცემთა ბაზა.

აქ აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ვინაიდან დასავლეთ საქართველოს ცალკეულ მთის მდინარეთა წყლის ჩამონადენის ფორმირების პირობები მკვეთრად განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ამიტომ მათზე წარმოქმნილი წყალმოვარდნები და მათი მაქსიმალური ხარჯები არ არიან იდენტურები და ხასიათდებიან ინდივიდუალური თავისებურებებით. ამის გამო, გამოტოვებულ შემთხვევათა აღდგენა ზოგიერთ მდინარეზე, დაბალი კორელაციური კავშირების გამო, ანალოგ მდინარეთა მოძებნა ვერ მოხერხდა. 1 ცხრილში მოცემულია მაქსიმალურ ხარჯებზე არსებულ დაკვირვებათა წლების რაოდენობა (n) და გამოტოვებულ შემთხვევათა აღდგენის შედეგად მაქსიმალური ხარჯების მონაცემთა განხილული წლების რაოდენობა (N).

ამ მონაცემების მიხედვით, [8] ნაშრომში მოცემულია უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების განახლებული ძირითადი პარამეტრები. პრაქტიკული დანიშნულების თვალსაზრისით, ყველა კატეგორიის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების სამეურნეო და საპროექტო ორგანიზაციებში წყალსამეურნეო გაანგარიშებების ჩასატარებლად, გარდა ძირითადი პარამეტრებისა, მეტად მნიშვნელოვანია მათი მოსალოდნელი განვითარების მასშტაბები. ამ მიზნით [9] ნაშრომში განსაზღვრულია საკვლევი მდინარეთა უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების ალბათური მნიშვნელობები სხვადასხვა (0,01; 0,1; 1; 2; 5; 10; 20) პროცენტის უზრუნველყოფით, რომლებიც შეესაბამება 10 000; 1000; 100; 80; 20; 10; 5 წლიანი განმეორებადობის ხარჯებს. ისინი გარკვეულწილად პასუხობენ კითხვას, თუ როგორია ნაგებობის ან რაიმე ღონისძიების უსაფრთხოების უზრუნველყოფა მდინარის მაქსიმალური ხარჯის გარკვეული მნიშვნელობის დროს. მათი განმეორებადობა კი გვიჩვენებს იმ წელთა რიცხვს, რომელთა დროს გაივლის შესაბამისი მაქსიმალური ხარჯი საშუალოდ ერთხელ მაინც.

ამჯერად ვიკვლევთ უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური მონაცემების მრავალწლიურ დინამიკას. საჭიროა განისაზღვროს ამ დინამიკის როგორც ხარისხობრივი, ისე მისი რაოდენობრივი მნიშვნელობები, რაც გულისხმობს მათი ტრენდების შეფასებას წრფივი აპროქსიმაციის ამსახველი განტოლებით:

$$T_{Qm} = \pm AN + B \quad (1)$$

სადაც T_{Qm} - საკვლევი ელემენტის ტრენდია, რაც ჩვენს შემთხვევაში მდინარის წყლის უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური მნიშვნელობების ცვლილების ტენდენციების ამსახველი წრფეა;

A - განტოლების კოეფიციენტი, ტრენდის მთავარი პარამეტრია, რომლის ნიშანი (+ ან -) უჩვენებს ხარისხობრივად საკვლევი ელემენტის ცვლილების მიმართულებას: დადებითი (+) ნიშანი გამოხატავს მის აღმავალ ტენდენციას ანუ მატებას, ხოლო უარყოფითი (-) ნიშანი მიუთითებს მის დაღმავალ ტენდენციას ანუ კლებას;

A - კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა კი, რაოდენობრივად განსაზღვრავს საკვლევი ელემენტის - მდინარის წყლის უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური ცვლილების ინტენსივობას ანუ მის ყოველწლიურ სიჩქარეს.

N - საკვლევი ელემენტის დაკვირვებათა მონაცემების რიგითი ნომერია მათი საწყისი წლიდან, რომლისთვისაც $N = 1$, ყოველი შემდეგი (i) წლის მონაცემებისთვის $N = 1 + i$.

B - განტოლების მუდმივა - ტრენდის პარამეტრია, რომელიც წარმოადგენს საკვლევი ელემენტის მინიმალურ მნიშვნელობას ტრენდის ამსახველი წრფის აღმავალი (+A) ტენდენციის შემთხვევაში ან მის მაქსიმალურ მნიშვნელობას ტრენდის წრფის დაღმავალი (-A) ტენდენციის დროს.

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. მდინარეთა უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური ცვლილების შესწავლის მიზნით, ყოველწლიურ ჭრილში, [10] ნაშრომში განხილულ იქნა საქართველოს მდინარეებზე 1991 წლამდე არსებული 50-70 წლიან დაკვირვებათა რიგებით შედგენილი ტრენდები და მათი წრფივი აპროქსიმაციით მიღებული განტოლებების პარამეტრები. მაშინ მრავალწლიური ცვლილებების დინამიკაში, მკვეთრად იყო გამოხატული მათი ყოველწლიური ზრდის ტენდენცია იმ მდინარეებზე, რომელთა სათავეებში იყო მყინვარები და მუდმივი თოვლის საფარი და შესაბამისად მათი ნადნობი წყლები მონაწილეობდნენ მდინარეთა მაქსიმალური ხარჯების ფორმირებაში. ამ მხრივ, გამონაკლისი იყო მდ. ყვირილა, სადაც, მიუხედავად მის აუზში ნივალური ზონის არ არსებობისა, მდინარეზე აღინიშნებოდა მაქსიმალური ხარჯების მატების ტენდენცია, რაც გამოწვეული იყო თოვლის

საფარის დნობისა და შავი ზღვიდან შემოჭრილი ჰაერის ნოტიო მასების კონდენსირების შედეგად მიღებული უხვი ნალექით.

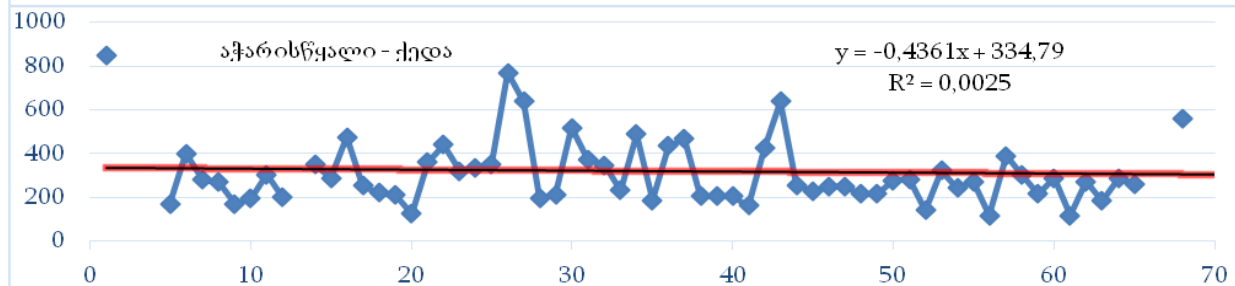
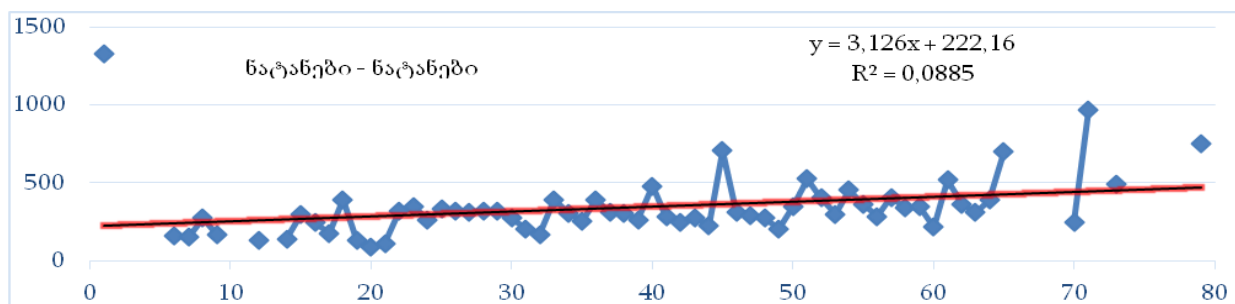
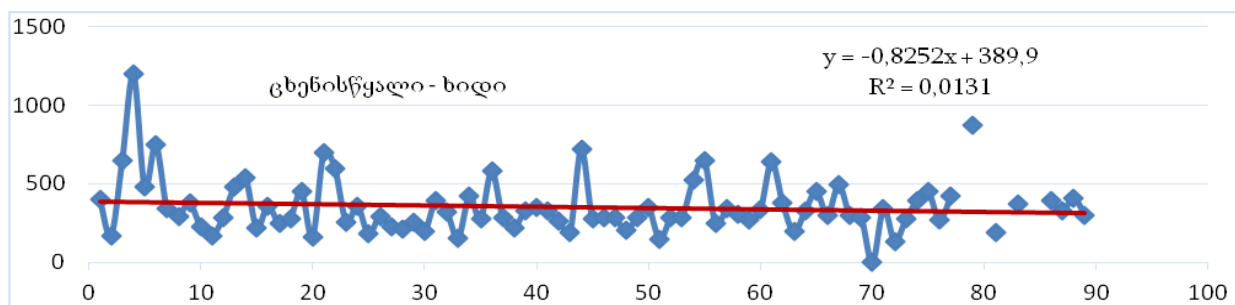
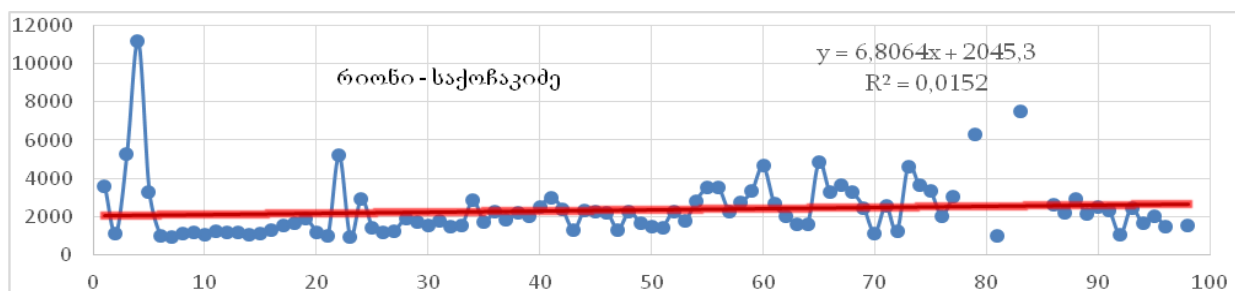
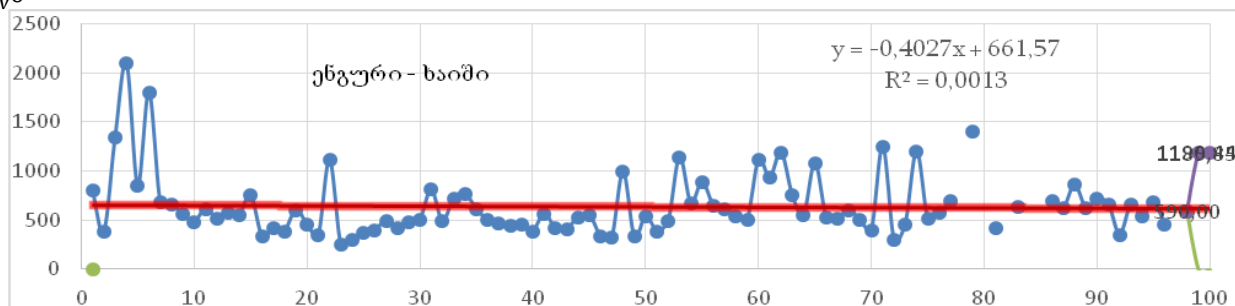
ცხრილი 1. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა ჰიდროკვებები, წყლის მაქსიმალურ ხარჯებზე არსებულ დაკვირვებათა წლები (n) და განხილული წლების რაოდენობა (N)

ჰ ი დ რ ო კ ვ ე თ ე ბ ი		აუზის ფართი (კმ²)	დაკვირვების წლები	წლების რაოდენობა	
№	მდინარე - პუნქტი			n	N
1	ბზიფი - ჯირხვა	1410	1931-1991	61	61
2	კოდორი - ლათა	1420	1931-1991	61	61
3	ენგური - ხაიში	2780	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
4	ენგური - დიზი	1620	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
5	ნენსკრა - ლახანი	468	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
6	მესტიაჭალა - მესტია	144	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
7	რიონი - ონი	1060	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
8	რიონი - ალპანა	2830	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
9	რიონი - ნამოხვანი	3450	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
10	რიონი - საქოჩაკიძე	13300	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
11	ყვირილა - საჩხერე	533	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
12	ყვირილა - ზესტაფონი	2490	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
13	ძირულა - წევა	1190	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
14	ხანისწყალი - ბაღდათი	655	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
15	ჩხერიმელა - ხარაგაული	398	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-18, 20	92	92
16	ცხენისწყალი - ლუჯი	506	1933-1997	64	84
17	ცხენისწყალი - რცხმელური	1450	1919-22, 27-90, 2001, 03, 05, 08-11	64	84
18	ცხენისწყალი - ხიდი	1950	1919-22, 27-99, 2001, 03, 05, 08-11	64	84
19	ტეხური - ნაქალაქევი	558	1933-97, 2005	73	84
20	ხოზი - ლეგახარე	310	1938-94, 99, 2001, 05	52	84
21	სუფსა - ჩოხატაური	316	1927, 32-35, 38, 40-91, 96-97, 99, 2005	62	62
22	სუფსა - ხიდმაღალა	400	1927, 32-35, 38, 40-91, 96-97, 99, 2005	62	62
23	ნატანები - ნატანები	469	1932-35, 38, 40-91, 96, 99, 2005	60	62
24	კინტრიში - კოხი	191	1940-91, 99	53	62
25	ჩაქვისწყალი - ხალა	120	1940-91, 99	53	62
26	ბჟუჟა - გომი	112	1940, 50, 52-87	38	62
27	აჭარისწყალი - ქედა	1360	1922, 31-90, 93, 99	63	63
28	აჭარისწყალი - ხულო	251	1922, 31-90, 93, 99	63	63
29	ჭოროხი - ერგე	22100	1922, 30-37, 39-90, 99	62	63

მიმდინარე XXI საუკუნეში, კლიმატის დათბობის მატებასთან დაკავშირებით, ტემპერატურის მომატებამ გამოიწვია მდინარეთა სათავეებში არსებული მყინვარების დეგრადაცია. ისინი დნებიან და იშლებიან ნაწილებად, რის გამოც გაიზარდა მათი რაოდენობა, მაგრამ შემცირდა მათი ფართობი და მოცულობა. ამის შესაბამისად მცირდება მათი დნობით მიღებული მდინარეთა წყლის ჩამონადენი.

მყინვარების დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენებით, [II] ნაშრომის თანახმად, დასავლეთ საქართველოში არსებული მყინვარების ფართობი 2020 წლისთვის, XX საუკუნის 70-იან წლებთან შედარებით 190,3 კვ.კმ-ით ანუ 41 %-ით შემცირდა. ეს ფაქტი, რა თქმა უნდა, აისახება მდინარეთა ჩამონადენისა და მათი მაქსიმალური ხარჯების მნიშვნელობაზე.

მ³/წმ



ნახ. 1. მაგალითები მდინარეთა უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების (მ³/წმ) ტრენდებისა

გარდა ამისა, კლიმატის გლობალური დათბობის გააქტიურების პირობებში, მდინარეთა აუზებში ხდება ნულოვანი იზოთერმის აწევა უფრო მაღალ სიმაღლით ზონაში, რის გამოც მცირდება ცივი პერიოდის ხანგრძლივობა და იზრდება თბილი პერიოდი. ამის შესაბამისად მცირდება თოვლის საფრის რაოდენობა და მისი დნობით მიღებული წყლის ჩამონადენი. თბილი პერიოდისა და ტემპერატურის მომატების შედეგად იზრდება აორთქლება და შესაბამისად ისევ მცირდება მდინარეთა წყლის ჩამონადენი.

აღსანიშნავია აგრეთვე ის ფაქტიც, რომ ადრე მთის პირობებში არსებული მაღალი თოვლის საფრის დნობით მიღებული წყალი, თითქმის უდანაკარგოდ ჩაედინებოდა მდინარის კალაპოტში და იწვევდა მდინარის ჩამონადენის გაზრდას. სადღეისოდ კი, ისედაც შემცირებული თოვლის საფარი, დნობის დროს უხვად იხარჯება მომატებულ აორთქლებასა და გამომშრალ ნიადაგში ინფილტრაციაზე.

ამრიგად, ადრეულ წლებში, მდინარეთა აუზებში არსებული მყინვარებისა და დიდი რაოდენობის თოვლის საფრის დნობა იწვევდა წყალმოვარდნების ჩამონადენის გაზრდას. სადღეისოდ კი, მათი შემცირება იწვევს შესაბამისად მდინარის ჩამონადენისა და მათი მაქსიმალური ხარჯების შემცირებას. ამაზე ნათელ წარმოდგენას იძლევა ნახ. 1-ზე წარმოდგენილი მაგალითები მდინარეთა მაქსიმალური ხარჯების ტრენდების გრაფიკული გამოსახულებები. მე-2 ცხრილში კი, მოცემულია ყველა საკვლევი 29 ჰიდროკვეთისათვის მიღებული ტრენდების წრფივი აპროქსიმაციით მიღებული განტოლებების პარამეტრები.

მათი ანალიზიდან ჩანს, რომ მდინარეებზე, რომელნიც კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრეთ კალთებიდან იღებენ სათავეს, ჩვენს ხელთ არსებული წყალმოვარდნების მაქსიმალურ ხარჯებზე დაკვირვებათა მონაცემებით, მდ. ბზიფსა და მდ. კოდორზე ადრეული (1931-1991 წწ) 61 წლიანი რიგის საფუძველზე მიღებული ტრენდების მიხედვით, აღინიშნებოდა მათი მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური მატება. მაგალითად მდ. კოდორზე მიღებული ტრენდი ანალიტიკურად ასე გამოისახება:

$$T_{Qm} = 4,13 N + 370. \quad (2)$$

შედარებით მცირე მატება აღინიშნება უფრო გვიანი (2001-2011 წწ) მონაცემების დამატებით მიღებულ მყინვარებით მოსაზრდოვე მდ. ცხენისწყლის ტრენდებზე მის ზემო წელში (სოფ. ლუჯთან და სოფ. რცხმელურთან). 64 წლიანი დაკვირვების ინფორმაციით სოფ. რცხმელურთან მიღებული წყლის მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური ცვლილების ტრენდის განტოლება ასეთია:

$$T_{Qm} = 0,43 N + 348. \quad (3)$$

აღმავალი ტენდენციით ($A = 0,714$) ხასიათდება აგრეთვე ტრენდი მდ. ტეხურაზე სოფ. ნაქალაქევთან, სადაც მდინარე უხვად იკვებება კოლხეთის დაბლობზე მომატებული ნალექებით.

აღსანიშნავია, რომ მდ. ყვირილაზე ქ. ზესტაფონთან წყლის მაქსიმალურ ხარჯზე ადრეულ (1991 წლამდე) დაკვირვებათა მონაცემებით მიღებული ტრენდის აღმავალი ტენდენცია [10], ახალი (2021 წლამდე) ინფორმაციით, შეიცვალა მისი საწინააღმდეგო დაღმავალი ტენდენციის ტრენდით, რაც შეიძლება აიხსნას იმით, რომ კლიმატის ცვლილების შედეგად აუზში შემცირდა თოვლის საფარი, მოსული ნალექები კი უხვად იხარჯება მომატებულ აორთქლებასა და ნიადაგში ჩაქონვაზე. ამის გამო, მდ. ყვირილას მაქსიმალური ხარჯები ყოველწლიურად $1,04 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ით მცირდება.

განსაკუთრებით საყურადღებოა ის ფაქტი, რომ დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში არსებული მყინვარების ყველაზე დიდი რაოდენობა აღრიცხულია მდ. ენგურისა და მდ. რიონის სათავეებში [7], მაგრამ მათი წყალმოვარდნების მაქსიმალური ხარჯების ტრენდები ხასიათდება დაღმავალი ტენდენციით, რაც აიხსნება იმ გარემოებით, რომ მათ აუზებში არსებული მყინვარების ფართობი 2020 წლისთვის [11] შრომის მიხედვით XX საუკუნის 70-იან წლებთან შედარებით 40-42 %-ით შემცირდა. ამის გამო, მათი მაქსიმალური ხარჯების 2021 წლამდე არსებული 92 წლიანი დაკვირვებათა მონაცემებით, მდ. ენგურის მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური ცვლილების ტრენდის ანალიტიკური გამოსახულება სოფ. ხაიშთან, ასეთია:

$$T_{Qm} = -1,746 N + 809, \quad (4)$$

რის მიხედვითაც მდ. ენგურის მაქსიმალური ხარჯები ყოველწლიურად $1,746 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ით მცირდება. მაქსიმალური ხარჯები ასევე მცირდება ყოველწლიურად მდ. რიონის ზემო წელში: სოფ. ონთან $0,265 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ - ით, სოფ. აღპანასთან $0,906 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ით და სოფ. ნამოხვანთან $1,746 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ -ით.

სულ სხვა ვითარება აღინიშნება მდ. რიონის ქვემო წელში, სადაც მისი ჩამონადენი იზრდება მრავალრიცხოვანი წყალუხვი შენაკადებით და აგრეთვე კოლხეთის დაბლობზე გახშირებული უხვი ნალექებით. შედეგად, სოფ. საქოჩაკიძესთან აღრიცხება მდინარის მაქსიმალური ხარჯების უდიდესი მატება და მისი მრავალწლიური ცვლილების ტრენდის წრფივი აპროქსიმაციით, მიღებულია შემდეგი განტოლება:

$$T_{Qm} = 6,806 + 2045. \quad (5)$$

შავი ზღვის ნოტიო ჰაერის მასების აქტიური ზემოქმედება განსაკუთრებით მკვეთრად აისახება ზღვისპირა მცირე მდინარეთა (სუფსა, ნატანები, კინტრიში, ჩაქვისწყალი, ბჟუჟა) წყლის მაქსიმალური ხარჯების ცვლილებაზე. მათზე არსებული მონაცემებით 1927 წლიდან 2000 წლამდე და 2005 წლის დამატებით, 62 წლიანი დაკვირვებების რიგებით, მიღებულია აღმავალი ტენდენციის ტრენდები, რომელთაგან ყველაზე მაღალი ყოველწლიური მატება აღირიცხება მდ. ნატანებზე სოფ. ნატანებთან, სადაც მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური ტრენდი ასე გამოისახება:

$$T_{Qm} = 3, 126 N + 222. \quad (6)$$

ცხრილი 2. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა მაქსიმალური ხარჯების ყოველწლიური ცვლილების ტრენდების პარამეტრები (A, B)

მდინარე	პუნქტი	ფართი F კმ²	სიმაღლე H მ	წლების რაოდ. N	პარამეტრები A B		დისპერსია R2
ბზიფი	ჯირხვა	1410	1690	61	1,66	450	0,026
კოდორი	ლათა	1420	1920	61	4,13	370	0,127
ენგური	დიზი	1620	2460	92	-0,664	372	0,009
ენგური	ხაიში	2780	2320	92	-0,403	662	0,001
ნენსკრა	ლახამი	468	2300	92	-0,311	161	0,007
მესტიაჭალა	მესტია	144	2790	92	-0,152	97,3	0,005
რიონი	ონი	1060	2260	92	-0,265	201	0,007
რიონი	ალპანა	2830	1810	92	-0,906	571	0,018
რიონი	ნამოხვანი	3450	1720	92	-1,746	809	0,045
რიონი	საქოჩაკიძე	13300	950	92	6,806	2045	0,015
ყვირილა	საჩხერე	533	1320	92	-0,525	183	0,02
ყვირილა	ზესტაფონი	2490	960	92	-1,042	594	0,01
ძირულა	წევა	1190	880	92	-0,736	323	0,017
ჩხერიმელა	ხარაგაული	655	1230	92	-0,184	118	0,003
ხანისწყალი	ბაღდათი	398	1100	92	-0,462	146	0,022
ცხენისწყალი	ლუჯი	506	2240	84	0,092	97,9	0,005
ცხენისწყალი	რცხმელური	1470	2040	84	0,43	348	0,004
ცხენისწყალი	ხიდი	1950	1800	84	-0,825	390	0,013
ტეხური	ნაქალაქევი	558	1160	84	0,714	302	0,008
ხობი	ლეგახარე	310	1640	84	-0,236	258	0,001
სუფსა	ჩოხატაური	316	1250	62	0,259	106	0,007
სუფსა	ხიდმაღალა	1100	970	62	1,524	442	0,018
ნატანები	ნატანები	469	880	62	3,126	222	0,089
კინტრიში	კოხი	191	1120	62	0,889	128	0,014
ჩაქვისწყალი	ხალა	120	880	62	0,161	141	0,001
ბჟუჟა	გომი	112	1580	62	1,7	55,5	0,043
აჭარისწყალი	ხულო	251	1590	63	-0,227	76	0,018
აჭარისწყალი	ქედა	1360	1470	63	-0,436	335	0,003
ჭოროხი	ერგე	22100		63	-0,77	1525	0,001

სულ სხვა ვითარებაა მდ. ჭოროხზე, რომელზეც გასულ წლებში კლიმატის მომატებული დათბობის ზეგავლენის გარდა, მდინარის ჩამონადენის შემცირებაზე იმოქმედა აგრეთვე თურქეთში აშენებულმა 10-მდე კაშხალმა, რის გამოც 2000 წლამდე არსებული 63 წლიანი დაკვირვებათა რიგებით წყლის მაქსიმალურ

ხარჯებზე, სოფ. ერგესთან მიღებულია მათი მრავალწლიური ცვლილების დადმავალი ტენდენცია. დადმავალი ტენდენციით ხასიათდება აგრეთვე მდ. ჭოროხის შესართავთან მდებარე მის შენაკად აჭარისწყლის მაქსიმალური ხარჯების ტრენდიც, რაც ძირითადად იმით აიხსნება, რომ მიუხედავად სიახლოვისა, შავი ზღვის ნოტიო ჰაერის მასების გავლენა აქ შეზღუდულია მისი წყალგამყოფი მესხეთის ქედით, რომლის სიმაღლეები აუზის გასწვრივ 1300 მ-დან 2700 მ-მდე მერყეობს. მდ. აჭარისწყლის მაქსიმალური ხარჯების 63 წლიანი (1922 – 2020 წწ) დაკვირვებათა მონაცემებით მიღებული ტრენდების პარამეტრების მიხედვით, ისინი მცირდება ყოველწლიურად 0,23 მ³/წმ-ით სოფ. ხულოსთან და 0,44 მ³/წმ-ით სოფ. ქედასთან.

დასკვნა. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყალმოვარდნები ფორმირდებიან სხვადასხვა ფიზიკურ-გეოგრაფიულ გარემოში და ამიტომ ისინი არ არიან იდენტურები. მდინარეთა წყლის მაქსიმალური ხარჯების ფორმირებაში მონაწილეობენ ზოგან კავკასიონის მთავარ ქედზე არსებული მყინვარების ნადნობი წყლები, ზოგან მაღალ მთებში დაგროვილი თოვლის საფრის ნადნობი წყლები. კოლხეთის დაბლობზე კი, დიდ როლს თამაშობს შავი ზღვის ნოტიო ჰაერის მასების კონდენსირებით მიღებული უხვი ატმოსფერული ნალექები. ამის გამო წყლის მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური დინამიკა ცალკეულ მდინარეზე სხვადასხვაა და ხასიათდება ინდივიდუალური თავისებურებებით. საყურადღებოა, რომ კლიმატის გლობალური დათბობის გააქტიურების შედეგად შემცირდა მთებში არსებული მყინვარებისა და თოვლის საფრის ნადნობი წყლების ადრე მიმდინარე აქტიური ზემოქმედება, დაბლობებში კი ტემპერატურის მომატებით გაიზარდა აორთქლება და ნიადაგში ინფილტრაცია, რის გამოც მდინარეთა მაქსიმალური ხარჯები ძირითადად მცირდება. მდინარეთა წყლის მაქსიმალური ხარჯების მატება აღინიშნება შავი ზღვისპირა მდინარეებზე, რომელთა ფორმირება ხდება ზღვის ნოტიო ჰაერის მასების ინტენსიური კონდენსირებით მიღებული უხვი ნალექებით. მდინარეთა წყლის უდიდესი მაქსიმალური ხარჯების მრავალწლიური დინამიკის განახლებული და დაზუსტებული ტრენდების პარამეტრების გათვალისწინება წყალსამეურნეო გაანგარიშებებში, შესაძლებელს გახდის დაზუსტდეს ყველა ჰიდროტექნიკური და სხვა ნაგებობათა პროექტების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლები, რაც მეტად მნიშვნელოვანია მოსახლეობისა და გარემოს უსაფრთხოებისათვის. პერსპექტივაში, კლიმატის შემდგომი დათბობის პირობებში, შესაძლებელია კავკასიონის ქედზე მთლიანად დადნეს მყინვარები, მთებში კიდევ შემცირდეს თოვლის საფარი, დაშრეს წყაროები და გაიზარდოს აორთქლება. ასეთი პროცესის შემთხვევაში უფრო შემცირდება მდინარეთა ჩამონადენი და შესაბამისად მათი მაქსიმალური ხარჯებიც. მდინარეთა წყლის შემცირება გამოიწვევს მტკნარი წყლის რესურსების შემცირებას, რაც თავის მხრივ გამოიწვევს წყალმომარაგებისა და მოსავლიანობის შემცირებას, რაც მეტად უარყოფითად აისახება გარემოზე, საზოგადოებისა და ქვეყნის განვითარებაზე. ამიტომ საჭიროა წინასწარ გარკვეული პრევენციული ღონისძიებების დაგეგმვა და ჩატარება.

ლიტერატურა - References-Литература

1. Dolidze J., Kordzakhia G. Overview of hydrometeorological activities in Georgia. Science and Culture. Vol. II, Tbilisi, 2013, pp. 26-39
2. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1967, 460 p.
3. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1977, 358 p.
4. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1978, 300 p.
5. State Water Cadastre, Vol. VI, Georgian SSR, GIMIZ, Leningrad, 1987, 416 p.
6. Department of Hydrometeorology of National Environmental Agency, Tbilisi, 2024
7. Catalog of Glaciers of USSR, Vol. 9, Issue 3, Part 1, GIMIZ, Leningrad, 1975, 86 p.
8. Basilashvili Ts. Updated maximum flood discharges for hydrological calculations of the rivers in Western Georgia. International Scientific Conference “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 64-68. <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>
9. Basilashvili Ts., Berdzenishvili N. The Scale of the Estimated Maximum Discharge of Floods on the Rivers of Western Georgia. International Scientific Conference “Modern Problems of Ecology”, Tbilisi, 2024, pp. 66-70. <http://mpe.openjournals.ge>

10. Basilashvili Ts. Changes of Georgian Mountainous Rivers Water Flows, Problems and Recommendations. American Journal of Environmental Protection, 4, № 3-1, Science Publishing Group (USA), 2015, pp. 38-43
11. Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G., Beridze S. The Study of the Degradation of the Glacial Basin of Western Georgia against the background of ongoing climate change using satellite remote sensing data. Transactions IHM, GTU, Vol. 135, 2024, pp 64-68. doi.org/10.36073/1512-0902-2024-135-64-68

UDC: 551.482.215.3

Long-term trends in peak discharge rates of major floods in the rivers of Western Georgia. Basilashvili Ts.Z., Pipia M.G., Arutiniani N.E. Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.07-15. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

Based on 61–92 years of observation data from 29 major hydrological checkpoints across Western Georgia, this study identifies trends in the annual changes of peak flood discharges. Linear approximation equations for these trends have been determined, providing essential parameters that hold both practical and predictive value. These findings are crucial for use in the planning and design of existing and future river structures and coastal zone developments, as well as for forecasting potentially hazardous hydrological events.

УДК: 551.482.215.3

Многолетняя динамика максимальных расходов наибольших паводков на реках Западной Грузии. Басилашвили Ц.З., Пипия М.Г., Арутюнян Н.Э. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 07-15. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На 29 основных гидрологических постах рек Западной Грузии, по данным 61-92 летних наблюдений, составлены тренды ежегодных изменений максимальных расходов наибольших паводков и определены их соответствующие уравнения по линейной аппроксимации. Получение их параметров, очень актуально и имеет практическую ценность, так как, их предвидение имеет важное значение при планировании и проектировании существующих и новых строений, находящихся на реках и в прибрежных зонах, а также в целях прогнозирования и предотвращения опасных гидрологических явлений.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-16-22

უკ. 551,482.215.3

**აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის საშუალო
წლიური ხარჯების განახლებული პარამეტრები
ცისანა ბასილაშვილი**

საქართველოს ტექნიკურ/ი უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
jarjinio@mail.ru

რეზიუმე. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა 22 საგუშაგოს ჰიდროკვებზე, 2024 წლამდე არსებული ბოლო 33 წლის დაკვირვებათა მონაცემების დამატებით, განახლებულია წყლის საშუალო წლიური ხარჯების მახასიათებელი პარამეტრები. 60 - 97 წლიანი ემპირიული რიგების მონაცემების სტატისტიკური ანალიზით დაზუსტებული ეს პარამეტრები, მიზანშეწონილია გათვალისწინებულ იქნეს, როგორც სამეცნიერო, ისე სამეურნეო და საპროექტო ორგანიზაციებში, რათა სწორად წარიმართოს წყალსამეურნეო გაანგარიშებები მდინარეებზე და მათ სანაპირო ზონებში ჰიდროტექნიკური და სხვა ნაგებობათა ტექნიკურ - ეკონომიკური მაჩვენებლების დასაბუთებისათვის, აგრეთვე მდინარეთა წყლის არსებული რესურსების ეფექტური გამოყენებისათვის და პერსპექტივაში მათი უკმარისობის შემთხვევაში, ნეგატიური შედეგების თავიდან აცილების მიზნით, საჭირო ღონისძიებების ჩასატარებლად.

საკვანძო სიტყვები: გამოტოვებულ დაკვირვებათა აღდგენა, მდინარის წყლიანობის ნორმა, წყლის რესურსების შემცირება.

შესავალი. მდინარეთა მუდმივ განახლებადი მტკნარი წყლის რესურსები დიდ როლს თამაშობს ქვეყნის ეკონომიკაში: ენერგეტიკაში, მრეწველობაში, კომუნალურ და სოფლის მეურნეობაში, რადგან მეურნეობის არცერთი დარგის განვითარება და მოსახლეობის საყოფაცხოვრებო მომსახურება, შეუძლებელია მტკნარი წყლის რესურსების გარეშე.

მომავალში კლიმატის გლობალური ცვლილების შედეგად, სავარაუდოთ, შესაძლოა მოხდეს მდინარეთა ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილების ცვლილება, რაც იმაში მდგომარეობს, რომ გაიზრდება ზამთრის პერიოდის წყლის ხარჯები და შემცირდება გაზაფხულ-ზაფხულის ჩამონადენი. ეს განსაკუთრებით შესამჩნევი იქნება მთიანი რეგიონის პირობებში, სადაც კლიმატის დათბობა იწვევს ნულოვანი იზოთერმის მალე აწევას და შესაბამისად თოვლის საფარის შემცირებას. გარდა ამისა, ტემპერატურის მატება იწვევს აორთქლების გაზრდას, გვალვიანობისა და გაუდაბნოების პროცესის განვითარებას, რაც მეტად უარყოფითად იმოქმედებს მდინარეთა წყლიანობაზე.

წყლის რესურსების შემცირება, განსაკუთრებით საშიშია მშრალი კლიმატის რეგიონში, სადაც რწყვის გარეშე შეუძლებელია მოსავლიანობის მიღება. მსოფლიო ჯანმრთელობის ორგანიზაციის ცნობით, კლიმატის დათბობის შედეგად, დედამიწაზე ექსტრემალური ამინდის პირობებში, გამოიწვევს მსხვერპლს, რადგან მოუსავლიანობა წარმოშობს შიმშილს [1]. ასეთი ვითარება ქმნის იმის აუცილებლობას, რომ უნდა დადგინდეს მდინარეთა არსებული წყლის რესურსების ოდენობა, რათა მათი უკმარისობის შემთხვევაში მიღებულ იქნეს შესაბამისი პრევენციული ღონისძიებები.

მონაცემები საქართველოს მდინარეთა წყლის ყოველწლიური საშუალო ხარჯებისა 1981 წლამდე არსებული სტაციონალური დაკვირვებებით გამოქვეყნებულია [2-5] ცნობარებში. 1985 წლამდე წლიური ხარჯების მონაცემების სათანადო ანალიზი მოცემულია [6, 7] მონოგრაფიებში, 1991 წლამდე არსებული მონაცემების ანალიზი კი მოცემულია [8, 9, 10] ნაშრომებში. მას შემდეგ გასული 33 წლის მანძილზე დაგროვილი დაკვირვებათა მონაცემების დამატებით, საჭიროა მდინარეთა წყლიანობის ნორმების განახლება.

ძირითადი ნაწილი. ვინაიდან საქართველოს მდინარეთა წყლიანობის ფორმირების ბუნებრივი პირობები მკვეთრად განსხვავდებიან მის დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონებში, ამიტომ მათი შეფასება ჩატარდა ცალ-ცალკე. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ დასავლეთ საქართველოში მდინარეთა წყლის რესურსები 3,5-ჯერ მეტია, ვიდრე აღმოსავლეთ საქართველოში, მაგრამ აქ 5-ჯერ მეტი წყალი გამოიყენება, ვიდრე დასავლეთში. პირველ რიგში განვიხილავთ აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებს, რომელთა წყლიანობა განსაზღვრავს სასოფლო კულტურების მოსავლიანობას, რადგან აქ მშრალი ჰავის პირობებში, მიუხედავად მაღალი ხარისხის ნოყიერი ნიადაგებისა, მორწყვის გარეშე შეუძლებელია სოფლის მეურნეობის განვითარება, რაც გადამწყვეტია ჩვენი ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებისათვის. სწორედ ამიტომ, აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის რესურსების 70 % იხარჯება მელიორაციაზე.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული 26060 მდინარიდან აღმოსავლეთ საქართველოში 7951 მდინარეა 24889 კმ საერთო სიგრძით, რომელთა ქსელის სიხშირის კოეფიციენტი 0,68 კმ/კმ²-ია. მათი დიდი ნაწილი (7194 მდინარე, 2369 კმ საერთო სიგრძით) წარმოადგენს, საქართველოს დედა მდინარედ წოდებულ, მდ. მტკვრის შენაკადს. ისინი სხვადასხვა მხრიდან მიედინებიან და უერთდებიან საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში კასპიის ზღვისკენ აღმოსავლეთით მიმდინარე მდ. მტკვარს.

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების მიერ წლის განმავლობაში ერთ კვადრატულ კილომეტრზე ფორმირებული წყლის საშუალო რაოდენობა შეადგენს 0,37 მლნ მ³/კმ²-ს. წყლის რესურსების საერთო მოცულობა არის 13,45 კმ³, საიდანაც 11,25 კმ³ ადგილობრივი ანუ უშუალოდ ამ ტერიტორიაზე ფორმირებული რესურსია, ხოლო დანარჩენი 2,2 კმ³ შემოდის თურქეთიდან მდ. მტკვრისა და ფოცხოვის სათავეებიდან [7]. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებიდან უხვწყლიანობით გამოირჩევა მდ. მტკვარი და მისი პირველი რიგის შენაკადები: ალაზანი, იორი, არაგვი, დიდი ლიახვი, რომლებიც ფორმირდებიან კავკასიონის სამხრეთ ფერდობებიდან. მათგან დიდ ლიახვსა და არაგვს აქვთ მერიდიანული მიმართულება, ხოლო იორსა და ალაზანს სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულება. დანარჩენი მდინარეები: ფარავანი, ქციახრამი და სხვები ჩამოედინებიან სამხრეთ მთიანეთის ზეგნებიდან და შედარებით მცირე წყლიანობით ხასიათდებიან. გარდა ამისა, ივრის ზეგანზე, ქვემო ქართლის ვაკეზე და მტკვრისპირა დაბლობში უმთავრესად ხეებია, სადაც წყალი მიედინება მხოლოდ თოვლის დნობისა და თავსხმა წვიმების დროს. მდ. იორისა და ალაზნის ქვემო წელი კი უჩამონადენო ადგილებად ითვლება.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ბევრ რეგიონში მდინარეთა ქსელის ფაქტიური სიხშირე, სარწყავი სისტემების გათვალისწინებით გაცილებით მეტია ბუნებრივზე. მაგალითად, მარტო ზემო ქართლის ზეგანზე სარწყავი სისტემების არხების საერთო სიგრძე 16200 კმ-ია, რაც 3-ჯერ აღემატება ამ რეგიონის ბუნებრივ მდინარეთა საერთო სიგრძეს.

საქართველოს მდინარეთა წლიური ჩამონადენის რყევადობას გარკვეული ციკლიურობა ახასიათებს - მცირეწყლიანი და უხვწყლიანი წლების პერიოდებით. ბოლო ათწლეულში კი მათი ჩამონადენის შიდაწლიურ განაწილებაზე სულ უფრო მეტ გავლენას ახდენს სამეურნეო საქმიანობა, რომელიც არღვევს წყლის ობიექტების ბუნებრივ მდგომარეობას.

ცალკეულ მდინარეთა აუზებში არსებული განსხვავებული კლიმატური და ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გამო, წყლის ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილება მრავალფეროვნებით ხასიათდება. აქ ძირითადად შერეული საზრდოობის მდინარეებია, რაშიც მონაწილეობს წვიმის, თოვლის, მიწისქვეშა და მყინვარების წყლები. მდინარეთა საზრდოობაში ამა თუ იმ წყაროს მონაწილეობის წვლილი იცვლება აუზების სიმაღლის, კლიმატის თავისებურებისა და ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების მიხედვით.

მდინარეთა წყლის წლიური ხარჯების ნორმების დაზუსტებისა და მათი განახლების მიზნით, გამოყენებულ იქნა მთავარ მდინარეებზე ადრე არსებული და ამჟამად მოქმედი ჰიდროლოგიური საგუშაგოების დაკვირვებათა მონაცემები წყლის ხარჯებისა (Q მ³/წმ). მათი ანალიზისათვის კი გამოყენებულია ალბათობის თეორიის მათემატიკური სტატისტიკისა და კომპიუტერული კვლევის მეთოდები სათანადო [11] პროგრამის მიხედვით.

მდინარეთა წყლიანობის დასადგენად გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ცალკეული მდინარის წყალშემკრებ აუზში სადამკვირვებლო ჰიდროლოგიური ქსელის არსებობას და მათზე დაკვირვებათა რიგების ოდენობას. საქართველოში გასული საუკუნის 90-იან წლებამდე მოქმედებდა 210 მეტეოროლოგიური, 153 ჰიდროლოგიური და 22 ჰიდროგლაციოლოგიური დაკვირვების პუნქტი [12], რომელთა მონაცემები 1981 წლის ჩათვლით გამოქვეყნებულია [2-5] ცნობარებში. 90-იანი წლებიდან საქართველოში მოქმედებს მხოლოდ 15 მეტეოროლოგიური სადგური, 20 ჰიდროლოგიური და 26 მეტეოროლოგიური საგუშაგო, მაგრამ მდინარეებზე აღარ იზომება მათი წყლიანობა, იზომება მხოლოდ წყლის დონეები, რომელთა მიხედვით მიახლოებით განისაზღვრება წყლის ხარჯები. აღსანიშნავია, რომ 1981 წლის შემდეგ მონაცემები მდინარეთა წყლის ხარჯებისა აღარ გამოქვეყნებულა და მათი მოპოვება 21 საუკუნის 20-იან წლებამდე მეტად ძვირადღირებული იყო მატერიალურად ხელმოკლე მეცნიერთათვის, რის გამოც ვეღარ ხდებოდა მათი სათანადო სამეცნიერო კვლევა.

მოცემულ ნაშრომში კვლევა ჩატარდა აღმოსავლეთ საქართველოს 22 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე არსებულ სტაციონალურ დაკვირვებათა მრავალწლიური მონაცემებით, რომლებიც 1981 წლის ჩათვლით აღებულია [2-5] ცნობარებიდან, ხოლო დანარჩენი 2023 წლის ჩათვლით მიღებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს [13] მონაცემებით. ამ მონაცემთა ანალიზით, გაირკვა რომ აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებზე გასული საუკუნის 90-იანი წლებიდან აღარ ხდებოდა რეგულარული დაკვირვებები. მხოლოდ

მდ. ალაზანზე ს. შაქრიანთან არის უწყვეტი დაკვირვებების რიგი. აღსანიშნავია, რომ თვით მდინარეთა მთავარ არტერია - მდ. მტკვარზე მხოლოდ 2012 წლიდან აღდგა დაკვირვებები ქ. ბორჯომთან. ქ. თბილისთან კი, 1993 წლის შემდეგ, მხოლოდ 2021 წლიდან დაიწყო დაკვირვებები.

ასეთ ვითარებაში, დაკვირვებათა გამოტოვებულ შემთხვევებში, წყლის ხარჯების მნიშვნელობების აღდგენის მიზნით, გამოყენებულ იქნა ანალოგ მდინარეთა წყლის ხარჯების ურთიერთკავშირების კორელაციური ანალიზი და გრაფიკული ინტერპოლაციის მეთოდი. აქ აღსანიშნავია ის გარემოება, რომ ცალკეულ მდინარეთა აუზებში მათი წყლიანობის ფორმირების პირობების განსხვავებულობის გამო, მათი წყლის წლიური ხარჯების კორელაციური კავშირები სუსტია და ამიტომ ზოგიერთი მდინარისთვის ვერ მოხერხდა ანალოგ მდინარეთა შერჩევა და გამოტოვებული დაკვირვებების შემთხვევებისთვის წყლის წლიური ხარჯების აღდგენა.

ცხრილ 1-ში მოცემულია განხილულ მდინარეთა ცალკეულ ჰიდროკვეთებზე საშუალო წლიურ ხარჯებზე არსებულ დაკვირვებათა (n) და აღდგენილი წლების საერთო რაოდენობა (N), საიდანაც ირკვევა, რომ დაკვირვებათა ყველაზე გრძელი რიგი (n = 89 წ) არის მდ. ალაზანზე ს. შაქრიანთან. მდ. მტკვარზე დაკვირვებათა გრძელი რიგებია ს. ხერთვისთან (n = 77 წ) და ქ. თბილისთან (n = 73 წ). მისი შენაკადებიდან დაკვირვებათა გრძელი რიგით (n = 76 წ) გამოირჩევა მდ. ფარავანი ს. ხერთვისთან.

დაკვირვებათა გამოტოვებული შემთხვევების აღდგენის შედეგად ყველაზე გრძელი რიგი (N = 97 წ) მიღებულია მდ. მტკვარზე ქ. ბორჯომთან, ს. ძეგთან და ქ. თბილისთან. 92 წლიანი რიგებია მიღებული მდ. ფოცხოვზე და ბორჯომულაზე, 89 წლიანი რიგები კი არის მდ. ალაზანზე და იორზე.

ცხრილი 1. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის საშუალო წლიურ ხარჯებზე არსებულ დაკვირვებებისა (n) და აღდგენილი წლების საერთო რაოდენობა (N)

№	მდინარე - პუნქტი	დაკვირვების წლები	n	N
1	მტკვარი - ხერთვისი	1939-94, 98-99, 2002, 06-23	77	87
2	მტკვარი - მინაძე	1934-94, 97-98, 2001-04, 06	68	87
3	მტკვარი - ბორჯომი	1936-94, 96, 2012-23	72	97
4	მტკვარი - ძეგვი	1928-30, 33-35, 38-39, 47-49, 51, 53, 55-57, 60-81	38	97
5	მტკვარი - თბილისი	1924-93, 2021-23	73	97
6	ფარავანი - ხერთვისი	1937-95, 2007-23	76	87
7	ფოცხოვი - სხვილიხი	1929-31, 34-49, 51-94, 97-2004	70	92
8	ბორჯომულა - ბორჯომი	1932-89	58	92
9	დიდი ლიახვი - კეხვი	1929-34, 42-66, 69-90	53	75
10	პატარა ლიახვი - ვანათი	1929-36, 39-42, 44-46, 49-52, 55-86	51	75
11	ქსანი - კორინთა	1941-42, 44-46, 48-2003, 05-06	63	75
12	არაგვი - ჟინვალის	1936-74, 77-86	48	61
13	თეთრი არაგვი - ფასანაური	1937-94, 97-98, 2023	60	61
14	შავი არაგვი - შესართავი	1939-90	52	55
15	ფშავის არაგვი - მადაროსკარი	1959-90	32	55
16	იორი - ლელოვანი	1964-89	26	89
17	ალაზანი - ბირკიანი	1950-96	47	89
18	ალაზანი - შაქრიანი	1933-34, 36-44, 46-2023	89	89
19	ინწობა - საბუე	1963-81, 90-2004	34	61
20	ქცია ხრამი - ედიკილისა	1947-92	47	87
21	ქცია ხრამი - წითელი ხიდი	1928-35, 37-48, 58-89	52	87
22	მაშვერა - დმანისი	1941, 44-93, 2004-06	54	87

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. ამრიგად მდინარეთა საშუალო წლიური ხარჯების მონაცემების კორელაციური ანალიზის შედეგად, შერჩეულ ანალოგ მდინარეთა მონაცემებს შორის გრაფიკული ინტერპოლაციით აღდგენილია დაკვირვებათა გამოტოვებული შემთხვევების წლიური ხარჯები და შედგენილ იქნა მდინარეთა წყლის საშუალო წლიური ხარჯების მნიშვნელობების მრავალწლიური (60 – 97 წწ) მონაცემების ბაზა.

ვინაიდან სადღეისოდ, კლიმატის მიმდინარე გლობალური დათბობის შედეგად, იცვლება მდინარეთა წყლიანობის ფორმირების პირობები და შესაბამისად იცვლება მათი წყლის ხარჯების მნიშვნელობები, ამიტომ აუცილებელია, ადრე 1980-1990 წლებამდე არსებული დაკვირვებათა მცირე რიგებით გაანგარიშებულ წყლის წლიური ხარჯების მახასიათებლები, დაზუსტდეს და განახლდეს ახალი მონაცემების გათვალისწინებით. ამისთვის, მდინარეთა წყლის წლიური ხარჯების მრავალწლიანი რიგების სათანადო კომპიუტერული პროგრამის [11] მიხედვით ჩატარებული სტატისტიკური ანალიზის შედეგად, დაზუსტდა მდინარეთა 22 ჰიდროკვეთზე ყოველწლიური წყლის წლიური ხარჯების მრავალწლიური მახასიათებლების პარამეტრები, რომლებიც მოცემულია 2 ცხრილში.

მიღებული მახასიათებლებიდან მდინარეთა წყლის ჩამონადენის მთავარი პარამეტრებია: მდინარეთა წყლის საშუალო მრავალწლიური ხარჯი ანუ მდინარის წყლიანობის ნორმა (Q_0 მ³/წმ), რომელიც წარმოადგენს წყლის ყოველწლიური ხარჯების საშუალო არითმეტიკულ რიცხვს:

$$Q_0 = \sum_{i=1}^N Q_i / N ; \quad (1)$$

წყლის წლიური ხარჯების საშუალო კვადრატული გადახრა (σ , მ³/წმ), რომელიც არის მაჩვენებელი წყლის ხარჯების ყოველწლიური მნიშვნელობების გაფანტულობისა მისი საშუალო მნიშვნელობიდან (ნორმიდან) გამოიანგარიშება ფორმულით:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_i - Q_0)^2 / N} ; \quad (2)$$

წლიური ხარჯების ვარიაციის კოეფიციენტი (C_v), რომელიც უჩვენებს წყლის ხარჯების ყოველწლიურ ცვალებადობას და განისაზღვრება წლიური ხარჯების კვადრატული გადახრის შეფარდებით მის ნორმასთან:

$$C_v = \sigma / Q_0 ; \quad (3)$$

წლიური ხარჯების ასიმეტრიის კოეფიციენტი (C_s), რომელიც ახასიათებს წლის ხარჯების ყოველწლიური ცვალებადობის ასიმეტრიულობას მის საშუალო მრავალწლიურ მნიშვნელობასთან და იანგარიშება ფორმულით:

$$C_s = \sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_i}{Q_0} - 1 \right)^3 / (N - 1) C_v^3 ; \quad (4)$$

გარდა ამ პარამეტრებისა, 2 ცხრილში მოცემულია აგრეთვე მდინარეთა წყლის საშუალო მრავალწლიური ხარჯების ექსტრემალური მნიშვნელობები: უდიდესი ანუ მაქსიმალური (Q_{MAX} მ³/წმ) და უმცირესი ანუ მინიმალური (Q_{MIN} მ³/წმ) მნიშვნელობები.

მდინარეთა საშუალო მრავალწლიური ხარჯების ამ კრიტიკული (Q_{MAX}) და (Q_{MIN}) მნიშვნელობების სხვაობით მიიღება მათი მრავალწლიური რყევის ამპლიტუდა (A , მ³/წმ), რომელსაც მდინარის წყლიანობის აბსოლუტურ ამპლიტუდას უწოდებენ:

$$A = Q_{max} - Q_{min} ; \quad (5)$$

მდინარის წყლის უდიდესი და უმცირესი ხარჯების შეფარდებით კი განისაზღვრება მისი წყლიანობის არათანაბრობის ანუ არამდგრადობის კოეფიციენტი:

$$\beta = Q_{max} / Q_{min} . \quad (6)$$

**ცხრილი 2. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის საშუალო
წლიური ხარჯების (Q_0 , მ³/წმ) პარამეტრები 1924-2024 წლამდე არსებულ
დაკვირვებათა (N წლების) სტატისტიკური ანალიზის მიხედვით**

№	მდინარე პუნქტი	ფართობი	საშ. სიმაღლე	წლების რაოდ.	საშ. წლიური	უდიდესი	უმცირესი	ამპლიტუდა	საშ. გადხრა	ვარიაცია	ასიმეტრია
		F	H	N	Q_0	Q_{max}	Q_{min}	A_Q	Q_m	C_v	C_s
1	მტკვარი - ხერთვისი	4980		87	33.5	59.5	17.0	41.9	8.75	0.26	0.66
2	მტკვარი - მინამე	8010		87	59.4	95.4	32.6	63.4	12.2	0.21	0.60
3	მტკვარი - ბორჯომი	10500		97	85.1	145	10.3	135	17.8	0.21	0.65
4	მტკვარი - ძეგვი	18000		97	171	286	101	185	36.7	0.21	0.49
5	მტკვარი - თბილისი	21100		97	209	337	133	204	41.9	0.20	0.38
6	ფარავანი - ხერთვისი	2350	2120	87	17.5	27.3	5.3	22.0	3.88	0.22	0.46
7	ფოცხოვი - სხვილისი	1730	1870	92	21.6	39.2	11.2	28.0	4.80	0.22	0.46
8	ბორჯომულა - ბორჯომი	165	1810	92	25.5	4.20	1.3	2.85	0.57	0.22	0.41
9	დიდი ლიახვი - კეხვი	924	2100	75	25.3	53.5	14.0	39.5	7.04	0.28	1.12
10	პატარა ლიახვი - ვანათი	422	1910	75	8.49	26.5	1.6	24.9	4.00	0.47	1.48
11	ქსანი - კორინთა	461	1830	75	8.24	21.4	1.7	19.7	3.86	0.47	0.97
12	არაგვი - ჟინვალის	1900	1890	61	44.8	74.0	14.4	59.6	11.2	0.25	0.29
13	თეთ. არაგვი - ფასანაური	335	2140	61	12.1	16.6	7.6	8.97	1.87	0.15	0.26
14	შავი არაგვი - შესართავი	235	2030	55	7.76	12.4	4.8	7.6	1.39	0.18	0.65
15	ფშ. არაგვი-მადაროსკარ	736	2060	55	19.2	29.8	11.0	18.8	3.96	0.21	0.32
16	იორი - ლელოვანი	484	1640	89	13.2	28.6	4.6	24.0	4.8	0.36	1.26
17	ალაზანი - ბირკიანი	282	2200	89	14.1	29.6	8.0	21.6	4.36	0.30	1.30
18	ალაზანი - შაქრიანი	2190	1260	89	43.9	84.7	24.0	60.7	12.3	0.28	1.04
19	ინწობა - საბუე	414	1620	61	1.56	4.1	0.6	3.50	0.68	0.44	1.14
20	ქცია ხრამი - ედიკილისა	544	2040	87	8.34	13.4	5.0	8.4	1.8	0.22	0.47
21	ქც. ხრამი - წითელი ხიდი	82	1530	87	51.4	104	17.5	86.5	79.5	0.38	0.48
22	მაშავერა - დმანისი	570	1660	87	5.26	12.7	1.3	11.4	2.13	0.41	0.86

დასკვნა. შესწავლილია აღმოსავლეთ საქართველოს მთავარ მდინარეთა 22 ჰიდროგვეთზე წყლის საშუალო წლიურ ხარჯებზე არსებული დაკვირვებათა მონაცემები 1924 წლიდან 2024 წლამდე. დაკვირვებათა გამოტოვებული შემთხვევებისთვის წლიური ხარჯების აღდგენა მოხდა ანალოგ მდინარეთა პარალელურ დაკვირვებათა მონაცემების კორელაციური ანალიზისა და გრაფიკული ინტერპოლაციის მეთოდის გამოყენებით. მდინარეთა წყალშემკრებ აუზებში არსებული რთული მთიანი რელიეფისა და კლიმატური პირობების სხვადასხვაობის გამო, ცალკეულ მდინარეთა წყლიანობის ფორმირება ინდივიდუალურ ხასიათს ატარებს და ამიტომ ზოგიერთი მდინარისთვის ვერ მოხერხდა ანალოგ მდინარეთა შერჩევა და ერთიან დაკვირვებათა რიგების მიღება. შედეგად შედგენილ იქნა მდინარეთა ყოველწლიური საშუალო წყლის ხარჯების მონაცემთა ბაზა 1960-დან 1997 წლამდე ხანგრძლივობის დაკვირვებათა რიგებით.

სათანადო კომპიუტერული პროგრამის გამოყენებით, ამ რიგების სტატისტიკური ანალიზის შედეგად, 1991-2023 წლების მონაცემთა დამატებით, მდინარეთა 22 ჰიდროგვეთზე დაზუსტდა და განახლდა მათი წყლის საშუალო წლიური ხარჯების მახასიათებლების პარამეტრები: მდინარეთა წყლიანობის ნორმა მათი საშუალო მრავალწლიური ხარჯების (მ³/წმ), სახით, მათი საშუალო კვადრატული გადახრები, ვარიაციისა და ასიმეტრიის კოეფიციენტები და აგრეთვე წყლის ხარჯების ექსტრემალური (უდიდესისა და უმცირესის) მნიშვნელობები.

მიღებული პარამეტრები მეტად მნიშვნელოვანია სამეცნიერო, საპროექტო და სამეურნეო ორგანიზაციებში წყალსამეურნეო გაანგარიშებების საწარმოებლად მდინარეებზე მდებარე ჰიდროტექნიკურ ობიექტებზე და სანაპირო ზონებში არსებული ნაგებობების ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების დაგეგმარების დასაბუთებისათვის.

ამრიგად, მდინარეთა წყლიანობაზე დაკვირვებათა 33 წლიანი მონაცემების დამატებით განახლებული პარამეტრების პრაქტიკული გამოყენება, შესაძლებელს გახდის მდინარეებზე და მათ სიახლოვეს მდებარე ობიექტების საიმედო წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისა და ეფექტური მომსახურების წარმოებას.

მომავალში კლიმატის მოსალოდნელი დათბობის მომატება აღმოსავლეთ საქართველოში გამოიწვევს მდინარეთა აუზებში მცინვარებისა და თოვლის საფარის შემცირებას, აორთქლებისა და გვალვიანობის გაზრდას და შესაბამისად მტკნარი წყლის რესურსების კლებას. შედეგად პრობლემატური გახდება როგორც სამეურნეო დარგებისა და კომუნალური წყალმომარაგება, ისე სასოფლო სავარგულების მორწყვა და მოსავლის მიღება. ასეთი პროცესების განვითარებისა და მიყენებული ზარალის შემცირების მიზნით, მიზანშეწონილია დროულად ჩატარდეს საჭირო პრევენციული ღონისძიებები არსებული წყლის რესურსების მომჭირნეობით გამოყენებისა და მათი შევსებისათვის.

ლიტერატურა - References – Литература

1. Smith K.R. at ol. chapter II: Human health: impacts, adaptation and co. benefits. Archived 8.07.2014
2. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1967, 460 p
3. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1977, 358 p
4. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1978, 300 p
5. State Water Cadaster, Vol. VI, Georgian SSR, GIMIZ, Leningrad, 1987, 416 p
6. Water resources of Transcaucasia, GIMIZ, Leningrad, 1988, 264 p
7. Khmaladze Giorgi. The Water Resources of Georgia. Tbilisi, 2009, 43 p
8. Basilashvili Ts., Salukvadze M., Tsomaia V., Kherkheulidze G. Catastrophic of Flooding, Mudflow and Avalanches in Georgia and their Safety. Georgian Technical University. Tbilisi, 2012, 244 p
9. Basilashvili Ts. Changes of Georgian Mountainous Rivers Water Flows, Problems and Recommendations. American Journal of Environmental Protection, 4, № 3-1, Science Publishing Group (USA), 2015, pp. 38-43
10. Basilashvili Ts. Parameters of Peak Discharges on Mountain Rivers of Georgia, their Changes Tendencies and the Scope Development. Proceedings of International Conference Landscape Dimensions of Sustainable Development: Science – Planning – Governance. TSU, Tbilisi, 2017, pp. 224-235
11. Basilashvili Ts. Statistical Analysis of Variables and Selection of Predictors for Prognostic Relationships. Annotated Index of Algorithms and Programms. World Data Center. Obninsk, 1977, pp. 43
12. Dolidze J., Kordzakhia G. Overview of hydrometeorological activities in Georgia. Science and Culture. Vol. II, Tbilisi, 2013, pp. 26-39
13. Department of Hydrometeorology of National Environmental Agency. Tbilisi, 2024

UDC: 551.482.215.3

Updated Parameters of Average Annual River Discharge in Eastern Georgia. Basilashvili Ts.Z. Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.16-22. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The parameters characterizing the average annual discharge of rivers in Eastern Georgia have been updated based on additional data from 22 hydrological monitoring stations, incorporating observations over the past 33 years up to 2024. These parameters, refined through statistical analysis of empirical time series spanning 60 to 97 years, are recommended for use in both scientific and practical applications.

Their consideration is essential for accurate water management calculations on rivers and in adjacent coastal zones, for the technical and economic justification of hydrotechnical and other infrastructure projects, and for the effective utilization of current water resources. Additionally, they provide a basis for planning preventive measures against potential negative consequences in the event of future water shortages.

УДК: 551.482.215.3

Обновлённые параметры среднегодовых расходов воды рек Восточной Грузии. Басилашвили Ц.З. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 16-22. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На 22 гидростворах постов рек Восточной Грузии обновлены характерные параметры среднегодовых расходов воды с добавлением существующих за последние 33 года наблюдений до 2024 года. Уточнённые эти параметры по статистическому анализу 60-97 летних эмпирических рядов данных, целесообразно предусмотреть как в научных, так и в хозяйственных и проектных организациях, чтобы правильно вести водохозяйственные расчёты для обоснования технико-экономических показателей гидротехнических и других строений, расположенных на реках и в прибрежных зонах, а также для эффективного использования существующих водных ресурсов рек и в перспективе, при их недостаточности, во избежание негативных результатов, провести нужные превенциальные мероприятия.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-23-29

უკ.111.111

The Importance of Information Communications for Natural Disasters Management
S. Gorgijanidze, G. Makarashvili, G. Jincharadze, T. Chitadze, N. Kobakhidze, G. Gachechiladze
Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University
sophiogorgijanidz@gmail.com

Resume. In the context of global warming, catastrophic events have become considerably more frequent. This phenomenon is closely linked to scientific and technological advancements, which are a consequence of human economic activity. Additionally, it is associated with the disruption of established societal relationships, which arise from the encroachment of society on the natural environment. Notably, most natural disasters occur in mountainous regions, underscoring the paramount importance of sustainable development in these regions.

The mountainous region of Georgia is also characterized by the presence of natural phenomena that significantly impact the country's natural environment and economy. Consequently, it is imperative to conduct thorough studies and analyses of these natural conditions and phenomena.

Warning/informing is important when a natural disaster begins or has already occurred. Warning commences when the imminent threat of a natural disaster is detected. Consequently, information communication assumes paramount importance in the management of natural disasters. Prevention and the avoidance of complications are directly proportional to communication and the timely dissemination of information. It is imperative to utilize diverse communication channels to ensure that each citizen receives timely information regarding a specific event, thereby mitigating the anticipated negative consequences.

Keywords: natural disaster, catastrophe, crisis communication.

Introduction. Global warming has led to an increase in the frequency of catastrophic events. Consequently, researchers worldwide are intensively studying the factors that contribute to the formation of natural disasters.

In the contemporary era, this phenomenon is closely linked to scientific and technological advancements, which are the outcomes of human economic activity. Additionally, it is associated with the disruption of established relationships resulting from societal encroachment upon the natural environment. Recent studies and empirical evidence indicate that the majority of natural disasters occur in mountainous regions, underscoring the paramount importance of sustainable development in these regions. [2022 S.Gorgijanidze]

Georgia, akin to numerous other mountainous regions globally, is characterized by the presence of natural phenomena that exert a profound impact on the country's natural environment and economy. Therefore, it is imperative to conduct thorough research and analysis of natural conditions and phenomena to mitigate the anticipated catastrophic and detrimental consequences.

It's crucial to emphasize the significance of issuing warnings and providing information when a natural disaster begins or has already occurred. The warning phase commences when the threat of an impending natural disaster is detected, from the moment it emerges until it materializes. Additionally, evacuation may be necessary, depending on the magnitude of the disaster. It's essential to consider the population's development in this context. Furthermore, determining the nature and mechanism of the natural disaster is crucial. For instance, in the case of an impending flood, which is a recurring occurrence in our country due to excessive atmospheric precipitation, both warnings and evacuations are feasible. However, we must be aware of the scale of its spread and the approximate coverage area, excluding floodplains, which are always inundated during floods. In today's world, information is readily available in almost every populated region of the globe, presenting a significant opportunity for enhanced disaster management. It's worth noting that since November 2007, the European Union's Directive on the Assessment and Management of Flood Risks (EU, 2007) has been in effect, establishing specific requirements for flood risk assessment and management:

1. Preliminary Flood and Flash Flood Risk Assessment.
2. Flood and Flash Flood Hazard and Risk Maps.
3. Flood and Flash Flood Risk Management Plans. [RECC]

Research. As we've discussed, information communication plays a crucial role in managing natural disasters. Prevention and avoiding complications are directly linked to effective communication and the timely dissemination of information. It's essential that citizens receive relevant information about an event promptly through various communication channels. In emergency situations, information becomes as vital as food and water for people. [2014, FEMA]

During natural disasters, public communication becomes paramount in emergencies. Emergency communications encompass warnings, instructions, and directives that may include evacuation orders, curfews, and actions that im-

pact a person's ability to defend themselves. It is crucial to stay informed about family members and the issues that may affect response and defense during emergencies. Well-crafted and effectively delivered emergency messages play a vital role in ensuring public safety, safeguarding personal property, and facilitating prompt response efforts.

The extent to which individuals respond to a warning message is influenced by numerous factors, including their personal characteristics and perceptions, the source of the message, the method of delivery, and the content of the message itself. (FEMA, 2014) The events that transpired in Georgia during the winter of 2025 were subject to controversy regarding public awareness. Nevertheless, the population was duly informed about the anticipated severe weather conditions. This process was executed through both telephone warning messages and by the LEPL National Environment Agency, which disseminated information on their website and through their official pages on social media platforms. (Fig. 1)

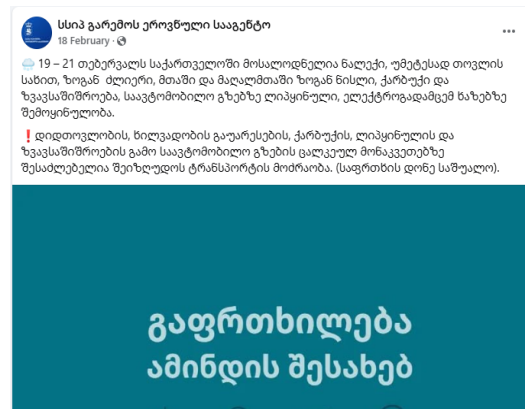


Fig. 1 Statement made by the LEPL National Environmental Agency on February 18.

Following the warning, heavy snowfall commenced on February 20. The regions of Guria, Adjara, Samegrelo, and Imereti experienced significant precipitation. In certain areas of Guri, the snow cover even exceeded two meters in height. (Fig. 2)

This in itself engendered intricate social and economic challenges. Regrettably, the calamity also resulted in loss of life. In fact, the nation endured prolonged heavy snowfall for an entire week. Information regarding the anticipated and ongoing events was predominantly disseminated through television and social media platforms. Nevertheless, there exist various communication tools, including personal communication, print and broadcast media, and the Internet/social media, from which one can select the most appropriate option. Each of these tools possesses distinct advantages and limitations, which are contingent upon the intended purpose of communication and the target audience.



Fig. 2 Ninoshvili. www.guriismoambe, Guria

Research methodology. During emergencies, it is crucial for the sender of a message to ensure its intended communication medium, audience, and clarity. The message should provide specific and adequate information, be synchronized with other disseminated information, and be accessible to the general public. [2014, FEMA]

In the United States, the Federal Emergency Management Agency's training manual [2014, FEMA] outlines four essential forms of communication during emergencies:

- Personal communication - public meetings, briefings;
- Print media - newspapers, magazines;
- Broadcast media - television, radio;
- Internet/social media.

Personal Communication

Personal communication, encompassing public meetings and briefings, serves as a powerful tool for disseminating information to the media and the public. When meticulously planned and executed, these events can effectively convey desired messages and garner media attention.

Print Media - Newspapers and magazines, collectively known as print media, facilitate the dissemination of non-time-sensitive information. Their primary effectiveness lies in providing in-depth analysis of emerging situations and preparing the public accordingly.

Broadcast Media - Television and radio constitute broadcast media that enables swift information dissemination through appropriate programs such as the Emergency Alert System (EAS), Public Service Announcements (PSAs), and news programming. Moreover, these platforms offer the opportunity to present more comprehensive information and materials. Notably, broadcasters that cater to diverse language options are crucial in effectively communicating with specific community populations.

Internet/Social Media - The Internet and social media platforms provide instantaneous messaging and a range of formats. Websites can incorporate various functionalities, including automatic notifications upon user registration. Additionally, social media's format facilitates the immediate delivery of messages to the audience.

As technology advances, novel methods for mitigating natural disasters and emergencies have emerged. Contemporary systems employ digital radios, satellite communications, and sophisticated data networks to facilitate prompt and precise information dissemination.

Geographic information systems (GIS) facilitate the mapping of disaster zones, monitoring resource movements, and forecasting the dissemination of wildfires or hazardous substances. (Fig. 3) [2024, Network Innovations,].

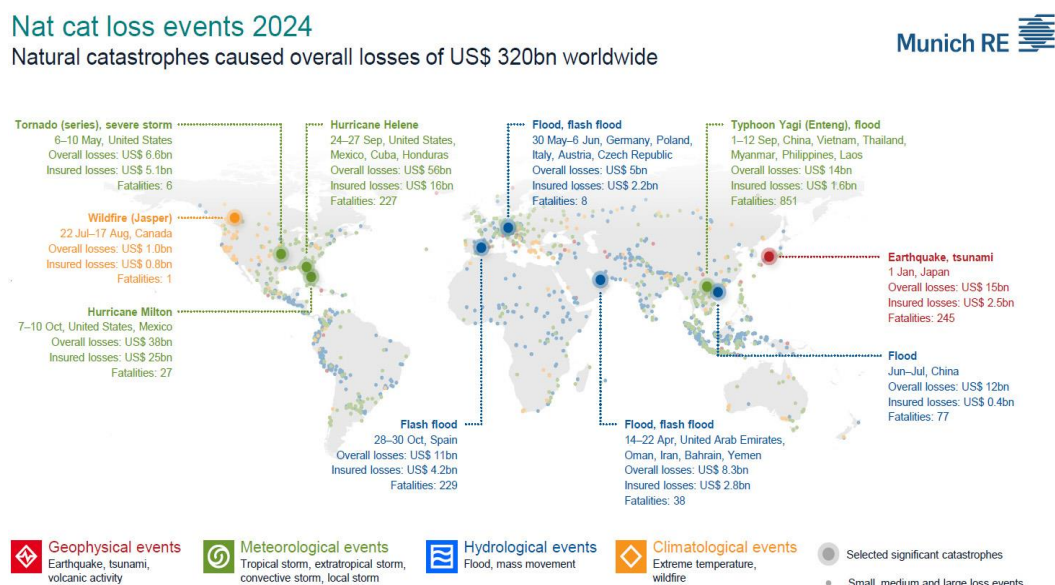


Fig. 3. 2024, natural disasters caused losses of 320 billion US dollars worldwide
 (Source: Munich Re, NatCatSERVICE, 2025)

Figure 3 presents a global analysis of natural disasters, detailing their geographical distribution and financial impact on affected countries. This data serves as a foundation for creating specialized thematic maps, 3D format materials, and typographic maps for each disaster, enabling precise documentation and analysis of specific facts and events.

For instance, local residents can anticipate floods with a seven-to-eight-day lead time, enabling timely measures to be taken. This visual and user-friendly resource presents local river flood maps and water trends, along with real-time flood forecasts and alerts. Advancements in technology have enabled the creation of such models and maps, ensuring that state and local government sectors respond effectively to disasters. Fig. 4. [<https://sites.research.google/gr/floodforecasting/>]

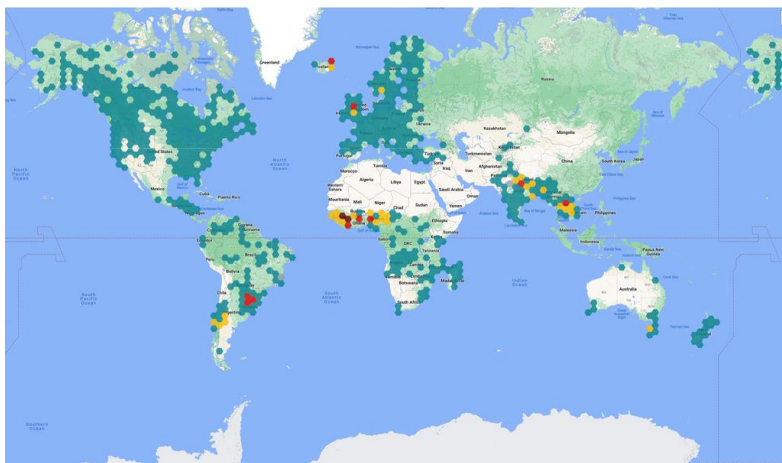


Fig. 4. The flood map encompasses river basins in over 80 countries globally, offering comprehensive flood forecasting for more than 1,800 locations and serving a population of 460 million.

A prominent example of a mountainous nation is Switzerland, which assumes the responsibility of issuing natural hazard warnings. Since 2008, Switzerland has been actively engaged in the development and implementation of a comprehensive warning system. Furthermore, the country has dedicated significant resources to practical field-work in the early warning sector. A notable instance of this is the early warning system installed on the Devdorak glacier by Swiss companies, namely GEOTEST AG and GEOPREAVENT AG. [Gorgijanidze, S. 2023] Presently, a public natural hazard portal and a collaborative Swiss information platform dedicated to natural hazards have been established. The outcomes of these initiatives are presented in Figure 5, which illustrates the efforts undertaken to establish a more coordinated, integrated, and consistent information and warning service. The platform offers real-time data sourced from various sources, including ground-based sensors, radar, satellites, model outputs, forecasts, text bulletins, and processed warning maps. Additionally, it provides interactive visualization and customization options. [Lienert C. 2025]

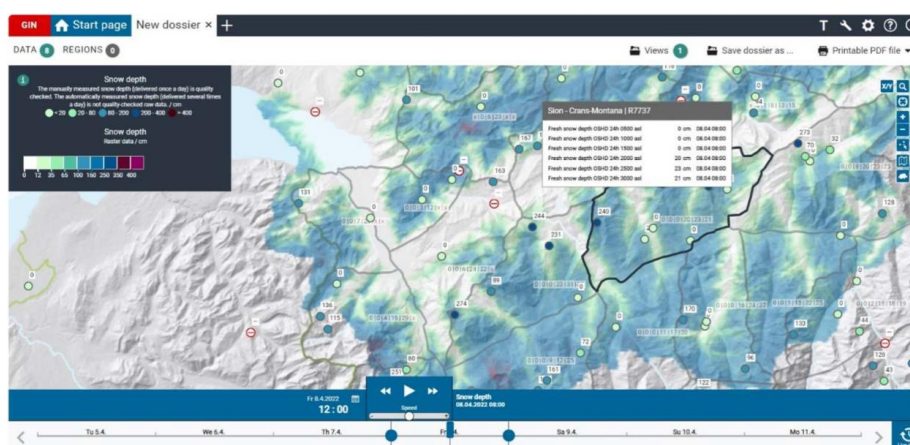


Fig. 5. Interactive Swiss Joint Information Platform Screenshot - The interactive Swiss Joint Information Platform presents a map displaying real-time snow depth for a customizable time interval. Additionally, it forecasts snow depth at various elevations within hydrological catchments. [GIN, 2024].

It is noteworthy that the widespread distribution of mobile phones has significantly enhanced their role in disseminating information during emergencies. Mobile notifications enable instantaneous communication with the intended audience, even when they are not actively utilizing social media or email. The concept of push notifications effectively mitigates delays arising from various circumstances. Cellular broadcast-based messages facilitate the simultaneous transmission to multiple devices. [2021, 2025 Osorno S. , Wilkerson K].

The United Nations document titled “Crisis Communication” [2023] was prepared in 2023 and is specifically designed for the use of member states in emergency management. This document comprehensively addresses other crucial components in the context of crisis communication.

The document provides information on different types of communication that can be used for different purposes in different situations:

- Crisis Communication
- Operational Crisis Communication
- Strategic Crisis Communication
- Crisis Management Team (CMT)
- Crisis Communication Team (CCT)
- Crisis Communication Framework

Effective communication during crisis situations can be conducted in both reactive and proactive modes.

Reactive communication is particularly crucial during the initial hour of ongoing natural disasters or other emergencies. In such situations, the dissemination of information should be recorded within minutes.

Proactive communication, on the other hand, allows for the dissemination of information over extended periods, spanning days, weeks, and even months. During this phase, the primary focus should be on providing general and educational information. This information serves as a foundation for building public awareness and fostering national unity.

In crisis situations, the dissemination of accurate and timely information is paramount for ensuring clear and consistent communication.

The 12 UN Principles for Crisis Management

There are 12 UN principles that are recommended for use when disseminating information in crisis situations:

1. Please provide a prompt response within the first hour.
2. Ensure accuracy by meticulously verifying all facts.
3. Maintain consistency in providing speakers with comprehensive briefings on critical events and salient messages.
4. Prioritize public safety above all else.
5. Utilize all available communication channels, including social media platforms, websites, and mass messaging systems.
6. It is imperative to demonstrate genuine concern and empathy towards the victim.
7. Please ensure that your response encompasses both internal audiences (e.g., staff) and external audiences.
8. Be prepared to manage the stress and trauma experienced by crisis victims and their families, including colleagues.
9. Effective leadership should be readily accessible to key stakeholders and the media, as circumstances warrant. In the face of crises, successful leadership hinges on exceptional communication, meticulous control, unwavering consistency, compelling storytelling, and ensuring that all stakeholders are fully aware of their roles and feel adequately supported.
10. Ensure that you are thoroughly familiar with the story before sharing it, and make certain that everyone is aware of its details.
11. Utilize guidelines to preserve objectivity, ensuring compliance with legal regulations and fostering effective communication.
12. Persevere in your learning and professional development amidst a crisis. [2023, United Nations].

Conclusion. In light of the provided information, it is crucial to recognize that the provision of comprehensive and optimal information within the disaster zone necessitates the expertise of both scientific and practical specialists in managing natural disasters. Furthermore, effective communication with the local population is equally im-

portant. The communication approach should be non-aggressive and strategically designed to guide the dissemination of information about the impending disaster in a manner that minimizes negative consequences.

ლიტერატურა - References-Литература

1. Gorgijanidze S. The brief analysis of geography of mountain river flooding in Georgia /Scientific Reviewed Proceedings of the IHM, GTU. – 2022. – vol.132. – pp14-18.
2. Guiding principles for risk assessment of geological and hydrometeorological hazards and their consideration in the process of spatial planning and environmental assessment. Caucasus Regional Environmental Center (RECC) «MATRA» project.
3. Effective Communication (IS-242.b) - Student Manual - Federal Emergency Management Agency, 2014
4. The Role of Modern Technologies Used in Emergency Communications & Public Safety - Network Innovations, 2024
5. <https://sites.research.google/gr/floodforecasting/>
6. Gorgijanidze, S. M., Jincharadze, G. A., Silagadze, M. M., & Tchintcharauli, I. R. (2023). The Geography of Risks of Breakthrough of Glacial Lakes and Valleys. Journals of Georgian Geophysical Society, 26(2). <https://doi.org/10.60131/ggs.2.2023.7442>
7. Lienert C. Early warning – international collaboration using map-based and user-centered approaches, International Journal of Cartography, 2025. doi: 10.1080/23729333.2025.2479429
8. GIN. (2024). The Swiss joint information platform for natural hazards. Retrieved August 2024, from https://www.info.gin.admin.ch/bafu_gin/en/home.html
9. Osorno S. , Wilkerson K. 2021, 2025 - Five Communication Tools to Prepare for Natural Disasters - ALTER-US,
10. Crisis Communication - CRISIS COMMUNICATION TOOLKIT - United Nations, Office Of Counter-Terrorism 2023

უაკ:111.111

ინფორმაციული კომუნიკაციების მნიშვნელობა ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების მართვისთვის

ს. გორგიჯანიძე, გ. მაკარაშვილი, გ.ჯინჭარაძე, თ. ჩიტაძე, ნ. კობახიძე, გ. გაჩეჩილაძე. სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2025.-ტ.136.-გვ.23-29. - ინგ., რუს. ინგლ., ქართ., რუს.

მსოფლიოში კლიმატური დათბობის ფონზე საგრძნობლად გახშირდა კატასტროფულ მოვლენები. ეს დაკავშირებულია სამეცნიერო-ტექნიკურ პროგრესთან, რაც ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის შედეგია. აგრეთვე, იმ აწყობილი ურთიერთკავშირების დარღვევასთან, რასაც იწვევს ბუნებრივ გარემოში საზოგადოების შეჭრა. სტიქიური მოვლენების უმეტესობა მთიან რეგიონებში ხდება, რაც მნიშვნელოვანს ხდის მთიანი რეგიონების მდგრადი განვითარების ეფექტურობას.

საქართველოს მთიანი რეგიონისათვის ასევე დამახასიათებელია სტიქიური მოვლენების აქტიულობა. ისინი ქვეყნის ბუნებრივ გარემოსა და ეკონომიკაზე ძალზე დიდ გავლენას ახდენენ, ამიტომ მნიშვნელოვანია ბუნებრივი პირობების და მოვლენების შესწავლა და ანალიზი.

სტიქიური მოვლენის დაწყების, ან უკვე მომხდარი პროცესებისას მნიშვნელოვანია გაფრთხილება-ინფორმირება. გაფრთხილება იწყება მაშინ, როდესაც მოსალოდნელი ბუნებრივი კატასტროფის საფრთხეა დაფიქსირებული. ამიტომ ენიჭება განსაკუთრებული მნიშვნელობა ინფორმაციულ კომუნიკაციას სტიქიური მოვლენების მართვის პროცესში. პრევენცია და გართულებების არიდება სწორედ კომუნიკაციასთან და ინფორმაციის ოპერატიულად გავრცელებასთან არის დაკავშირებული. მნიშვნელოვანია, სხვადასხვა კომუნიკაციის არხის გამოყენებით, თითოეულ მოქალაქესთან დროულად მივიდეს ინფორმაცია ამა თუ იმ მოვლენასთან დაკავშირებით, რათა თავიდან იქნას აცილებული მოსალოდნელი უარყოფითი შედეგები.

УДК: 111.111

Значение информационных коммуникаций для управления стихийными бедствиями/ С. Горгиджанидзе, Г. Макарашвили, Г. Джинчарадзе, Т. Читадзе, Н. Кобахидзе, Г. Гачечиладзе. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.23-29. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На фоне глобального потепления в мире значительно участились катастрофические явления. Это связано с научно-техническим прогрессом, который является результатом хозяйственной деятельности человека. Также — с нарушением налаженных взаимосвязей, вызванных вторжением общества в природную среду. Большинство стихийных бедствий происходит в горных регионах, что делает особенно важным обеспечение устойчивого развития этих территорий.

Для горных регионов Грузии также характерна активность стихийных явлений. Они оказывают очень сильное влияние на природную среду и экономику страны, поэтому крайне важно изучение и анализ природных условий и процессов.

Во время начала стихийного бедствия или уже произошедших процессов особенно важно оповещение и информирование. Предупреждение начинается тогда, когда зафиксирована угроза возможной природной катастрофы. Поэтому информационной коммуникации в процессе управления стихийными явлениями придается особое значение. Профилактика и предотвращение осложнений напрямую связаны с коммуникацией и оперативным распространением информации. Важно, чтобы с использованием различных каналов связи информация о том или ином явлении своевременно доходила до каждого гражданина, чтобы предотвратить возможные негативные последствия.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-30-34

უკ. 551.556.5

მდ. იორის ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება

გივი ფიფია, სოფიო გორგიჯანიძე, გურამ გრიგოლია, ზაზა გულაშვილი, თამუნა ჩიტაძე, ნათელა კობახიძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
g.phiphia@gtu.ge

რეზიუმე. ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება მრავალ ფაქტორთანაა დაკავშირებული. ყველა ბუნებრივი პროცესებიდან გამოიყოფა კლიმატურ პირობები. კონკრეტულად ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის შიგაწლიურ განაწილებას. რაც მთავარია გათვალისწინებული უნდა იყოს აუზის სიდიდე და კონფიგურაცია. ასევე ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებაში თავისი როლი შეაქვს ანთროპოგენურ ფაქტორს. ჩამონადენის მნიშვნელობა ეკონომიკაში და სოფლის მეურნეობაში დიდია, განსაკუთრებით აღმოსავლეთ საქართველოსთვის, სადაც მდ. იორი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს. ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილებისთვის ავიღეთ ხარჯების ფაქტიური მონაცემები სადგურ ლელოვანთან (1964-1994 წ.) ხარჯების რყევის გრაფიკზე გამოიკვეთა გაზაფხულის წყალდიდობის დაწყება და პიკის დადგომის დრო. შევიმუშავეთ მეთოდები ხარჯების განსაზღვრისათვის. დაანაგარიშებული იქნა მდ. იორის ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება 1964-1994წ-თვის, აგრეთვე წყალუხვი (1976 წ.), წყალმცირობის (1968წ) პროცენტული შემადგენლობები. ყოველივე ეს მნიშვნელოვანია ქვეყნის წყალმომარაგების მდგრადი განვითარებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: ჩამონადენი, ხარჯი, შიგაწლიური.

შესავალი. აღსანიშნავია, რომ ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება მრავალ ფაქტორთანაა დაკავშირებული. დიდი მნიშვნელობა აქვს კლიმატურ პირობებს. კონკრეტულად ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის შიგაწლიურ განაწილებას, გარდა ამისა აუზის გეოლოგიურ აგებულებას, მცინვარების არსებობას, ჭაობების გავრცელებას. რაც მთავარია გათვალისწინებული უნდა იყოს აუზის სიდიდე და კონფიგურაცია. ყოველივე ჩამოთვლილის გარდა ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებაში თავისი როლი შეაქვს ანთროპოგენურ ფაქტორს, რადგან ადამიანის ჩარევას გარემო პირობებში, როგორიცაა წყალსაცავების აშენება, ჭაობების ამოშრობა, ტყის გაშენება ან გაჩეხვა და სხვა სამეურნეო ღონისძიების განხორციელება აქვს როგორც დადებითი მხარე, ისე უარყოფითი. ზოგჯერ კი არსებითად ცვლის ბუნებრივ გარემოს და ლანდშაფტს.

შესასწავლი არეალი. მდინარე იორი სათავეს იღებს კავკასიის მთავარი ქედის სამხრეთ კალთაზე 2600 მ. სიმაღლეზე იღებს. მისი სიგრძე 320 კმ-ია საშუალო დახრილობა 78,7‰, აუზის ფართობი 4650 კმ². მდ. იორის აუზი წარმოდგენილია შემდეგი ქანებით: მერგელები, კირქვებით, ქვიშიანი თიხის, ალუვიური დანალექი ქანების და სხვა. [მარუაშვილი ლ, 1968]

მდინარის აუზში 2000 მ-ის ზემოთ ალპური მცენარეული საფარია წარმოდგენილი, რომელიც მდინარის დინების მიმართულებით თანდათან გადადის ტყის მრავალწლიან ფოთლოვან ტყეში. მდ. იორს აქტიური სამეურნეო დანიშნულება აქვს, თუმცა მდინარის რესურსების სამეურნეო გამოყენების დაგეგმვისთვის მარტო ჩამონადენის ცოდნა არაა საკმარისი. ამისთვის საჭიროა ვიცოდეთ მათი შიგაწლიური განაწილებაც, რადგან მას დიდი მნიშვნელობა აქვს, როგორც მორწყვისთვის ასევე წყალმომარაგებისთვის, ჰიდროენერგეტიკისთვის და სხვა ქვეყნის ეკონომიკური მდგრადობისათვის.

აღსანიშნავია, რომ ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება მრავალ ფაქტორთანაა დაკავშირებული. დიდი მნიშვნელობა აქვს კლიმატურ პირობებს. კონკრეტულად ნალექებისა და ჰაერის ტემპერატურის შიგაწლიურ განაწილებას, გარდა ამისა აუზის გეოლოგიურ აგებულებას, მცინვარების არსებობას, ჭაობების გავრცელებას. რაც მთავარია გათვალისწინებული უნდა იყოს აუზის სიდიდე და კონფიგურაცია. ყოველივე ჩამოთვლილის გარდა ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებაში თავისი როლი შეაქვს ანთროპოგენურ ფაქტორს, რადგან ადამიანის ჩარევას გარემო პირობებში, როგორიცაა წყალსაცავების აშენება, ჭაობების ამოშრობა, ტყის გაშენება ან გაჩეხვა და სხვა სამეურნეო ღონისძიების განხორციელება აქვს როგორც დადებითი მხარე, ისე უარყოფითი. ზოგჯერ კი არსებითად ცვლის ბუნებრივ გარემოს და ლანდშაფტს.

მეთოდები. მდ. იორს ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილების დასადგენად აღებულია ხარჯების ფაქტიური მონაცემები. მდინარე იორზე სადგურ ლელოვანთან (1964-1994 წ.) ხარჯების რყევის გრაფიკზე მკვეთრად ჩანს გაზაფხულის წყალდიდობის დაწყება და პიკის დადგომის დრო.

გაზაფხულის წვიმის დაწყებიდან იწყება ჩამონადენის მატება. ეს გამოწვეულია თოვლის დნობის ინტენსივობით, ამ დროს ჩამონადენის სიდიდე მაქსიმუმს აღწევს - მაისის თვეში.

ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილების გაანგარიშებისთვის მრავალწლიური დაკვირვების მონაცემების საშუალოები დაიყოფა სეზონების მიხედვით. სეზონები: გაზაფხული: მარტი, აპრილი, მაისი, ივნისი და ივლისი. ზაფხული: აგვისტო, სექტემბერი. შემოდგომა: ოქტომბერი, ნოემბერი. ზამთარი: დეკემბერი, იანვარი და თებერვალი. აქ აუცილებლად უნდა აღვნიშნოთ, რომ გაანგარიშებისათვის გამოყოფილი სეზონები უფრო ხშირად არ ემთხვევა კალენდარულ სეზონებს. გამოყოფილი სეზონებისთვის ვიანგარიშეთ ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება პროცენტებში. (ცხრ. 2).

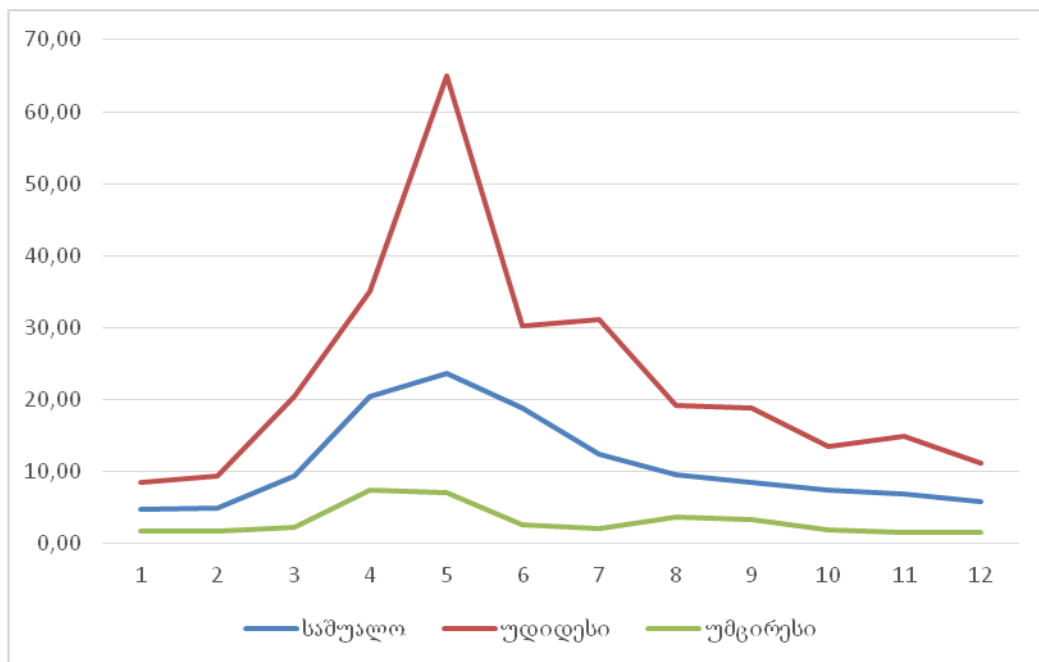
ჩამონადენის შიდაწლიური განაწილების გაანგარიშებას ვაწარმოებთ შემდეგი მიმდევრობით. ჯერ განვსაზღვრავთ წლის საშუალო თვიური ხარჯების ჯამს, რომელსაც ვღებულობთ 100%-ად, შემდეგ თვის საშუალოს ვყოფთ ამ ჯამზე და ვამრავლებთ 100-ზე, რომ მივიღოთ პროცენტული შემადგენლობა. [1974. თ. კიკილაშვილი, Гидрология Расчуты, 1970, Гидрология Суши 1976]

შედეგები. ყველა თვისთვის ამ მეთოდით დავიანგარიშეთ მდ. იორის ჩამონადენის შიგაწლიური განაწილება 1964-1994 წ-თვის, აგრეთვე წყალუხვი (1976 წ), წყალმცირობის (1968წ) პროცენტული შემადგენლობები. ქვემოთ მოცემული ცხლილიდან (ცხრ. 1) ჩანს, რომ 1964-1994 წლებში ჩამონადენი იანვრის თვეში მინიმალურია 3,56 %, შემდეგ პროცენტული წილი თანდათანობით იზრდება და თავის მაქსიმუმს აღწევს მაისის თვეში 17,84 %. ამის შემდეგ იწყება კლება და დეკემბერში 4,34 %. წყალუხვი წლისთვის (1976 წ) მინიმალურია თებერვლის თვის მაჩვენებელი 2,34 %. მაქსიმუმი გვაქვს მაისში 29,27 %, შემდეგ კლებულობს და დეკემბერში 4,91 %-ს შეადგენს. რაც შეეხება წყალმცირობის წელს (1968 წ) სურათი იგივეა იანვარში - 3,36 %, მაისში-15,19 %, დეკემბერში-3,19 %. ფაქტობრივად ზამთრის პერიოდი თანაბარი მაჩვენებლით არის წარმოდგენილი. ცხრილის საფუძველზე შედეგებშია გრაფიკი, სადაც ასევე ნათლად მოჩანს მონაცემთა ცვლილება, საშუალო, უდიდესი და უმცირესი ხარჯებიც. (ნახ. 1)

**ცხრილი № 1. მდ. იორი - სოფ. ლელოვანი F= 494 კმ²; 1964-1994 წწ
საშუალოთვიური წყლის ხარჯი, მ³/წმ 494 (გარემოს ეროვნული სააგენტო)**

წელი/თვე	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	აპრილი- მაისი
1964	3.76	3.93	8.50	13.2	19.8	25.2	13.8	10.7	15.3	10.6	8.26	8.45	11.8
1965	5.71	4.18	11.2	18.8	17.1	21.9	17.7	8.09	6.44	5.42	3.38	3.03	10.2
1966	3.56	3.08	3.32	11.2	20.1	11.1	6.2	4.04	4.53	3.43	2.98	2.31	6.32
1967	1.94	1.85	3.50	14.0	13.1	12.3	10.4	8.29	17.8	10.1	12.5	11.0	9.73
1968	5.58	6.36	20.5	27.0	25.2	23.4	14.4	13.7	8.96	7.91	7.61	5.30	13.8
1969	4.51	4.82	9.62	20.2	25.2	10.7	8.54	7.06	5.73	7.03	5.45	5.56	9.54
1970	3.83	5.96	9.19	13.9	12.6	13.8	7.46	12.4	7.39	9.26	4.98	5.53	8.86
1971	4.64	4.24	8.76	15.8	26.0	23.0	10.7	9.25	9.20	7.09	6.78	7.25	11.1
1972	6.16	6.12	7.71	15.8	18.4	18.5	9.72	6.99	10.3	10.6	8.17	6.14	10.4
1973	5.20	5.72	8.48	23.8	19.2	26.7	31.2	11.2	7.92	7.13	10.2	7.29	13.7
1974	5.60	5.68	14.7	19.6	38.7	19.4	16.0	10.8	15.2	5.25	4.28	3.92	13.3
1975	3.60	3.98	10.5	30.2	24.9	13.7	6.76	4.82	4.86	10.1	7.29	5.67	10.5
1976	5.34	5.20	9.95	31.6	65.0	28.8	16.1	13.0	11.1	13.4	11.7	10.9	18.5
1977	7.83	9.40	14.0	27.2	21.1	30.2	20.3	8.57	7.79	11.0	5.46	4.94	14.0
1978	4.10	5.65	19.6	35.1	45.1	27.4	15.7	14.5	7.92	6.98	6.35	5.66	16.2

1979	6.17	6.72	7.81	15.3	14.4	20.0	14.3	9.39	6.33	5.71	7.12	5.05	9.86
1980	4.49	4.56	9.22	29.4	25.7	14.6	4.57	4.16	3.27	4.37	3.65	3.32	9.28
1981	3.01	3.00	4.69	7.34	20.5	18.7	15.4	11.6	5.67	4.80	4.22	3.41	8.53
1982	3.09	2.97	3.80	11.7	21.3	19.8	18.2	16.0	9.15	6.06	5.53	3.98	10.1
1983	3.72	3.75	5.50	11.0	15.1	18.0	9.30	9.31	18.8	11.1	13.9	11.1	10.9
1984	7.99	5.39	14.9	34.5	35.3		19.5	19.10	10.3	5.63	4.75	3.28	
1985	3.25	3.85	9.58	21.5	21.2	13.3	11.0	9.21	10.1	8.02	8.12	6.59	10.5
1986	3.22	3.32	7.80	17.4	19.8	16.8	9.63	6.26	4.78	4.54	6.42	4.13	8.68
1987	4.45	6.04	9.41	33.6	52.0	29.3	11.2	3.70	4.94	5.16	7.47	5.81	14.4
1988	5.45	5.30	11.3	34.2	27.1	21.3	12.0	10.2	7.82	11.2	14.9	10.7	14.3
1989	8.50	7.21	11.1	13.8	9.72	11.0	6.95	6.87	6.40	8.33	7.90	6.45	8.69
1990	4.40	4.32	10.2	22.4	21.7	14.7	10.5	10.4	9.99	6.64	9.69	7.90	11.1
1991	5.38	5.36	12.5	21.6	20.5	19.9	9.55	5.48	4.91	5.65	6.48	4.63	10.2
1992	4.50	4.70	6.82	17.8	19.7	24.6	13.8	12.5	10.8	9.81	5.48	5.50	11.3
1993	5.26	5.67	6.94	12.8	7.95	14.4	11.4	7.92	5.73	3.63	2.09	1.60	7.12
1994	1.76	1.68	2.19	13.1	7.03	2.54	2.02	8.12	3.67	1.85	1.57	1.50	3.92
საშუალო	4.71	4.84	9.46	20.5	23.6	18.8	12.4	9.47	8.49	7.35	6.93	5.74	10.9
უდიდესი	8.50	9.40	20.5	35.1	65.0	30.2	31.2	19.1	18.8	13.4	14.9	11.10	18.5
უმცირესი	1.76	1.68	2.19	7.34	7.03	2.54	2.02	3.70	3.27	1.85	1.57	1.50	3.92



ნახ. 1. მდ. იორი - სოფ. ლელოვანი წყლის ხარჯი, საშუალო, უდიდესი და უმცირესი პიკებით.
1964-1994 წწ

მდინარე იორის ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებას სეზონების მიხედვით შემდეგი სახე აქვს, რომელიც მოცემული ასახულია ცხრილ 2-ში. 1964-1994 წლების საშუალო მონაცემებით გაზაფხულის პერიოდში მოდის მთელი ჩამონადენის 64,07 %, რაც საშუალო მონაცემებს 6-ჯერ აღემატება და მთელი ჩამონადენის თითქმის 2/3-ია. რაც შეეხება წყალუხვ წელს (1976 წ) აქ ზაფხულის პერიოდზე მოდის 68,20 % და წყალმცირობის წელს (1968 წ) 66,6 %. [2000. ზ. მესხია, 1995 ვ. ცომაია, 2000. ვ. ცომაია, Справочник по водным ресурсам. 1935]

ცხრილი 2. მდ. იორის ჩამონადენის განაწილება სეზონების მიხედვით (წლიური ჩამონადენის %-ში)

წლები/სეზონები	გაზაფხული III-VII	ზაფხული VIII-IX	შემოდგომა X-XI	ზამთარი XII-II	წლიური დმ/წმ	საშ. ხარჯები
1	2	3	4	5	6	7
1964-1994 წლების საშუალო	64.07	13.58	10.80	11.55	100	10.9
წყალუხვობის 1976	68.20	10.85	11.30	9.65	100	18.5
წყალმცირობის 1968	66.60	13.66	9.36	10.38	100	3.92

დასკვნა. ყოველივე აქედან გამომდინარე უნდა ავლნიშნოთ, რომ ჩამონადენის შიგაწლიურ განაწილებას ძირითადი მნიშვნელობა აქვს წყლის რესურსების გამოყენების დაგეგმვისთვის. მითუმეტეს როდესაც გვაქვს სიონის წყალსაცავი, სადაც შეიძლება ზაფხულის პერიოდში უხვი ჩამონადენის დაგროვება და შემდეგ გეგმაზომიერად მისი გამოყენება წყალმცირობის პერიოდში, როგორც ენერგეტიკის თვალსაზრისით ასევე თბილისის წყალსაცავისთვის (თბილისის ზღვა) მუდმივი დონის შესანარჩუნებლად განსაკუთრებით მორწყვის პერიოდში. ეს კი თანამედროვე ეკონომიკური დონის ინდიკატორში ერთერთი უმთავრესი პროცესია, რელიეფის მდგრადობას კიდევ უფრო აამაღლებს და განავითარებს. წყალმომარაგების სისტემები ქვეყნისთვის კი აუცილებელი წინაპირობაა ჰიდროლოგიური პროცესების სწორედ მართვისთვის.

ლიტერატურა - References-Литература

1. Maruashvili L. Physical Geography of Georgia. Vol. I., TSU Publishing House. Tbilisi, 1968., pp. 16-168.
2. Kikilashili T., Kochiashvili D. Practicum of Land Hydrology. Tbilisi University Publishing House. Tbilisi 1974. pp. 177- 185.
3. Meskhia Z. Problems of constructing a theoretical curve for ensuring the maximum flow of river water. "Science and Technology". №7-9. 2000. pp. 95-99.
4. Tsomaia V. Compilation of an updated catalog of water bodies of Georgia and a scientific and applied hydrological reference book taking into account the variability of climatic and anthropogenic factors (reservoirs). Sak. Mech. Acad. Scientific Fund of the Institute of Hydrometeorology. Tbilisi, 1995. 64.
5. Tsomaia V. On the issues of determining the maximum flow rates of flood waters in the transit areas of rivers (methodological reference), Information letter of the Main Directorate of Hydrometeorology and Environmental Monitoring of Georgia. #2/133, Tbilisi, 1993. 32-42. Geography of Georgia. Georgian Academy of Sciences. V. Bagrationi Institute of Geography. Vol. I., Publ. "Science", Tbilisi, 2000., pp. 38-68.
6. Hydrology Estimates. Hydrometeorology Publishing House. L., 1970., p. 206 – 227.
7. Hydrology of the Land. Hydrometeorology Publishing House. L., 1976., p. 356-375
8. Handbook of water resources. SSSR., т. 11., Gos. Hydrological Institute. L., 1935., c. 418-419.

UDC: 551.556.5

Intraannual distribution of the Iori River runoff. G. Pipia, S. Gorgijanidze, G. Grigolia, Z. Gulashvili, T. Chitadze. Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.30-34. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The annual distribution of runoff is related to many factors. Climatic conditions are distinguished from all natural processes. Specifically, the annual distribution of precipitation and air temperature. Most importantly, the size and configuration of the basin should be taken into account. The anthropogenic factor also plays a role in the annual distribution of runoff. The importance of runoff in the economy and agriculture is great, especially for eastern Georgia, where the Iori River plays an important role. For the annual distribution of runoff, we took actual data on the costs at the Lelovani station (1964-1994). The time of the beginning of the spring flood and the peak of the period

were outlined on the cost fluctuation graph. We developed methods for determining costs. The annual distribution of the Iori River runoff for 1964-1994 was recorded, as well as the percentages of water abundance (1976) and water scarcity (1968). All this is important for the sustainable development of the country's water supply.

УДК: 551.556.5

Внутригодовое распределение стока реки Иори. Г. Пипия, С. Горгиджанидзе, Г. Григолия, З. Гулашвили, Т. Читадзе/Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.30-34. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Годовое распределение стока связано со многими факторами. Климатические условия отличаются от всех природных процессов. В частности, годовое распределение осадков и температуры воздуха. Самое главное, что следует учитывать, — это размер и конфигурация бассейна. Антропогенные факторы также играют роль в годовом распределении стока. Значение стока в экономике и сельском хозяйстве велико, особенно для Восточной Грузии, где протекает р. Иори играет важную роль. Для внутригодового распределения стока были взяты фактические данные по стоку со станции Леловани (1964-1994 гг.). График колебаний стока показывает начало весеннего половодья и время его пика. Нами разработаны методы определения затрат. Было зафиксировано годовое распределение стока реки Иори за 1964–1994 годы, а также процентное соотношение водности (1976 год) и водности (1968 год). Все это важно для устойчивого развития водоснабжения страны.

კალაპოტურ დეფორმაციებზე ანტროპოგენური ზემოქმედების ზოგიერთი ასპექტი

ტრაპაიძე ვ^{1,2}, ბრეგვაძე გ¹, ცინცაძე ნ^{1,2}, ალავერდაშვილი მ^{1,2}, ხუფენია ნ^{1,2}, კოკაია ნ¹, კიკნაძე დ¹.

¹ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

ელ.ფოსტა: v.trapaidze@yahoo.com

რეზიუმე. საქართველოში უკანასკნელ ათწლეულში იმატა სხვადასხვა სახის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობამ და ქალაქების ურბანულმა განვითარებამ. მიმდინარე ტენდენციები გვაჩვენებს, რომ უახლოეს პერიოდში ეს პროცესი კიდევ უფრო გაგრძელდება. სწორედ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა და ექსპლუატაცია იწვევს მდინარის წყლის ნაკადის და მყარი ნატანის ცვლილებას და შესაბამისად კალაპოტურ პროცესებზე გავლენას. ეს შეიძლება იყოს მცირე ზომის სათავე ნაგებობები, რომლებიც ძირითადად დერივაციული ტიპის ჰესებზე გვხვდება, წყალსაცავიანი ტიპის ნაგებობები, ნაპირდამცავი ნაგებობები, ასევე, კალაპოტების გასწორება-ზოვანება, გაღრმავებითი სამუშაოები, დრენაჟი, სახიდე გადასასვლელების მშენებლობა და სხვა. საქართველო მთიანი ქვეყანაა, სადაც კალაპოტური პროცესები კიდევ უფრო თავისებურებით გამოირჩევა. წყალსამეურნეო ღონისძიებების გატარება აუცილებელია, მის გარეშე წარმოუდგენელია ქვეყნის განვითარება, ამიტომ დღის წესრიგში დგება კალაპოტური პროცესების დეტალური შესწავლა, რომელიც ითვალისწინებს: მდინარის კალაპოტის პროცესების ბუნებრივი და ანტროპოგენური ფაქტორების იდენტიფიცირებას, ცვალებადობის განვითარების ეტაპების განსაზღვრას, ზღვრული მნიშვნელობების დასაბუთებას, მდინარის არხების შეუქცევადი გარდაქმნების განსაზღვრას, მისი სტაბილიზაციის საკითხებს და სხვა.

საკვანძო სიტყვები: კალაპოტი, დეფორმაცია, მყარი ნატანი

ქვეყნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარება და მასთან დაკავშირებული საკითხები გავლენას ახდენენ ბუნების კომპონენტებზე, მათ შორის მდინარეთა ნაპირებზე და კალაპოტურ პროცესებზე. თავისი ცვლილების მასშტაბებით იგი შეიძლება იყოს როგორც ბუნებრივი, ასევე ანტროპოგენური. ჩამონადენის წყვეტა დაკავშირებულია მდინარის კვების ბუნებრივი პირობების ცვლილებებთან: მათი მკვეთრი თხევად და მყარ ჩამონადენს შორის კავშირის და კალაპოტის წყლის ნაკადისა და კალაპოტის ზომის შორის ურთიერთობის დარღვევასთან.

საქართველოში უკანასკნელ ათწლეულში იმატა სხვადასხვა სახის ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობამ და ქალაქების ურბანულმა განვითარებამ. მიმდინარე ტენდენციები გვაჩვენებს, რომ უახლოეს პერიოდში ეს პროცესი კიდევ უფრო გაგრძელდება.

სწორედ ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა და ექსპლუატაცია იწვევს მდინარის წყლის ნაკადის, შესაბამისად მყარი ნატანის ცვლილებას და კალაპოტურ პროცესებზე გავლენას. ამავე დროს ჰიდროტექნიკური ნაგებობების ფორმებს და კონსტრუქციების სახეებს, დიდი მნიშვნელობა აქვს გავლენის მასშტაბებზე.

კალაპოტის ფორმირების მექანიზმი წარმოადგენს წყალშემკრებიდან შემოტანილი ნატანი მასალის ტრანსპორტირების, კალაპოტის რეცხვის, ნატანის აკუმულაციის, ხეობისა და მდინარის ნაპირების ამგები ქანების ურთიერთქმედების პროცესს. ამავე დროს, კალაპოტური პროცესების მამოძრავებელ ძალას წარმოადგენს წყლის მოძრაობა, რომლის ხასიათიც განისაზღვრება ჰიდროლოგიური რეჟიმით, ანუ წყლის ჩამონადენის დროში ცვალებადობით. მდინარის კალაპოტის ჩამოყალიბებაზე ფიზიკურ-გეოგრაფიული და გეოლოგიური პირობების ცვალებადობის გავლენა, განსაზღვრავს მდინარეებში მყარი ნატანი მასალის წარმოქმნაში, ეროზიისა და დენუდაციის სხვადასხვა ტიპების მონაწილეობის შედარებით წილს.

მდინარის კალაპოტის ფორმირებაში თავისი წვლილის მიხედვით განასხვავებენ კალაპოტის მაფორმირებელ და ტრანზიტულ (არამაფორმირებელ) ნატანს. პირველი მოიცავს შედარებით მსხვილ ნაწილაკებს, რომლებიც გადაადგილდებიან, ილექებიან, წაირეცებიან და მუდმივად მონაწილეობენ კალაპოტის ფორმირების პროცესში. არამაფორმირებელი ნატანი კი შედგება წვრილი ნაწილაკებისაგან, რომლებიც დიდ მანძილზე გადაიტანებიან და ნაკლებად მონაწილეობენ კალაპოტის ფორმირებაში.

მდინარეთა წყლიანობის რეჟიმის და ნატანის ტრანსპორტისუნარიანობის ცვლილებას ანტროპოგენური სიტუაციებიდან, ძირითადად იწვევს ჰიდროტექნიკური ნაგებობები. ისინი ქმნიან ხელოვნურ ბარიერს და

ხდება ნატანის დაგროვება ზედა ბიეფში. შედეგად ხდება ზედა ბიეფის კალაპოტის დონის აწევა, ხოლო ქვედა ბიეფი განიცდის მყარი ნატანის დეფიციტს. გავლენის მასშტაბების მიხედვით, ის შეიძლება რამდენიმე საკითხადაც დაიყოს.

მცირე ზომის სათავე ნაგებობები, რომლებიც ძირითადად დერივაციული ტიპის ჰესებზე გვხვდება - ასეთ შემთხვევაში სათავე ნაგებობებზე ხშირად ეწყობა დასაშლელი ტიპის კაშხალი, რომელიც იძლევა დაგროვილი ნატანისაგან ნაგებობის სრულად და ეფექტურად გარეცხვის შესაძლებლობას.

წყალსაცავიანი ტიპის ნაგებობები, რომელთა უმრავლესობის ექსპლუატაცია პრაქტიკულად გამორიცხავს მყარი ნატანის ქვედა ბიეფში ტრანსპორტირების შესაძლებლობას, რაც გარკვეული დროის შემდეგ უარყოფითად აისახება ხეობის ქვედა მონაკვეთზე.

ნაპირდამცავი ნაგებობები - ამ შემთხვევაში მცირედით შეიძლება მოხდეს კალაპოტის შევიწროვება, მაგრამ იგი გავლენას ვერ მოახდენს მყარი და თხევადი ნაკადის ტრანსპორტირებაზე.

კალაპოტების გასწორხაზოვნება, გაღრმავებითი სამუშაოები, ნაკადმიმმართველი დეზები, დრენაჟი, სახიდე გადასასვლელების მშენებლობა და სხვა, გავლენას ახდენენ კალაპოტებში წყლისა და ნატანის ტრანსპორტირებაზე, იცვლება გრძივი და განივი პროფილები, წარმოიქმნება თავისებური დეფორმაციები, რისი განმაპირობებელიცაა სიჩქარეების ცვლილებები, რაც იწვევს დინებასა და კალაპოტს შორის ბუნებრივი დინამიური წონასწორობის დარღვევას.

წყლის ნაკადების ღია და დახურულ არხებში მოქცევა, უმეტესად განპირობებულია ქალაქების განვითარებასთან, ახალი ტერიტორიების ათვისებასთან და შესაბამისად მყარი მასალის, მკვებავი მასალის შეზღუდვასთან. თანამედროვე ურბანული განვითარება ძალიან მაღალი ტემპით მიდის და ამავდროულად, ხდება როგორც თავად მდინარის კალაპოტების ტრანსფორმაცია, ასევე რეგულირება, რაც იწვევს არსებით ცვლილებებს წყლის ნაკადის პროცესებში (ნაკადის ქანობი, სიჩქარე, მიმართულება და სხვა).

ხშირია შემთხვევები, როცა მდინარეთა სიგრძეზე რამდენიმე ჰიდროტექნიკური ნაგებობის მშენებლობა ხდება და ნაგებობის ტიპიდან გამომდინარე, მეტ-ნაკლებად იცვლება კალაპოტური პროცესები.

ბოლო დროს აქტუალური გახდა კასკადური რეგულირება, სადაც კალაპოტური ტიპის წყალსაცავების შემთხვევაში, საჭირო ხდება წყალსაცავის გარეცხვები ან სპეციალური ტექნიკის გამოყენება. უნდა აღინიშნოს, რომ ამ შემთხვევაში მაქსიმალური შედეგის მიღწევა რთულია, რადგან მსხვილ მარცვლოვანი ნატანი შეიძლება დარჩეს წყალსაცავში.

ბუნებრივი პირობებიდან შეიძლება აღვნიშნოთ კლიმატური ცვლილებები, რაც ითვალისწინებს ეროზიული პროცესების გააქტიურებას, რამაც განაპირობა ის ფაქტი, რომ მოიმატა მყარი მასალის რაოდენობამ, ასევე თავსხმა წვიმების გახშირებამ, რომელმაც შეამცირა წვიმის ნაკადის გარბენის დრო ბუნებრივ სადინარამდე.

ზემოთ აღწერილ, უმრავლეს შემთხვევებში ადგილი აქვს გასწვრივი პროფილის დეფორმაციებს, რადგან დახრილობა დამოკიდებულია სამ ფაქტორზე: წყლის საშუალო მრავალწლიურ ხარჯზე, მასში ნატანის შემცველობაზე და ფსკერული ნატანის სიმსხოზე.

საქართველოში უხვად არის მთის მდინარეები, სადაც კალაპოტური პროცესები კიდევ უფრო თავისებურებებით გამოირჩევა ვიდრე ბარის მდინარეებზე.

მყარი მასალა მდინარეში ხვდება არა მარტო წყალსადინარებიდან, არამედ უშუალოდ ხეობაში მიმდინარე გრავიტაციული მოვლენების შედეგადაც. მთის მდინარეებს მყარი მასალის ტრანსპორტირება შეუძლიათ, ძირითადად წყალუხვობის დროს. მთის მდინარეებს ან საერთოდ არა აქვთ ჭალა, ან არა აქვთ განვითარებული ჭალა, მყარი მასალა შედგება ლოდნარისაგან და მსხვილი ფრაქციებისაგან, მაღალია ქანობები, ფრუდის რიცხვის სიდიდე და სხვა.

ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მშენებლობა და წყალსამეურნეო ღონისძიებების გატარება აუცილებელია, მის გარეშე წარმოუდგენელია ქვეყნის განვითარება. ბუნებრივია, მათ მშენებლობას გარკვეული ზემოქმედება აქვს მდინარეთა კალაპოტებზე, მაგრამ საჭიროა შემარბილებელი ღონისძიებები, რაც მინიმუმადე დაიყვანს უარყოფითი ზემოქმედების რისკს.

მიუხედავად იმისა, რომ აქტიური ჰიდროტექნიკური ნაგებობის ნაწილის მუშაობა და წყალსამეურნეო ღონისძიებები მეტ-ნაკლებად უარყოფითად აისახება მათი ზემოქმედების ქვეშ მდებარე ნაკადზე, უმრავლეს შემთხვევაში, ეფექტური შემარბილებელი ღონისძიებების გატარებით, კალაპოტების დეფორმაციების განვითარების რისკი იქნება მინიმუმისა. ეს თვით ოპერატორი კომპანიის ინტერესებშიცაა, რადგან არაპროგნოზირებადი და მაღალი ინტენსივობის კალაპოტური პროცესები გააუარესებს საოპერაციო პარამეტრებს.

აღსანიშნავია, რომ წყლის ნაკადისა და ნატანის ურთიერთზემოქმედების პროცესი რთული და ძნელად საკვლევეა, ყველა კონკრეტულ შემთხვევაში მიდგომა უნდა იყოს ინდივიდუალური, რადგან იგი დამოკიდებულია სიჩქარეებზე, ტურბულენტობის ინტენსივობაზე, ნატანის ნაწილაკებს შორის შეჭიდულობაზე და სხვა. არ არსებობს ისეთი უნიფიცირებული ფორმულა, რომელიც სრულად ასახავს ამ ფაქტორების ერთობლიობას, ამიტომ ლიტერატურაში მრავლად არის ისეთი გამოსახულებები, რომლებიც განსაზღვრავენ კალაპოტის მახასიათებლებს სხვადასხვა ტიპის ნაგებობების მშენებლობის დროს.

დღის წესრიგში დგება კალაპოტური პროცესების დეტალური შესწავლა, რომელიც ითვალისწინებს: მდინარის კალაპოტის პროცესების ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების იდენტიფიცირებას, ცვალებადობის განვითარების ეტაპების განსაზღვრას, ზღვრული მნიშვნელობების დასაბუთებას, მდინარის არხების შეუქცევადი გარდაქმნების განსაზღვრას, მისი სტაბილიზაციის საკითხებს და სხვა.

ლიტერატურა - References-Литература

1. კერესელიძე დ., ტრაპაიძე ვ., ბრეგვაძე გ. ზოგადი ჰიდროლოგია. თსუ გამომცემლობა, 2011
2. ტრაპაიძე ვ., ბრეგვაძე გ., ცინცაძე ნ., ალავერდაშვილი მ., გრიგოლია გ., გაჩეჩილაძე გ. სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2023, ტ.133, გვ. 31-33.

UDC:556

Some aspects of anthropogenic impact on river channel deformations/Trapaidze V., Bregvadze G., Tsintsadze N., Alaverdashvili M., Khufenia N., Kokaia N., Kiknadze D./ Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.35-37. - Georg., Summ. Georg., Eng..

In Georgia, the construction of various types of hydraulic structures and urban development of cities has intensified over the last decade. Current trends indicate that this process will continue in the near future. It is the construction and operation of hydraulic structures that cause changes in the flow of river water and solid sediment and, consequently, impact on channel processes. These may be small headworks, which are encountered mainly at derivation-type hydroelectric power plants, structures with reservoirs, bank protection structures, as well as bed-rectification, dredging and drainage works, construction of bridges, etc.

Georgia is a mountainous country with even more peculiar channel processes. Water management measures are necessary, without which the development of the country is unthinkable. Therefore, a detailed study of channel processes is on the agenda, which includes: identification of natural and anthropogenic factors of channel processes, determination of stages of variability development, justification of threshold values, determination of irreversible transformations of river channels, issues of their stabilization and many others.

УДК:556

Некоторые аспекты антропогенного воздействия на русловые деформации/ Трапайдзе В., Брегвадзе Г., Цинцадзе Н., Алавердашвили М., Хупения Н., Кокая Н., Кикнадзе Д. / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. - том 136. - с. 35-37. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В Грузии за последнее десятилетие увеличилось строительство различных гидротехнических сооружений и урбанистическое развитие городов. Нынешние тенденции позволяют предполагать, что этот процесс продолжится и в ближайшем будущем. Именно строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений вызывает изменение водного потока рек и твердого стока, следовательно, оказывает влияние на русловые процессы. Это могут быть небольшие водозаборные сооружения, в основном характерные для деривационных ГЭС, сооружения с водохранилищами, берегоукрепительные конструкции, а также выпрямление русел, углубительные работы, дренаж, строительство мостовых переходов и другое. Грузия — горная страна, где русловые процессы отличаются особыми чертами. Проведение водохозяйственных мероприятий необходимо. Без них невозможно развитие страны, поэтому актуальной становится задача детального изучения русловых процессов, что включает в себя: идентификацию естественных и антропогенных факторов русловых процессов, определение этапов развития и их изменений, обоснование предельных значений, определение необратимых изменений русел рек, вопросы их стабилизации и другие аспекты.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-38-45

უკ 551.583

ქვემო ქართლის რეგიონში ტემპერატურის და ნალექების სივრცე-დროითი განაწილების კლიმატური კანონზომიერებანი

ელიზბარ ელიზბარაშვილი, მიხეილ ფიფია, შალვა ელიზბარაშვილი, ნაზიბროლა ბეგლარაშვილი, ციციშვილი
დიასამიძე, რევაზ სამუკაშვილი, ნანა ჭელიძე, ნინო შავიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი, საქართველო eelizbar@hotmail.com,

რეზიუმე. გამოკვლეულია ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე ტემპერატურის და ნალექების სივრცე-დროითი განაწილების კლიმატური კანონზომიერებანი. შეფასებულია ტემპერატურის და ნალექების სიმაღლით ცვლილების გრადიენტები, დადგენილია ტემპერატურის ზრდასთან ერთად ნალექთა ჯამების კლების ტენდენცია. ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე ტემპერატურის განაწილებას კონტრასტული ხასიათი აქვს. ყველაზე ცივი თვე იანვარია, ყველაზე თბილი თვეები ივლისი-აგვისტოა. ყველაზე მაღალი ტემპერატურები ბოლნისსა და გარდაბანში ფიქსირდება, ხოლო ყველაზე დაბალი ტემპერატურა-წალკაში, ამრიგად ტემპერატურის ცვლილების მთავარი ფაქტორი რეგიონში ადგილის სიმაღლეა.

რეგიონი საერთოდ არ ხასიათდება ბევრი ნალექით. წლის განმავლობაში უდიდესი ნალექი მთიან ზონაში მოდის (თეთრიწყარი, წალკა, მანგლისი), სადაც ნალექების ჯამი აღემატება 700 მმ-ს, უმცირესი ნალექი კი დაბლობში მოდის (გარდაბანი, მარნეული, ბოლნისი), სადაც ნალექების ჯამი დაახლოებით 400-500 მმ-ია. წლიურ სვლაში მათი მაქსიმუმი გაზაფხულზე, ან ზაფხულში აღინიშნება, ხოლო უმცირესი ნალექი უმთავრესად ზამთარში მოდის.

საკვანძო სიტყვები. გრადიენტი, კლიმატური კანონზომიერება, ნალექები, ტემპერატურა

შესავალი. ქვემო ქართლის რეგიონი საქართველოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში, თბილისის სამხრეთით მდებარეობს. რეგიონს დასავლეთით ესაზღვრება სამცხე-ჯავახეთი, ჩრდილოეთით - შიდა ქართლი და მცხეთა-მთიანეთი, აღმოსავლეთით - კახეთი, სამხრეთ-აღმოსავლეთით - აზერბაიჯანის რესპუბლიკა, ხოლო სამხრეთით - სომხეთის რესპუბლიკა.

ქვემო ქართლის რეგიონში მოქმედებს 7 თვითმმართველი ერთეული: თვითმმართველი ქალაქი რუსთავი და ბოლნისის, გარდაბნის, დმანისის, თეთრიწყაროს, მარნეულისა და წალკის მუნიციპალიტეტები. მხარის ადმინისტრაციული ცენტრია ქალაქი რუსთავი.

ქვემო ქართლი განლაგებულია მცირე კავკასიონის ნაოჭა სისტემაზე, ამიერკავკასიის ნაოჭა ზეგანსა და აღმოსავლეთ ამიერკავკასიის მთათაშორის დეპრესიაზე. უმაღლესი წერტილია წითელი ხიდის მიდამო, მდინარე ქციას შესართავთან (265 მ ზ.დ.), ხოლო უმაღლესი - მწვერვალი სამსარი (3285 მ) [1,2].

ქვემო ქართლის რეგიონი უშუალოდ აკრავს დედაქალაქს და დიდ როლს ასრულებს მის მომარაგებაში სასოფლო-სამეურნეო პროდუქტებით. სოფლის მეურნეობის რაციონალურად წარმართვისათვის კი მნიშვნელოვანია ვიცოდეთ რეგიონში ძირითადი კლიმატური ელემენტების (ტემპერატურის და ნალექების) ტერიტორიული განაწილების კანონზომიერებანი. ჰაერის ტემპერატურა და ატმოსფერული ნალექები კლიმატის ისეთი მნიშვნელოვანი ელემენტებია, რომლებიც განსაზღვრავს ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის ძირითად მიმართულებებს.

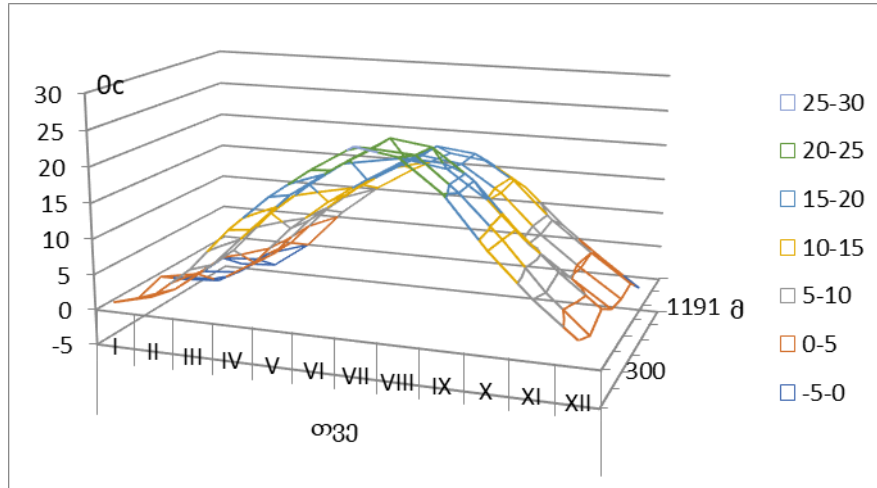
მასალები და მეთოდები. კვლევაში საწყის მასალად გამოყენებულია რეგიონის ტერიტორიაზე განლაგებული 8 მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებათა მონაცემები მონაცემთა ბაზებიდან [3-7]. გამოკვლევას საფუძვლად დაედო მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდები, კერძოდ ჰისტოგრამების აგება, გრაფიკული რეგრესია და კორელაციური ანალიზი. შედეგების საიმედოობა ფასდებოდა დეტერმინაციის კოეფიციენტის საშუალებით.

შედეგების განხილვა

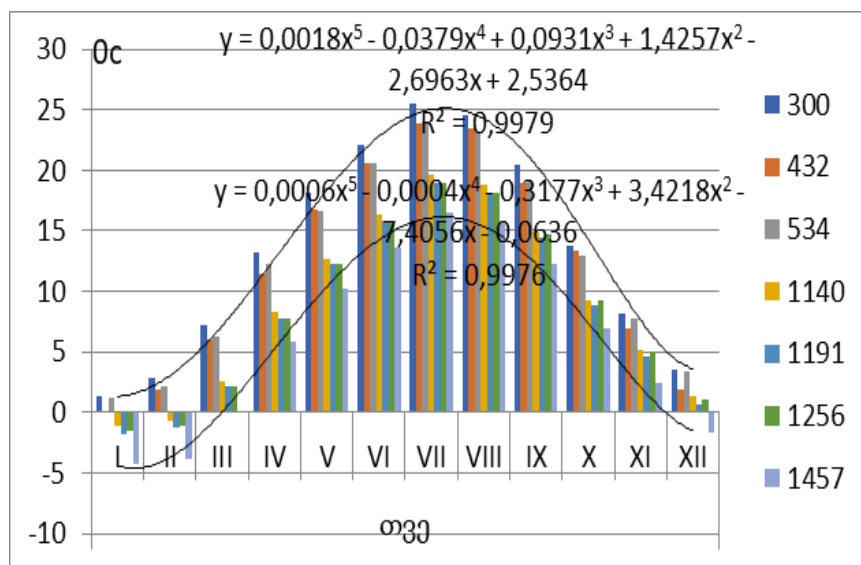
ჰაერის ტემპერატურა. ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე, მისი ფიზიკურ-გეოგრაფიული მრავალფეროვნების და სიმაღლეთა სხვაობის დიდი დიაპაზონის გამო, ტემპერატურის განაწილებას კონტრასტული ხასიათი აქვს, ყველაზე ცივი თვე იანვარია, ყველაზე თბილი თვეები ივლისი-აგვისტოა. ცხრილიდან ჩანს აგრეთვე, რომ ყველაზე მაღალი ტემპერატურები ბოლნისსა და გარდაბანში ფიქსირდება,

ხოლო ყველაზე დაბალი ტემპერატურა - წალკაში, ამრიგად ტემპერატურის ცვლილების მთავარი ფაქტორი რეგიონში ადგილის სიმაღლეა. სიმაღლის გაზრდასთან ერთად ტემპერატურა ეცემა.

სიმაღლის მიხედვით ტემპერატურის ცვლილების დეტალები კარგად ჩანს ნახ.1-ზე და ნახ.2-ზე წარმოდგენილი დიაგრამებიდან. ორივე ნახაზს ერთი შინაარსი გააჩნია, ისინი გვიჩვენებს ტემპერატურის წლიური სვლის ცვლილებას სიმაღლის მიხედვით. ამავე დროს, მათი გამოსახვის ფორმა სხვადასხვაა. პირველი მათგანი წარმოადგენს ტემპერატურის ცვლილების უწყვეტ ველს, ხოლო მეორე გვიჩვენებს ტემპერატურის წლიური სვლის ხასიათს დისკრეტულ წერტილებში, გამოსახულს ჰისტოგრამების საშუალებით.



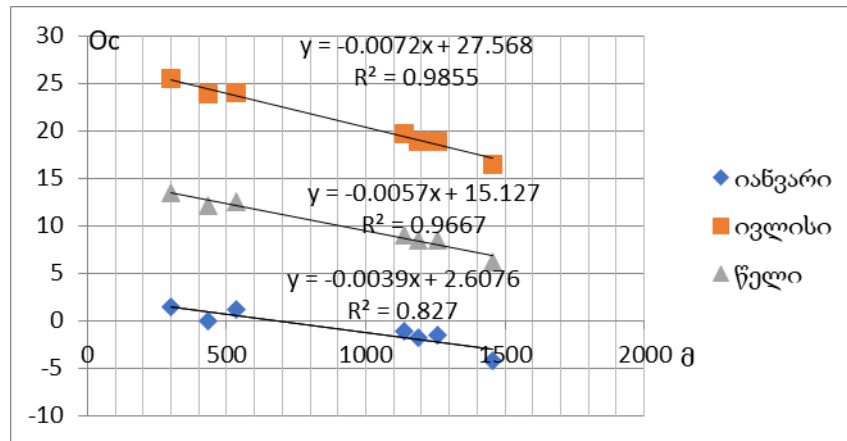
ნახ.1. ტემპერატურის წლიური სვლის სიმაღლის მიხედვით ცვლილების ველი



ნახ.2. ტემპერატურის წლიური სვლის ცვლილება სხვადასხვა სიმაღლეზე დისკრეტულ წერტილებში, უდიდესი და უმცირესი თვიური ტემპერატურების წლიური სვლის შესაბამისი მე-5 რიგის პოლინომები (R^2 - დეტერმინაციის კოეფიციენტი)

ნახ.2-ზე წარმოდგენილია აგრეთვე უდიდესი და უმცირესი თვიური ტემპერატურების წლიური სვლის მრუდები და შესაბამისი მე-5 რიგის აღმწერი პოლინომები. დეტერმინაციის კოეფიციენტი ორივე მრუდისათვის საკმაოდ მაღალია, რაც მიუთითებს პოლინომების მაღალ სანდოობაზე. ზამთრის თვეებში მრუდებს შორის მანძილი კლებულობს, ანუ მცირდება ტემპერატურის სივრცეში ცვლილების დიაპაზონი, ხოლო ზაფხულში სხვაობა იზრდება, ანუ იზრდება ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონი.

საშუალო წლიური და თვიური ტემპერატურების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით კარგად აღიწერება წრფივი ფუნქციით (ნახ.3).



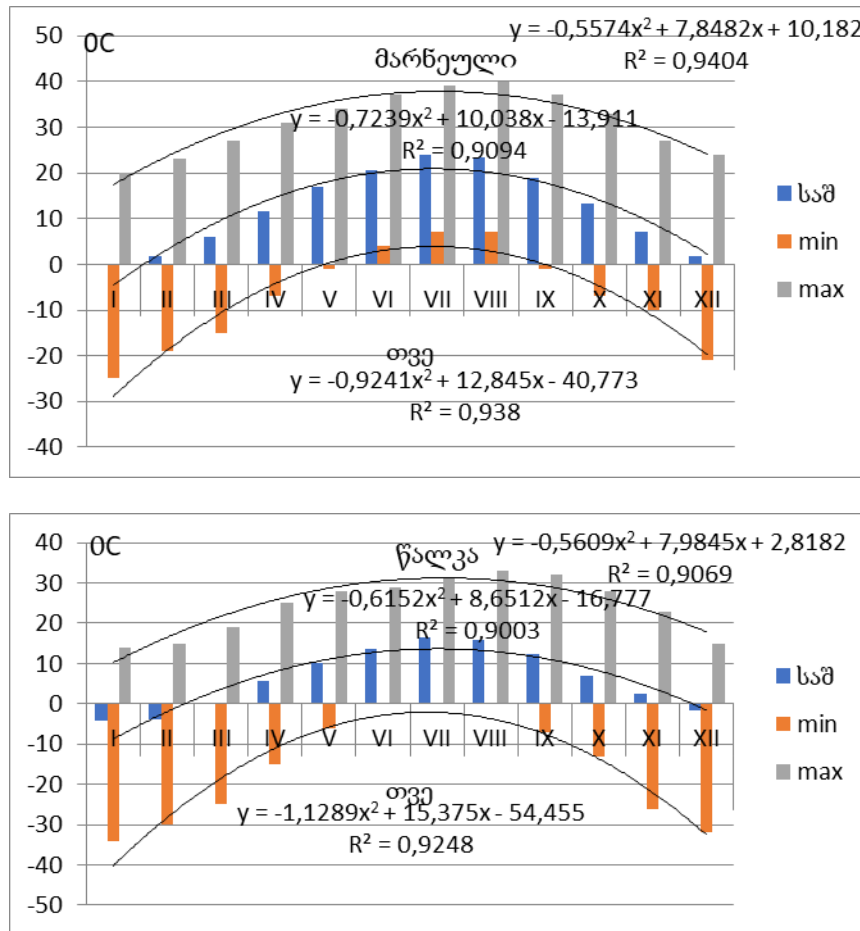
ნახ. 3. ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება სიმაღლის მიხედვით ქვემო ქართლის რეგიონში და შესაბამისი აღმწერი ფუნქციები: 1-იანვარი; 2-ივლისი; 3-წელი (R² - დეტერმინაციის კოეფიციენტი)

ნახ.3.-დან და შესაბამისი განტოლებებიდან ჩანს, რომ ტემპერატურა სიმაღლის მიხედვით წრფივად კლებულობს. ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი ყოველ 100 მ სიმაღლეზე საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის შეადგენს 0.57 გრადუსს. ივლისის საშუალო თვიური ტემპერატურისათვის 0.72 გრადუსს, ხოლო იანვრის ტემპერატურისათვის 0.39 გრადუსს, რაც ზამთრისათვის დამახასიათებელი ინვერსიების შედეგია [8,9]. ამავე ნახ.3-ზე წარმოდგენილი დეტერმინაციის კოეფიციენტი გვიჩვენებს, თუ რამდენია ადგილის სიმაღლის წვლილი ტემპერატურის ცვლილებაში. როგორც დეტერმინაციის კოეფიციენტის მნიშვნელობები გვიჩვენებს, ადგილის სიმაღლის წვლილი ტემპერატურის ცვლილებაში ძირითადად გადაწყვეტია და 100 %-ს უახლოვდება ივლისში, საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის 97% შეადგენს, მხოლოდ იანვარში შედარებით დაბალია და 83 %-ს შეადგენს.

მიღებული დამოკიდებულებების (ნახ.1-3) და განტოლებების მაღალი საიმედოობიდან გამომდინარე, შეგვიძლია საკმაო სიზუსტით ვიმსჯელოთ სხვადასხვა სიმაღლითი სარტყლის ტემპერატურულ რეჟიმზე და წარმატებით გამოვიყენოთ ისინი სხვადასხვა გაანგარიშებებში. მაგალითად, ამ განტოლებების თანახმად მწვერვალ სამსარზე, რომელიც განლაგებულია 3285 მ, მივიღებთ ტემპერატურებს მინუს 10 გრადუსზე ნაკლებს, დაახლოებით 4 გრადუსი და მინუს 3.6 გრადუსი, შესაბამისად იანვრის, ივლისის და საშუალო წლიური ტემპერატურებისათვის.

ტემპერატურის წლიური სვლა ხასიათდება მინიმუმით იანვარში, ხოლო მაქსიმუმით ივლის-აგვისტოში. ასეთივე სვლა აქვს ტემპერატურის ექსტრემალურ მახასიათებლებს - აბსოლუტურ მინიმუმს და აბსოლუტურ მაქსიმუმს, საშუალო მინიმუმს და საშუალო მაქსიმუმს. ეს კარგად ჩანს ნახ.4-დან, სადაც წარმოდგენილია ჰაერის ტემპერატურის საშუალო და ექსტრემალური მნიშვნელობების წლიური სვლა ორ განსხვავებულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში: მარნეულში, დაახლოებით 400 მ სიმაღლეზე და წალკაში, თითქმის 1500 მ სიმაღლეზე ზღვის დონიდან.

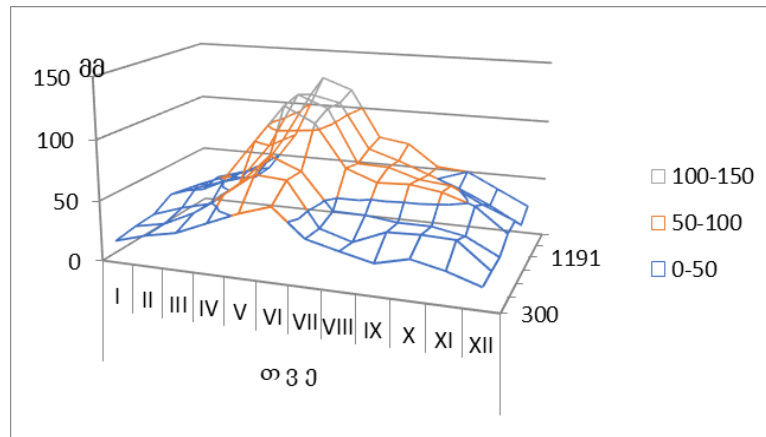
როგორც ნახ.4-დან ჩანს, ექსტრემალურ ტემპერატურათა მნიშვნელობანი რეგიონში საკმაოდ დიდ დიაპაზონში მერყეობს. მაგალითად, მარნეულში იანვარში ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმი მინუს 25 გრადუსამდე ეცემა, ხოლო ზაფხულში ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმი 40 გრადუსს აღწევს. წალკაში იანვარში ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმი მინუს 34 გრადუსზე დაბლა ეცემა, ხოლო ზაფხულში ტემპერატურის აბსოლუტური მაქსიმუმი 33 გრადუსს აღწევს. ამავე ნახაზზე მოცემულია ტემპერატურის წლიური სვლის აპროკსიმაცია კვადრატული ფუნქციით, აგრეთვე დეტერმინაციის კოეფიციენტი საკმაოდ მაღალია სამივე შემთხვევაში, რაც მიუთითებს განტოლებების საიმედოობაზე. ამრიგად, მიღებული კვადრატული ფუნქციები წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნას საშუალო და ექსტრემალური ტემპერატურების გამოსაანგარიშებლად საკმაო სიზუსტით.



ნახ. 4. ჰაერის ტემპერატურის საშუალო და ექსტრემალური მნიშვნელობების წლიური სვლა - საშუალო; აბსოლუტური მინიმუმი; აბსოლუტური მაქსიმუმი და მათი აპროკსიმაცია კვადრატული ფუნქციით (R^2 -დეტერმინაციის კოეფიციენტი)

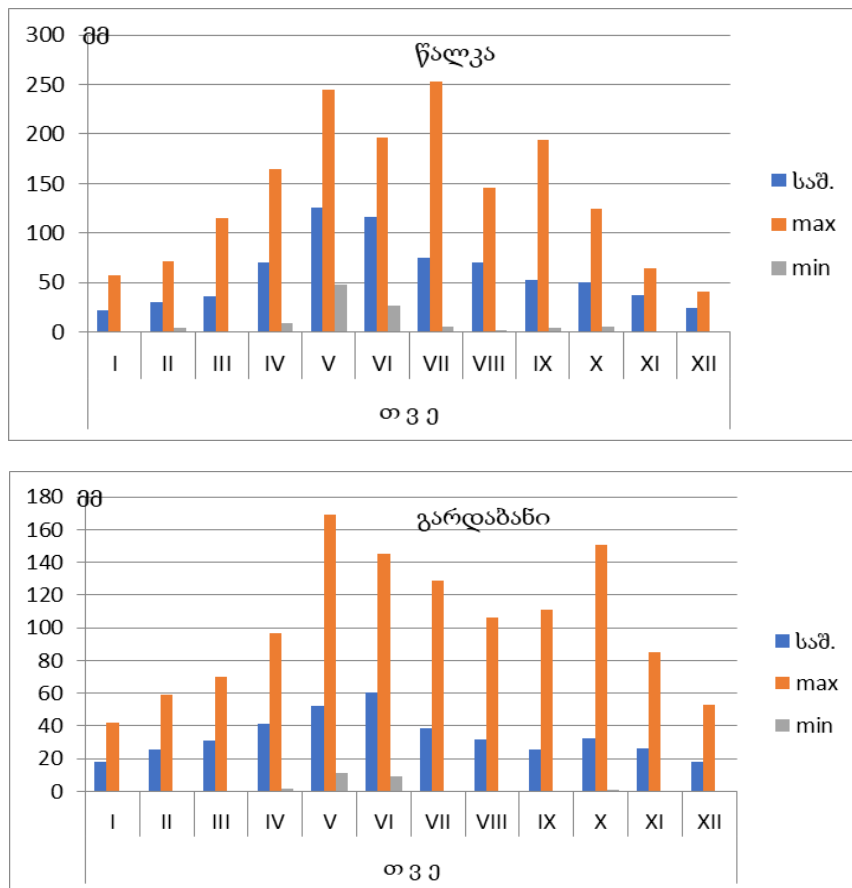
ატმოსფერული ნალექები. რეგიონი საერთოდ არ ხასიათდება ბევრი ნალექით. ტერიტორიაზე წლის განმავლობაში უდიდესი ნალექი მთიან ზონაში მოდის (თეთრიწყარო, წალკა, მანგლისი), სადაც ნალექების ჯამი აღემატება 700 მმ-ს, უმცირესი ნალექი კი დაბლობში მოდის (გარდაბანი, მარნეული, ბოლნისი), სადაც ნალექების ჯამი დაახლოებით 400-500 მმ-ია. წლიურ სვლაში მათი მაქსიმუმი გაზაფხულზე, ან ზაფხულში აღინიშნება, ხოლო უმცირესი ნალექი უმთავრესად ზამთარში მოდის. რეგიონში ნალექების წლიური სვლის მთელ მრავალფეროვნებას კარგად გამოხატავს ნახ. 5-ზე წარმოდგენილი დიაგრამა.

ნახ.5-ზე წარმოდგენილი ველი კარგად გამოსახავს ნალექების წლიური სვლის სიმაღლის მიხედვით ცვლილების დეტალებს. კერძოდ, კარგად მოჩანს ზედაპირის დადებითი ფორმები (ამოზნექილობა), რაც შეესაბამება ნალექების მაქსიმუმებს, ძირითადად გაზაფხულსა და ზაფხულში, უმთავრესად მაისში, ხოლო მინიმუმებს - ზამთრის თვეებში.



ნახ.5. ნალექების თვიური ჯამების წლიური სვლის სიმაღლის მიხედვით ცვლილების ველი

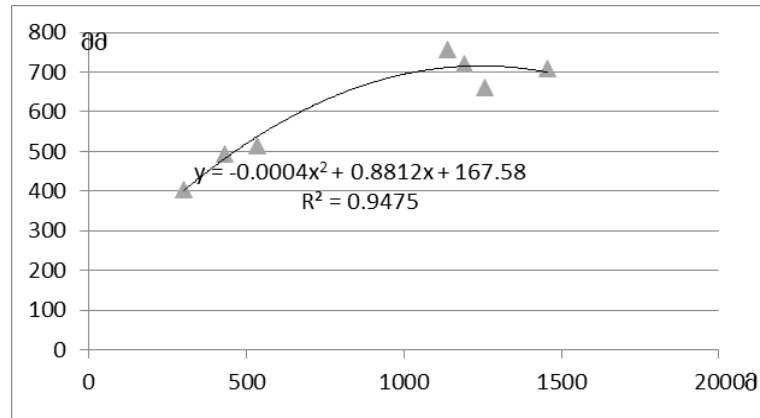
ნალექების თვიური ჯამები დიდ ფარგლებში მერყეობს. ეს კარგად ჩანს ნახ.6-ზე განსხვავებულ გეოგრაფიულ პირობებში განლაგებული პუნქტების მაგალითზე წარმოდგენილი ნალექების უდიდესი, საშუალო და უმცირესი თვიური ჯამების ჰისტოგრამებიდან.



ნახ. 6. ატმოსფერული ნალექების უდიდესი, საშუალო და უმცირესი თვიური ჯამების წლიური სვლა წალკასა და გარდაბანში

როგორც ნახ.6-დან ჩანს ზოგიერთი თვეების განმავლობაში შესაძლებელია ნალექი საერთოდ არ მოვიდეს, ამავე დროს ცალკეულ წლებში ნებისმიერ თვეს შესაძლებელია მოვიდეს ნალექების ისეთი რაოდენობა, რომ ჯამში რამოდენიმეჯერ აღემატებოდეს ნალექების თვიურ ნორმას. ნალექებისათვის ეს დამახასიათებელია, რადგანაც დიდი დისპერსიით ხასიათდება.

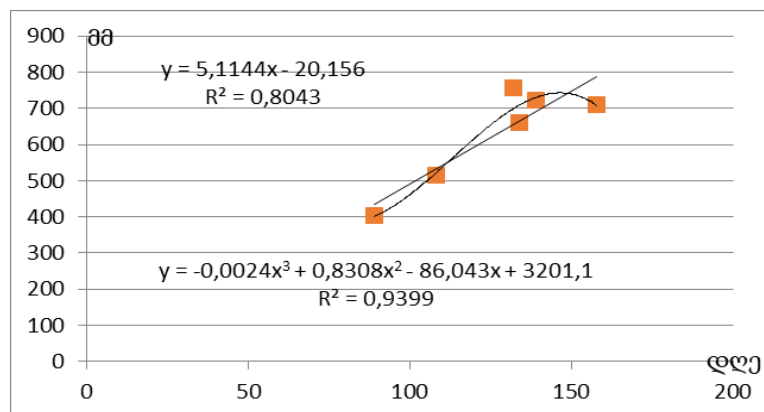
მთებში ერთ-ერთი აქტუალური პრობლემაა ნალექთა ჯამების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით. ნახ. 7-ზე წარმოდგენილია ნალექების ჯამების სიმაღლის მიხედვით ცვლილება რეგიონში, შესაბამისი აღმწერი ფუნქცია და დეტერმინაციის კოეფიციენტი.



ნახ. 7. ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამების ცვლილება სიმაღლის მიხედვით და შესაბამისი აღმწერი ფუნქცია (R^2 - დეტერმინაციის კოეფიციენტი)

დეტერმინაციის კოეფიციენტი ნალექთა წლიური ჯამისათვის საკმაოდ მაღალია და შეადგენს 0.94, რაც იმას ადასტურებს, რომ ადგილის სიმაღლის ხვედრითი წილი ნალექთა ჯამის ცვლილებაში შედარებით მნიშვნელოვანია და 94%-ს შეადგენს. დანარჩენი წილი ანუ მხოლოდ 6%, ნალექთა ჯამების გადანაწილებაში რელიეფის ფორმას და სხვა მორფომეტრულ ფაქტორებს შეაქვს.

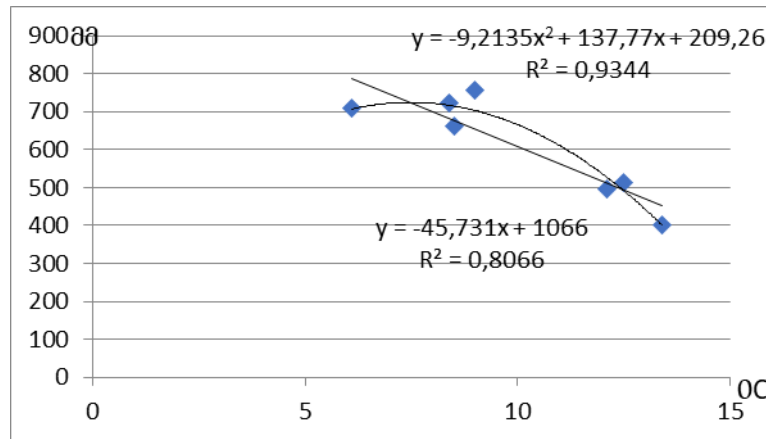
ნალექიან დღეთა რიცხვი რეგიონში საშუალოდ 90-160 დღეს შეადგებს. ნალექებიან დღეთა რიცხვის წლიური სვლა ძირითადად შეესაბამება ნალექების ჯამების წლიურ სვლას: მაქსიმუმი გვიან გაზაფხულზე, შესაძლოა ზაფხულის დასაწყისში, ხოლო მინიმუმი - ზამთარში. ნალექიან დღეთა რიცხვი საერთოდ კარგ კორელაციაშია მოსული ნალექების ჯამთან. მაგრამ ქვემო ქართლის შემთხვევაში ცალსახად პირდაპირპროპორციული კავშირი არ აღინიშნება, რაც კარგად ჩანს ნახ.8-ზე წარმოდგენილი დამოკიდებულებიდან. ეს დამოკიდებულება ნახ.8-ზე აღწერილია წრფივი და კვადრატული ფუნქციებით. დეტერმინაციის კოეფიციენტი წრფივი ფუნქციის შემთხვევაში 0.8, ხოლო კვადრატული ფუნქციის შემთხვევაში გაცილებით მეტია - 0.94.



ნახ. 8. დამოკიდებულება ნალექიან დღეთა რიცხვსა (x) და ნალექების წლიურ ჯამს შორის (y), R^2 - დეტერმინაციის კოეფიციენტი

მოსული ნალექების რაოდენობა გარკვეულწილად კავშირშია ტემპერატურულ ფონთან. ჯერ კიდევ XIX საუკუნის დასასრულს ბირკენსმა წამოაყენა ჰიპოთეზა ნალექებსა და ტემპერატურას შორის უკუპროპორციული დამოკიდებულების შესახებ დასავლეთ ევროპაში. დროზდოვმა XX საუკუნის პირველ ნახევარში ეს ჰიპოთეზა დაამტკიცა აღმოსავლეთ ევროპისათვის. ეელიზბარაშვილმა [10] აჩვენა, რომ ნალექების ზრდა შეიძლება

აღინიშნებოდეს, როგორც ტემპერატურის ზრდის, ისე შემცირების ფონზე. კორელაციური კავშირი ნალექების ჯამსა და ტემპერატურას შორის ძირითადად უარყოფითია, იგივე შედეგია ქვემო ქართლის პირობებში (ნახ.9.).



ნახ. 9. დამოკიდებულება ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურასა და ნალექების წლიურ ჯამს შორის

როგორც ნახ.9-ზე წარმოდგენილი გრაფიკებიდან და მათი აღმწერი ფუნქციებიდან ჩანს, ტემპერატურის ზრდასთან ერთად აღინიშნება ნალექთა ჯამების კლების ტენდენცია. დეტერმინაციის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია კვადრატული ფუნქციით აპროკსიმაციისას, რაც მიუთითებს ნალექების ფორმირებაში ტემპერატურის როლის რამდენადმე შემცირებას, რაც შესაძლოა გამოწვეულია რეგიონში დაბალი ტენიანობით და ღრუბლიანობით, განსაკუთრებით მთიან რაიონებში.

დასკვნები

1. ქვემო ქართლის ტერიტორიაზე ტემპერატურის განაწილებას კონტრასტული ხასიათი აქვს. ყველაზე ცივი თვე იანვარია, ყველაზე თბილი თვეები ივლისი-აგვისტოა. ყველაზე მაღალი ტემპერატურები ბოლნისსა და გარდაბანში ფიქსირდება, ხოლო ყველაზე დაბალი ტემპერატურა - წალკაში, ამრიგად, ტემპერატურის ცვლილების მთავარი ფაქტორი რეგიონში ადგილის სიმაღლეა.
2. ტემპერატურა სიმაღლის მიხედვით წრფივად კლებულობს. ტემპერატურის ვერტიკალური გრადიენტი ყოველ 100 მ სიმაღლეზე საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის შეადგენს 0.57 გრადუსს. ივლისის საშუალო თვიური ტემპერატურისათვის 0.72 გრადუსს, ხოლო იანვრის ტემპერატურისათვის 0.39 გრადუსს, რაც ზამთრისათვის დამახასიათებელი ინვერსიების შედეგია. დეტერმინაციის კოეფიციენტის თანახმად, სიმაღლის წვლილი ტემპერატურის ცვლილებაში გადამწყვეტია და 100 %-ს უახლოვდება ივლისში, საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის 97% შეადგენს, მხოლოდ იანვარში შედარებით დაბალია და 83%-ს შეადგენს.
3. რეგიონი საერთოდ არ ხასიათდება ბევრი ნალექით. წლის განმავლობაში უდიდესი ნალექი მთიან ზონაში მოდის (თეთრიწყარო, წალკა, მანგლისი), სადაც ნალექების ჯამი აღემატება 700 მმ-ს, უმცირესი ნალექი კი დაბლობში მოდის (გარდაბანი, მარნეული, ბოლნისი), სადაც ნალექების ჯამი დაახლოებით 400-500 მმ-ია. წლიურ სვლაში მათი მაქსიმუმი გაზაფხულზე, ან ზაფხულში აღინიშნება, ხოლო უმცირესი ნალექი უმთავრესად ზამთარში მოდის.
4. ზოგიერთი თვეების განმავლობაში შესაძლებელია ნალექი საერთოდ არ მოვიდეს, ამავე დროს ცალკეულ წლებში ნებისმიერ თვეს შესაძლებელია მოვიდეს ნალექების ისეთი რაოდენობა, რომ ჯამში რამოდენიმეჯერ აღემატებოდეს ნალექების თვიურ ნორმას. ნალექებისათვის ეს დამახასიათებელია, რადგანაც დიდი დისპერსიით ხასიათდება.
5. ადგილის სიმაღლის ხვედრითი წილი ნალექთა ჯამის ცვლილებაში შედარებით მნიშვნელოვანია და 94%-ს შეადგენს. დანარჩენი წილი ანუ მხოლოდ 6%, ნალექთა ჯამების გადანაწილებაში რელიეფის ფორმას და სხვა მორფომეტრულ ფაქტორებს შეაქვს.
6. ტემპერატურის ზრდასთან ერთად აღინიშნება ნალექთა ჯამების კლების ტენდენცია. დეტერმინაციის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია კვადრატული ფუნქციით აპროკსიმაციისას, რაც მიუთითებს ნალექების ფორმირებაში ტემპერატურის როლის რამდენადმე შემცირებას, რაც შესაძლოა გამოწვეულია რეგიონში დაბალი ტენიანობით და ღრუბლიანობით, განსაკუთრებით მთიან რაიონებში.

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛІТЕРАТУРА

1. Maruashvili L., Physical Geography of Georgia, Publishing House "Knowledge", Tbilisi 1964.(Geo)
2. Geography of Georgia Part 1, Physical Geography, Publishing House "Science", Tbilisi 2000 (Geo)
3. Scientific-Applied Climatic Directory of Georgia, Vol. 1, Individual Climatic Characteristics, Tbilisi 2004 (Geo)
4. Scientific and applied climate guide of the USSR Series 3, Long-term data, Parts 1-6, Issue 14, Georgian SSR, L., Gidrometeoizdat, 1967. (Rus)
5. Scientific and applied climate handbook, USSR, series 3, Issue 14, Georgian SSR, L., Gidrometeoizdat, 1990. . (Rus)
6. Climate handbook of the USSR, Issue 14, Part 2 Air and soil temperature. Gidrometeoizdat, L., 1967. . (Rus)
7. Climate handbook of the USSR Issue 14, Part 3, Air humidity and atmospheric precipitation, L., Gidrometeoizdat, 1968.8. . (Rus)
8. Elizbarashvili E. Climate of Georgia. Tbilisi, 2017 .(Geo)
9. Elizbarashvili E.Sh., Vertical zonality of climates of Transcaucasia. Izvestiya of the USSR Academy of Sciences, p.geigraf., No. 4b 1978.10. (Rus)
10. Elizbarashvili E. The Dependence of Precipitation on Air Temperature During Global Warming in Georgia. European Geographical Studies, 2019, 6(1). P.10-20.

UAC 551.583

Climatic regularities of the spatiotemporal distribution of temperature and precipitation in the Kvemo Kartli region. Elizbarashvili E., Pipia M., Elizbarashvili Sh., Beglarashvili N., Diasamidze Ts., Samukashvili R., Chelidze N., Shavishvili N. / Collection of works of the Institute of Meteorology of the State University of Georgia-2025.-Vol.136.-Pg. 38-45. -Kart., Res. Kart., Engl., Rus.

The climatic regularities of the spatiotemporal distribution of temperature and precipitation in the territory of Kvemo Kartli have been investigated. The gradients of temperature and precipitation changes with altitude have been estimated, and the tendency of precipitation totals to decrease with increasing temperature has been established. The temperature distribution in the territory of Kvemo Kartli has a contrasting character. The coldest month is January, the warmest months are July-August. The highest temperatures are recorded in Bolnisi and Gardabani, and the lowest temperature is in Tsalka, thus the main factor in temperature changes in the region is the altitude.

The region is not characterized by much precipitation at all. During the year, the greatest precipitation falls in the mountainous zone (Tetritskari, Tsalka, Manglisi), where the total precipitation exceeds 700 mm, and the least precipitation falls in the lowlands (Gardabani, Marneuli, Bolnisi), where the total precipitation is about 400-500 mm. In the annual course, their maximum is observed in spring or summer, and the least precipitation falls mainly in winter.

УДК 551.583

Климатические закономерности пространственно-временного распределения температуры и осадков в регионе Квемо Картли. Элизбарашвили Э., Пипия М., Элизбарашвили Ш., Бегларашвили Н., Диасамидзе Ц., Самукашвили Р., Челидзе Н., Шавишвили Н./ Сборник трудов ГТУ ХМИ-2025.-Т.136.-С. 38-45. -Карт., Рез. Грузинский, английский, русский.

Исследованы климатические закономерности пространственно-временного распределения температуры и осадков на территории Квемо Картли. Оценены градиенты изменения температуры и количества осадков с высотой, установлена тенденция уменьшения количества осадков с ростом температуры. Распределение температур на территории Квемо Картли имеет контрастный характер. Самый холодный месяц — январь, самые теплые месяцы — июль-август. Самые высокие температуры зафиксированы в Болниси и Гардабани, а самые низкие — в Цалке, поэтому основным фактором изменения температуры в регионе является высота.

Для региона вообще не характерно обильное количество осадков. В течение года наибольшее количество осадков выпадает в горной зоне (Тетрицкари, Цалка, Манглиси), где сумма осадков превышает 700 мм, а наименьшее — в низменной зоне (Гардабани, Марнеули, Болниси), где сумма осадков составляет около 400-500 мм. Максимальное годовое количество осадков здесь наблюдается весной или летом, а минимальное — в основном зимой.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-46-53

უკ. 551.583

კარტოფილის კულტურის გავრცელება იმერეთის რეგიონის აგროკლიმატურ პირობებში და მოსავლის პროგნოზი
მაია მელაძე¹, გიორგი მელაძე¹, თამაზი კობახიძე²

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

²საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მთის მდგრადი განვითარების ფაკულტეტი

m.meladze@gtu.ge

რეზიუმე. კარტოფილის კულტურა აგროკლიმატური პირობების მიმართ კარგი ადაპტირებით გამოირჩევა, რაც იძლევა საადრეო და საგვიანო პროდუქციის მიღების კარგ შესაძლებლობას. საკვლევი ტერიტორია - სოფელი აჯამეთი (ზღ. დონიდან 104 მ) შედის იმერეთის აგროკლიმატური ზონების I ზონაში, რომელიც ვრცელდება ზღ. დონიდან 20-300 მ სიმაღლემდე, სადაც აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი შეადგენს $\geq 4000^{\circ}\text{C}$, ატმოსფერული ნალექების ჯამი თბილ პერიოდში - 600-1000 მმ. სავსეგეტაციო პერიოდში სითბოთი უზრუნველყოფის პროგნოზის პრაქტიკული გამოყენების მიზნით შედგენილია რეგრესიის განტოლება. მოცემულია ატმოსფერული ნალექების 10 და 90%-ით უზრუნველყოფა. აღნიშნულ აგროკლიმატურ პირობებში მცენარეთა აპიკალური მერისტემის მეთოდის გამოყენებით მიღებულია კარტოფილის კულტურის სათესლე მასალა, სადაც ინფექციის რისკი და საშიშროება გამორიცხულია. სტერილური კულტურა საშუალებას იძლევა, მივიღოთ დიდი რაოდენობის გენეტიკურად ერთგვაროვანი სარგავი მასალა. შედგენილია კარტოფილის საპროგნოზო მოსავლის რეგრესიის განტოლება.

საკვანძო სიტყვები: კარტოფილის კულტურა, აქტიური ტემპერატურა, ატმოსფერული ნალექები, მოსავლის პროგნოზი

შესავალი. კარტოფილის კულტურა ტუბერიანი მცენარეა, რომელიც მაღალი კვებითი ღირებულებებით და მრავალმხრივი გამოყენებით არის წარმოდგენილი. მისი სამშობლო ცენტრალური და სამხრეთ ამერიკაა. დღესდღეობით იგი გავრცელებულია და იწარმოება თითქმის ყველა ქვეყანაში. საქართველოში მისი წარმოება XIX საუკუნის მეორე ნახევრიდან იწყება და ნათესების მნიშვნელოვანი ნაწილი 1000-1500 მ სიმაღლეზეა ზღვის დონიდან.

კარტოფილი აგროკლიმატური პირობების მიმართ კარგი ადაპტირებით გამოირჩევა. მისი გადვივების ფენოლოგიური ფაზის დაწყების ტემპერატურაა $5-6^{\circ}\text{C}$, ხოლო განვითარების ოპტიმალური ტემპერატურა შეადგენს $13-15^{\circ}\text{C}$. როგორც აგროკულტურების უმრავლესობისათვის, კარტოფილის ფოტოსინთეზის ოპტიმალური ტემპერატურა შეადგენს $20-25^{\circ}\text{C}$. აღნიშნული ტემპერატურის ზევით სუსტდება ფოტოსინთეზის პროცესი, ტუბერის განვითარების პერიოდში ხდება მცენარის დაკნინება-დაავადება და საბოლოოდ გადაგვარება. ასეთი სახის ტუბერის სათესლე მასალად არ გამოიყენება. ზომიერი კლიმატის და ტენიანობის პირობებში კარტოფილი ირიგაციის გარეშე იძლევა მოსავალს, თუმცა მორწყვითი ღონისძიება მნიშვნელოვნად ზრდის მოსავლიანობას. ტუბერების წარმოქმნის პროცესში საჭიროა 3-5 ჯერადი მორწყვა. ირიგაცია განსაკუთრებით საჭიროა ზაფხულში, მთიან ზონაში მეტეოროლოგიური პირობების მიხედვით 2-3-ჯერ, ხოლო დაბლობ ზონებში 4-5-ჯერ.

საქართველოს აგროკლიმატური პირობები და კარტოფილის კულტურის მაღალი ადაპტაციის უნარი იძლევა საადრეო და საგვიანო პროდუქციის მიღების კარგ შესაძლებლობას. კარტოფილის ჯიშები ბიოლოგიური და სამეურნეო თვისებების მიხედვით იყოფა ოთხ ჯგუფად: საკვები, სასუფრე, უნივერსალური და საქარხნე. საკვები ჯიშის კარტოფილისათვის მნიშვნელოვანია უზემოსავლიანობა, მშრალი ნივთიერებების და ცილის დიდი რაოდენობით (4-4,5%) შემცველობა. სასუფრე კარტოფილის ჯიშს ახასიათებს მაღალი გემური თვისებები. მისი ტუბერები სრულყოფილი ფორმისაა და ხასიათდება ზამთრის პერიოდში კარგი შენახვის უნარით. საქარხნე კარტოფილის ჯიშს ახასიათებს სახამებლის მაღალი შემცველობა (არანაკლებ 18%), სახამებლის მრავალმარცვლიანობა და სპირტის მაღალი გამოსავლიანობა. უნივერსალური კარტოფილის ჯიშში ხასიათდება სახამებლის მაღალი შემცველობით, რაც საშუალებას იძლევა გამოყენებული იქნას სასურსათოდ და ტექნიკური გადამამუშავებისათვის.

საქართველოს აგროკლიმატურ პირობებში კარტოფილის ჯიშები სავსეგეტაციო პერიოდის მიხედვით იყოფა საადრეო, საშუალო და საგვიანო ჯიშებად. კარტოფილის კულტურას აზიანებენ მავნებლები და დაავადებები, ასევე სარეველები ამცირებენ მის მოსავალს. ძირითადი მავნებლებია: კარტოფილის ფიტოფტორა, კოლორადოს ხოჭო, მავთულა ჭიები, რიზოქტონიოზი, ალტერნარიოზი. კარტოფილის

ფიტოფტორა ყველაზე გავრცელებული და საშიში სოკოვანი დაავადებაა. იგი იწვევს ფოთლების ჭკნობას, მათ გაშვებას და ხმობას. დაავადების განვითარების ოპტიმალური პირობების შემთხვევაში (ნალექების დიდი რაოდენობა, მაღალი ტენიანობა) საჭიროა ნათესების დამუშავება კვირაში ერთხელ, პრევენციით - 10-14 დღეში ერთხელ. კოლორადოს ხოქოს შემთხვევაში მატლები აზიანებენ მცენარის ფოთლებს, ღეროებს, რაც საბოლოო ჯამში იწვევს მოსავლის მკვეთრად შემცირებას. ვეგეტაციის პერიოდში, მავნებლის გამოჩენისთანავე ახდენენ ნათესი ფართობების დამუშავებას ინსექტიციდებით. ანალოგიურად, გამოიყენება გრანულირებული ინსექტიციდები მავთულა ჭიების შემთხვევაში. სოკოვან დაავადებებს მიეკუთვნება ასევე რიზოქტონიოზი, რომელიც აზიანებს მცენარის ფესვებს, ღეროს, ტუბერებს. გრილ გაზაფხულზე, ცივ ნიადაგში დარგვის შემთხვევაში, რაც უფრო ხანგრძლივია ღივების გამოტანის პროცესი, მით მეტად ხდება დაზიანება. აღნიშნული სოკოვანი დაავადების წინააღმდეგ რეკომენდებულია მცენარეების დამუშავება ფუნგიციდებით. ალტერნატივის დაავადების შემთხვევაში, მისი ძლიერი განვითარების დროს მცენარე იღუპება. მის წინააღმდეგ გამოიყენება როგორც ფუნგიციდები, ასევე ჰერბიციდები.

ძირითადი ნაწილი. იმერეთის რეგიონი მდებარეობს დასავლეთ საქართველოში. ის შემოსაზღვრულია ჩრდილოეთიდან რაჭის, სამხრეთიდან მესხეთის, აღმოსავლეთიდან ლიხის ქედებით, დასავლეთიდან მდინარე ცხენისწყლით. რეგიონის ფართობი 6,5 ათასი კმ²-ია, რაც საქართველოს ტერიტორიის 9,2% შეადგენს. ტერიტორიის აბსოლუტური სიმაღლე მერყეობს 10-20 მეტრიდან 2862 მეტრამდე (მწვერვალი ლეხური). იმერეთის ტერიტორიაზე წარმოდგენილია თითქმის ყველა ლანდშაფტური ზონა, ნოტიო სუბტროპიკებიდან დაწყებული და ალპური მდელოებით დამთავრებული. იმერეთის ტერიტორიაზე განლაგებულია მთიანი სისტემები და მათი განშტოებები ზეგნებით, პლატოებით, ვაკე-დაბლობებით და ღრმა ხეობებით. იმერეთის ვაკე წარმოადგენს კოლხეთის ლანდშაფტური ოლქის ყველაზე მაღალ აღმოსავლეთ ნაწილს, რომელიც ვრცელდება მდ. ცხენისწყლის შესართავიდან ქ. ზესტაფონამდე.

იმერეთის აგროკლიმატური რესურსები საშუალებას იძლევა მრავალი სახის აგროკულტურის გავრცელებისათვის. განსაკუთრებით ხელსაყრელია ბოსტნეული, მარცვლოვანი, ხეხილოვანი და ვაზის კულტურების წარმოებისათვის. გამომდინარე იქიდან, რომ აგროკულტურების ზრდა-განვითარების შეუცვლელ თანაბარმნიშვნელობის ფაქტორებს წარმოადგენს სინათლე, სითბო და ტენი, განვიხილავთ თითოეულ მათგანს. მზის ნათების ხანგრძლივობის გათვალისწინება საკვლევ რეგიონში მნიშვნელოვანია აგროკულტურების სწორი განლაგებისათვის. რეგიონში მისი ხანგრძლივობა (სთ) იმატებს გაზაფხულიდან და მაქსიმუმს აღწევს მცენარეთა აქტიური ვეგეტაციის ბოლოს. შემოდგომის სეზონიდან იკლებს და მინიმუმში ფიქსირდება იანვარში. რეგიონში ცივ პერიოდში, მუნიციპალიტეტების მიხედვით შეადგენს 338-569 სთ., ხოლო თბილ პერიოდში - 1014-1536 სთ. აღნიშნული მაჩვენებლები დამაკმაყოფილებელია აგროკულტურების მაღალი პროდუქტიულობისათვის.

საკვლევ რეგიონში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა 100 მ-დან 1000 მ სიმაღლემდე (ზღ. დონიდან) მერყეობს 9-15°C საზღვრებში. აღნიშნული ტემპერატურა ქვემო იმერეთში 1-2°C-ით მეტია ზემო იმერეთთან შედარებით. ეს განსხვავება სავეგეტაციო პერიოდში არსებითად არ აისახება მარცვლეული, ხეხილოვანი, ბოსტნეული, ვაზის და სხვა კულტურების განვითარებაზე. ტემპერატურათა მაჩვენებლებიდან გამომდინარე, იმერეთის რეგიონის ტერიტორიის უმეტესი ნაწილი ხასიათდება ზომიერად თბილი კლიმატით (ნახევრად ტენიანი სუბტროპიკული), მისი დაბლობი ნაწილი კი რამდენადმე უახლოვდება საქართველოს ტენიან სუბტროპიკულ ზონას.

მოცემულ რეგიონში ატმოსფერული ნალექების განაწილება სავეგეტაციო პერიოდში არათანაბარია, ნალექები დამაკმაყოფილებელია ქვემო იმერეთში, ზემო იმერეთთან შედარებით. რის გამოც აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში მოსალოდნელია მცენარეთა ზრდა-განვითარების შეფერხება, ძირითადად ეს ეხება მარცვლეულ, ბოსტნეულ და ბაღეულ კულტურებს. ნალექების მსვლელობის დინამიკა სეზონების მიხედვით თითქმის იდენტურია, განსხვავებაა რაოდენობაში. კერძოდ, ცივ პერიოდში დეკემბრის თვიდან თებერვლის ჩათვლით, სხვა სეზონებთან შედარებით მეტია, მარტიდან ივნისის ჩათვლით ნალექები ძირითადად კლებულობს, ივლის-აგვისტოდან იმატებს ნოემბრის ჩათვლით. ნალექების სიმცირეა აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში (ზესტაფონი, საჩხერე). ცალკეულ წლებში შესაძლებელია იგი კიდევ უფრო ნაკლები აღმოჩნდეს. რაც არასაკმარისია განსაკუთრებით ერთწლიანი კულტურებისათვის.

ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა მნიშვნელოვან როლს ასრულებს აგროკულტურების პროდუქტიულობაში, იგი გავლენას ახდენს მცენარეთა ორგანიზმში მიმდინარე ბიოქიმიურ

პროცესებზე. შეფარდებითი ტენიანობის 80-90% და მეტის შემთხვევაში, მცენარე დიდი რაოდენობით აგროვებს შაქრებს, ინსულინს, სახამებელს და სხვა ნახშირწყლებს. ხოლო ჭარბტენიანობის (92-94% და მეტი) შემთხვევაში ფერხდება ყვავილების დამტვერვა, თავთავიანი კულტურების სრული სიმწიფის დადგომა, მოსავლის აღება და სხვა. აღნიშნული ხანგრძლივი ჰაერის ჭარბტენიანობა თბილ პერიოდში არ აღემატება 82-84%. ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობის დინამიკა შემდეგია: გაზაფხულიდან იგი მატულობს აგვისტომდე, შემდეგ იკლებს შემოდგომის ბოლომდე. აღნიშნული ტენიანობის მაქსიმუმი დაიკვირვება ივლისში - 73-84%. მოცემულ ტერიტორიაზე ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა სრულიად აკმაყოფილებს ერთწლიანი და მრავალწლიანი კულტურების განვითარებას და მათ მაღალ პროდუქტიულობას.

იმერეთის რეგიონის აგროკლიმატური რესურსების შეფასებისათვის [1] დამუშავებული და გაანალიზებული იქნა მრავალწლიანი მეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემები სავსებით სრული პერიოდისათვის (ცხრილი 1).

ცხრილი 1. იმერეთის რეგიონის ძირითადი აგროკლიმატური მაჩვენებლები თბილ პერიოდში

მეტეო-სადგური	აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი ($>10^{\circ}\text{C}$)	ატმოსფერული ნალექების ჯამი (მმ)	ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა (%)	უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობა	ჰიდროთერმული კოეფიციენტი (ჰტკ)
დიმი	4300	670	72	278	1.5
ვანი	4330	680	74	278	1.5
საქარა	4330	600	72	250	1.4
სამტრედია	4470	750	77	284	1.6
საჩხერე	3730	460	72	206	1.2
ტყიბული	3700	1190	74	218	3.2
წყალტუბო	4500	990	75	253	2.2
ჭიათურა	4090	600	-	255	1.4
ხარაგაული	4090	730	73	245	1.7
ხონი	4410	1000	76	272	2.2

ცხრილის მიხედვით, აგროკლიმატური მაჩვენებლების გაანალიზებით დადგინდა, რომ ქვემო იმერეთის ბარი და ზემო იმერეთის ნაწილი (ზღ.დ.-დან 300 მ სიმაღლემდე) ხასიათდება ნახევრად ტენიანი სუბტროპიკული ზონის კლიმატური პირობებით. აღნიშნულ პირობებში შესაძლებელია ერთწლიანი - მარცვლეული, ბოსტნეული და ბაღყეული, ასევე, მრავალწლიანი ხეხილოვანი კულტურების წარმოება. თუმცა, გასათვალისწინებელია ჰიდროთერმული კოეფიციენტის მაჩვენებელი. თუ ჰტკ 1.7-ზე ნაკლებია, საჭირო ხდება ნიადაგის ტენიანობის გაზრდა, აგროკულტურების მაღალი პროდუქტიულობისათვის.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. კვლევის ობიექტი, სოფ. აჯამეთი შედის იმერეთის აგროკლიმატური ზონების I ზონაში, რომელიც მოიცავს ქვემო იმერეთის ბარს და ზემო იმერეთის გორაკ-ბორცვიან ადგილებს ზღ. დონიდან 20-300 მ სიმაღლემდე, სადაც აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 4000°C და მეტია. ატმოსფერული ნალექების ჯამი ცივ პერიოდში შეადგენს 640-830 მმ, თბილ პერიოდში - 600-1000 მმ. ბოლო წყინვები აღინიშნება საშუალოდ 12-2.III, პირველი წყინვები - 12-30.XI. უყინვო პერიოდის დღეთა რიცხვი შეადგენს 251-274 დღეს (მრავალწლიური მეტეოროლოგიური დაკვირვებების მონაცემები დამუშავებულია საქარის მეტეო-სადგურის მიხედვით). საკვლევად შერჩეული იყო კარტოფილის ჯიში „სანტე“, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ბიოტექნოლოგიის ცენტრის (ცენტრის ხელმძღვანელი პროფ. მ.კუხალაიშვილი) in vitro სინჯარის მცენარეთა კოლექციიდან, რომლის მისაღებად გამოყენებული იქნა აპლიკალური მერისტემის მეთოდი. საკვებ არედ გამოყენებული იყო Murashige and Skoog (MS) საკვები არე, რომელიც შეიცავდა აგარ-აგარს (7.0 გრ/ლ), საქაროზას (30 გრ/ლ), ვიტამინ C-ს (0.1%/ლ), საკვლევი არის pH შეადგენდა 5.8. საკვლევი ტერიტორიის აგროკლიმატური პირობები შეფასებული იქნა აგრომეტეოროლოგიური კვლევის კლასიკური მეთოდებით. აგრომეტეოროლოგიურ დაკვირვებათა მონაცემები დამუშავებულია მათემატიკური სტატისტიკის მეთოდის გამოყენებით.

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. იმერეთის რეგიონის სოფელ აჯამეთში, რომელიც ზღვის დონიდან 104 მ სიმაღლეზე მდებარეობს ექსპერიმენტულ ნაკვეთზე გატანილი იქნა კარტოფილის კულტურის *in vitro* სინჯარის მცენარეები, სათესლე მასალის მიღების მიზნით. მცენარეთა გაჯანსაღება და მათი დაცვა აქტუალური პრობლემაა აგრარული სექტორისათვის. სხვადასხვა ვირუსული, ბაქტერიული და სოკოვანი დაავადებები იწვევს მოსავლიანობის შემცირებას და პროდუქციის ხარისხის დაქვეითებას. მცენარეთა აპიკალური მერისტემის მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში, სტერილურ პირობებში ხელახალი ინფექციის რისკი და საშიშროება გამორიცხულია. შედეგად სტერილური კულტურა საშუალებას იძლევა მივიღოთ დიდი რაოდენობის გენეტიკურად ერთგვაროვანი სარგავი მასალა.

საექსპერიმენტო ნაკვეთზე მცენარეები დაირგო ივნისის ბოლოს და მათი ზრდა-განვითარება მკაცრად კონტროლდებოდა. კვლევა ჩატარდა სამი ვარიანტით: სათბური, ტომარა, ღია გრუნტი. სამივე შემთხვევაში დაკვირვება ერთდროულად მიმდინარეობდა (სურ.1).



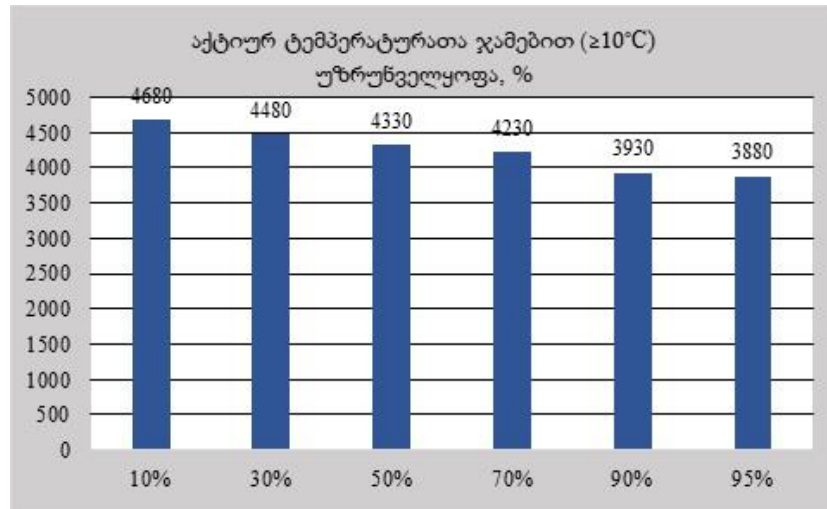
სურ. 1 კარტოფილის საკვლევი მასალა ღია გრუნტში

უნდა აღინიშნოს რომ *in vitro* კარტოფილის გატანა გვიან მოხდა, რაზეც გარემო პირობებმა ზემოქმედება მოახდინა. სათბურის პირობებში ($+40^{\circ}\text{C}$) მცენარის ზრდა შეჩერდა, მაგრამ მცენარემ ტუბერები მაინც გამოიტანა. საჭირო გახდა მისი სათბურიდან გამოტანა, რადგან აორთქლება ინტენსიურად დაიწყო, რაც გამოიწვევდა მცენარის დაღუპვას.

საექსპერიმენტო მცენარემ ტომარაში კარგად განვითარა ფესვები, რომელიც მოთავსებული იყო ყვითელ სილამიწა ნიადაგისა და გადამწვარი ნაკელის ნარევაში, სიმაღლე დაახლოებით 70 სმ-დან 90 სმ-მდე იყო. დაკვირვების დროს აღმოჩნდა, რომ მცენარემ უცნაურად დაიწყო განვითარება, ახალმა ტუბერებმა დაიწყეს ფესვზე მუშაობა და ახალი მცენარის აღმოცენება. ამოღების შემდეგ ფესვთა სისტემა ხის ფესვების მსგავსად იყო განვითარებული. თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ მოსავლით გამოირჩეოდა, რადგან 3 ძირზე 30-მდე ტუბერით იყო წარმოდგენილი.

საკვლევ ღია გრუნტზე განვითარება შედარებით ნაკლები იყო ვიდრე ტომარაში. მცენარეები იყო შავ სილამიწა ნიადაგზე, რომელსაც მდინარე ყვირილა ყოველ წელს ფარავს და ამით ბუნებრივი საკვებით ანოცერებს ნიადაგს. მცენარის განვითარება ტომრის ვარიანტის მსგავსი იყო, ახალი ტუბერები მუშაობდნენ ფესვებზე. ღია გრუნტზე აღმოჩნდა, რომ ჩრდილში მყოფი მცენარეები უკეთესად განვითარდნენ, რაც გამოწვეული იყო იმით, რომ ნაკლებად მიმდინარეობდა მზის რადიაციის შედეგად სითხის გამოდევნა მცენარიდან, რითაც მოხდა ტენის მეტად შენარჩუნება.

იმის გათვალისწინებით, რომ აგროკულტურების და მათ შორის კარტოფილის კულტურის ზრდა-განვითარებასა და პროდუქტიულობას ძირითადად განსაზღვრავს სითბური რეჟიმი, ტერიტორიაზე, სადაც სითბო არასაკმარისია, მცენარის განვითარება ნორმალურად არ მიმდინარეობს, რის შედეგად მოსავალი და მისი ხარისხი დაბალია. საკვლევ ტერიტორიაზე სითბური რეჟიმის შეფასებისათვის მოგვყავს ჰაერის აქტიურ ტემპერატურათა ჯამების ($>10^{\circ}\text{C}$) უზრუნველყოფა (ნახაზი 1).



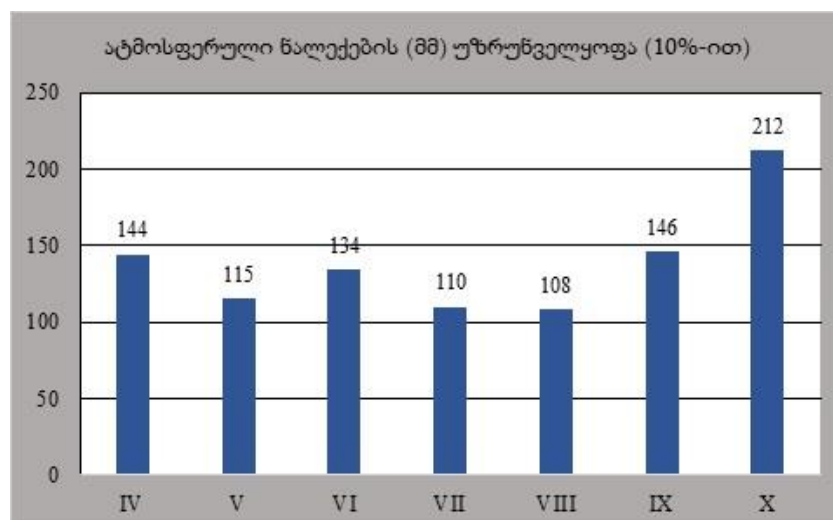
ნახ.1. ჰაერის ტემპერატურათა ჯამებით ($\geq 10^{\circ}\text{C}$), აჯამებით

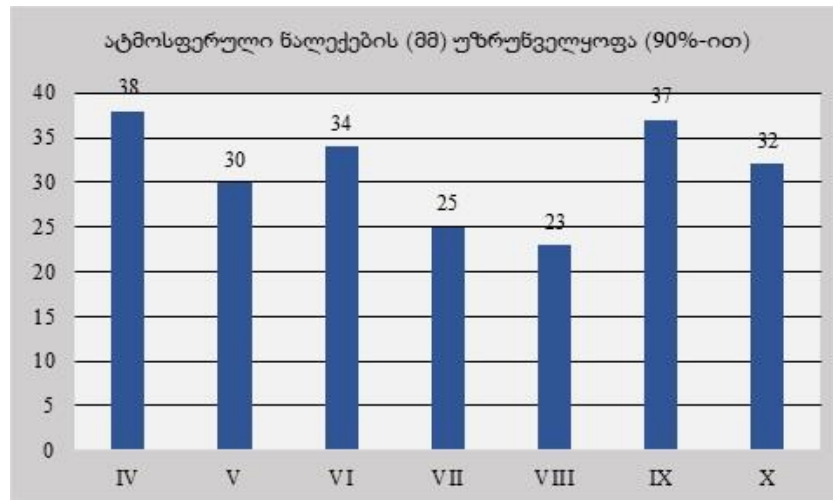
ნახაზი 1-ის მიხედვით მოცემულ ტერიტორიაზე 50% უზრუნველყოფით აქტიურ ტემპერატურათა ჯამები ($> 10^{\circ}\text{C}$) შეადგენს 4330°C . აღნიშნულ ტემპერატურათა ჯამებით რეგიონი უზრუნველყოფილია ზღ. დონიდან 300 მ სიმაღლემდე. სავსებით პერიოდში საკვლევი ტერიტორიის სითბოთი უზრუნველყოფის პროგნოზის [2] პრაქტიკული გამოყენების მიზნით, მოგვყავს რეგრესიის განტოლება:

$$\sum T = -9.2n + 4839$$

სადაც, $\sum T$ - საპროგნოზო ტემპერატურის ჯამია 10°C -ის ზევით გადასვლის თარიღის დადგომამდე, n - დღეთა რიცხვია 1 თებერვლიდან ტემპერატურის ჯამის 10°C -ის ზევით გადასვლის თარიღის დადგომამდე. პროგნოზის ცდომილებაა ($Su \pm$) $\pm 50^{\circ}\text{C}$. პროგნოზის წინასწარობა 5-6 თვეა, მისი შედეგაა შესაძლებელია აპრილის პირველ დეკადაში.

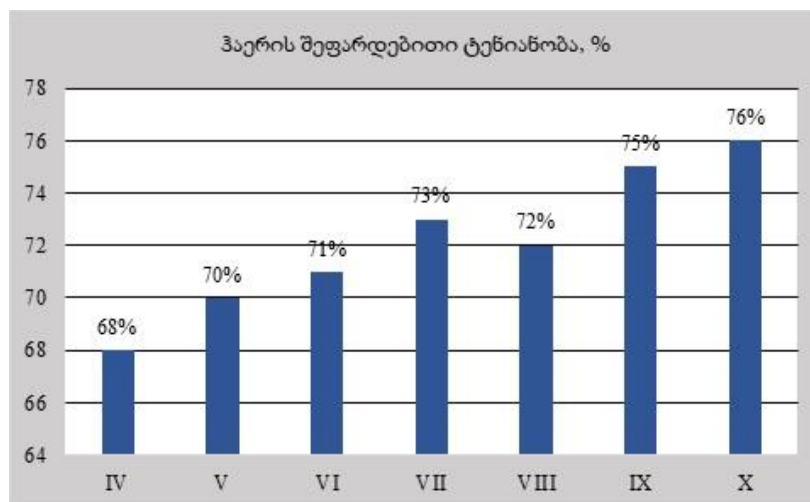
კარტოფილის კულტურის გარანტირებული მოსავლის მიღებას მნიშვნელოვნად განსაზღვრავს ტენით უზრუნველყოფა. ნახაზზე 2. მოცემულია საკვლევი ტერიტორიის ატმოსფერული ნალექების 10 და 90%-ით უზრუნველყოფა სავსებით პერიოდში.





ნახაზი 2. ატმოსფერული ნალექების (მმ) 10 და 90%-ით უზრუნველყოფა თბილისში (აგამეთი)

აღნიშნული მოცემულობიდან გამომდინარე, ცალკეულ წლებში ზაფხულის სეზონზე ნიადაგის მორწყვა (1-2-ჯერ) ხელს შეუწყობს საცდელი კულტურის მაღალ პროდუქტიულობას. რაც შეეხება ჰაერის შეფარდებით ტენიანობას, იგი გაზაფხულიდან მატულობს და მაქსიმუმს აღწევს შემოდგომაზე, სექტემბერ-ოქტომბრის თვეებში (ნახაზი 3).



ნახაზი 3. ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა თბილისში, %

არსებული ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა სრულიად დამაკმაყოფილებელია კარტოფილის კულტურის წარმოებისათვის.

კარტოფილის მოსავალი მჭიდრო კავშირშია ივნის-ივლისის პერიოდის ატმოსფერულ ნალექებთან და ყვავილობის დასაწყისში მცენარის სიმაღლესთან (მრავლობითი კორელაციის კოეფიციენტი $r=89$). მოგვყავს კარტოფილის საპროგნოზო მოსავლის რეგრესიის განტოლება [3]:

$$U = 0.17x + 1.5y - 19$$

სადაც, U - საპროგნოზო მოსავალია (ტ/ჰა), x - ნალექების ჯამი (მმ) ივნის-ივლისის თვეებში, y - მცენარეების სიმაღლე (სმ) ყვავილობის დასაწყისში. კარტოფილის მოსალოდნელი პროგნოზი შეიძლება შედგეს ცალკეული რაიონების მიხედვით. პროგნოზის შედგენა შესაძლებელია აგვისტოს პირველ დეკადაში, წინასწარობა ორ თვემდე ადრე, ცდომილება დასაშვებია 17%-მდე.

დასკვნა. კარტოფილის კულტურა ხასიათდება მაღალი კვებითი ღირებულებით და მრავალმხრივი გამოყენებით. იგი აგროკლიმატური პირობების მიმართ კარგი ადაპტირებით გამოირჩევა. მისი ფოტოსინთეზის ოპტიმალური ტემპერატურა შეადგენს 20-25°C. მოცემულ ტერიტორიაზე 50% უზრუნველყოფით აქტიურ ტემპერატურათა ჯამები (>10°C) შეადგენს 4330°C. აღნიშნული ტემპერატურათა ჯამებით რეგიონი უზრუნველყოფილია ზღ. დონიდან 300 მ სიმაღლემდე.

სავეგეტაციო პერიოდში კარტოფილის კულტურის გარანტირებული მოსავლის მიღებისათვის საკვლევი ტერიტორიის ატმოსფერული ნალექების 10 და 90%-ით უზრუნველყოფიდან გამომდინარე, ცალკეულ წლებში ზაფხულის სეზონზე ნიადაგის მორწყვა (1-2-ჯერ) ხელს შეუწყობს საცდელი კულტურის მაღალ პროდუქტიულობას. ზომიერი კლიმატის და ტენიანობის პირობებში კარტოფილი ირიგაციის გარეშე იძლევა მოსავალს, თუმცა მორწყვითი ღონისძიება მნიშვნელოვნად ზრდის მოსავლიანობას. ტუბერების წარმოქმნის პროცესში საჭიროა 3-5 ჯერადი მორწყვა. ირიგაცია განსაკუთრებით საჭიროა ზაფხულში, დაბლობ ზონებში 4-5-ჯერ. რაც შეეხება ჰაერის შეფარდებით ტენიანობას, იგი გაზაფხულიდან მატულობს და მაქსიმუმს აღწევს შემოდგომაზე (სექტემბერ-ოქტომბრის თვეებში). არსებული ჰაერის შეფარდებითი ტენიანობა სრულიად დამაკმაყოფილებელია კარტოფილის კულტურის წარმოებისათვის.

საქართველოს აგროკლიმატურ პირობებში, საცდელი კულტურის მაღალი ადაპტაციის უნარი განსაზღვრავს საადრეო და საგვიანო პროდუქციის მიღების კარგ შესაძლებლობას. თუმცა, მავნებლები და დაავადებები, ასევე სარეველები ამცირებენ მის მოსავალს. სხვადასხვა ვირუსული, ბაქტერიული და სოკოვანი დაავადებები იწვევს მოსავლიანობის შემცირებას და პროდუქციის ხარისხის დაქვეითებას. მცენარეთა აპიკალური მერისტემის მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში, სტერილურ პირობებში ხელახალი ინფექციის რისკი და საშიშროება გამორიცხულია. შედეგად სტერილური კულტურა საშუალებას იძლევა მივიღოთ დიდი რაოდენობის გენეტიკურად ერთგვაროვანი სარგავი მასალა.

საექსპერიმენტო ნაკვეთზე კვლევა ჩატარდა სამი ვარიანტით: სათბური, ტომარა, ღია გრუნტი. სამივე შემთხვევაში დაკვირვება ერთდროულად მიმდინარეობდა. მიუხედავად არასტანდარტული ზომისა, სავსებით შესაძლებელია მომდევნო წლებში ამ მიკროტუბერებიდან გარკვეული რაოდენობის საკვები კარტოფილის მიღება ადგილობრივი ნიადაგის დამუშავებით (გაფხვიერება, სასუქების დამატება), მითუმეტეს, რომ საწყისი მასალა იყო აპიკალური მერისტემის მეთოდით გამოყენებული კარტოფილის („სანტე“) in vitro სინჯარის მცენარეები.

კარტოფილის მოსავალი მჭიდრო კავშირშია ივნის-ივლისის პერიოდის ატმოსფერულ ნალექებთან და ყვავილობის დასაწყისში მცენარის სიმაღლესთან (მრავლობითი კორელაციის კოეფიციენტი $r=89$). აღნიშნული კავშირების მიხედვით შედგენილია კარტოფილის საპროგნოზო მოსავლის რეგრესიის განტოლება.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Meladze G., Meladze M. Agroclimatic Resources of Western Regions of Georgia. publ. „Universal”, Tbilisi, 2012, 435p.
2. Climate of Georgia 6. Imereti. Transactions of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, vol. 126, 2019, pp. 72-83
3. Meladze M., Meladze G. Estimation agroclimatic condition of Imereti region for rational placing and productivity forecasting of crops. Transactions of the online conference, Sokhumi State University, 2014, pp. 27-39

UDC: 551.583

Distribution of potato in the agro-climatic conditions of Imereti region and the yield forecast /M.Meladze, G.Meladze, T.Kobakhidze/ Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.46-53. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

Potato is distinguished by its good adaptation to agroclimatic conditions, which provides a good opportunity to obtain early and late products. The study area - the village of Ajameti (104 m above sea level) is included in zone I of the agroclimatic zones of Imereti, which extends from sea level to an altitude of 20-300 m, where the sum of active temperatures is $\geq 4000^{\circ}\text{C}$, the sum of atmospheric precipitation in the warm period is 600-1000 mm. For the practical use of the forecast of heating provision during the growing season, a regression equation has been compiled. Provision of atmospheric precipitation by 10 and 90% is given. In these agroclimatic conditions, seed material for potato has been obtained using the plant apical meristem method, where the risk and danger of infection are excluded. Sterile plant allows obtaining a large amount of genetically uniform planting material. The regression equation for the predicted potato yield has been drawn up.

УДК:551.583

Возделывания картофеля в агроклиматических условиях Имеретинского региона и прогноз урожая
/М.Меладзе, Г.Меладзе, Т.Кобахидзе/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.46-53. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Культура картофеля отличается хорошей приспособленностью к агроклиматическим условиям, что обеспечивает хорошую возможность получения ранней и поздней продукции. Район исследования - село Аджамети (104 м над уровнем моря) входит в I зону агроклиматических зон Имерети, которая расположена на высоте 20-300 м над уровнем моря, где сумма активных температур составляет $\geq 4000^{\circ}\text{C}$, а сумма атмосферных осадков за теплый период составляет 600-1000 мм. Разработано уравнение регрессии для практического использования прогноза обеспечения тепло в вегетационный период. Приведены обеспечения атмосферных осадков на 10 и 90%. В данных агроклиматических условиях семенной материал картофеля получен методом апикальной меристемы растений, при котором исключены риск и опасность заражения. Стерильная культура позволяет производить большие объемы генетически однородного посадочного материала. Составлено уравнение регрессии для прогнозируемой урожайности картофеля.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-54-63

UDC: 551.506.3

General Statistical Analysis of Long-Term Changes in the Number of Days with Hail in the Background of Climate Change in Eastern Georgia

Mikheil Pipia **, Nazibrola Beglarashvili ***, Tsitsino Diasamidze *, Nino Jamrishvili **

*Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University

**Mikheil Nodia Institute of Geophysics of Ivane Javakhishvili State University

***Samtskhe-Javakheti State University

m.pipia@gtu.ge

Abstract. Modern climate changes can affect the microphysical and electrical properties of clouds, such as the conditions that cause intense hail and lightning. At the same time, the effect of the impact largely depends on the physical-geographical conditions and the ecological situation. It should be noted that global warming that has occurred in recent decades has a significant impact on the dynamics of hail processes.

For the statistical analysis of the number of hail days against the background of modern climate change, the average number of hail days at the stations according to decades was used, which allows to weaken short-term fluctuations and reveal long-term changes. In order to determine the dynamics of hail days in Eastern Georgia, the observation data of some meteorological stations from 1961-2000 and 2014-2020 were analyzed.

In total, the data of 17 meteorological stations of Eastern Georgia about hail for the period of 1961-2020 have been processed.

Key words: *Climate; Hail; Natural hazards*

Introduction. It is established that in the last decades, against the background of global climate change, there is a noticeable increase in the frequency and intensity of natural hydrometeorological events.

Hail is precipitation of particles of ice (hailstones). These can be either transparent, or partially or completely opaque. They are usually spheroidal, conical or irregular in shape, and generally 5-50 mm in diameter. The particles may fall from a cloud either separately or agglomerated in irregular lumps. They are generally observed during heavy thunderstorms. Hailstones are particles of ice which can be either transparent, or partly or completely opaque. They are usually spheroidal, conical or irregular in form [1].



Fig. 1 Hailstones [1].

Consists of a nucleus surrounded by alternating layers of opaque and transparent ice. There are usually not more than five layers, except in very large hailstones, which have been found to have 20 or more layers. Some other hailstones do not have any layers, and consist of transparent or opaque ice only.

Hailstones typically have a density between 0.85 g/cm³ and 0.92 g/cm³, but may have a lower density if they have large cavities filled with air. Some hailstones are partly composed of spongy ice, which is a mixture of ice, water and air [1].

Area under study. In terms of hail damage, Eastern Georgia is the most hail-prone part in the country. Therefore, as before in recent years many works are devoted to the problem of hail in our country, among them in eastern Georgia, covering a wide range of studies - from hail climatology [2-5].

Eastern Georgian relief may be characterized by three sharply expressed orographic elements: in north Caucasus, in south – Georgian south uplands and lowland located between those two risings or intermountain depression. It is geographically defined by the watershed of the Mtkvari and Rioni bassins (disposing to the Black or the Caspian Sea) [6].



Fig. 2. Eastern Georgia (Georgia) [6].

These conditions determine the climate of Eastern Georgia and the diversity of its characteristics, which determines the number and quality of natural disasters in the country.

Eastern Georgia includes the following regions: Shida Kartli, Kvemo Kartli, Kakheti, Samtskhe-Javakheti, Mtskheta-Mtianeti, Tbilisi administrative unit.

Materials and Methods. The detection of hail in Eastern Georgia was based on the exiting materials of many years of field studies, the databases of the National Environment Agency and Georgian Technical University/Institute of Hydrometeorology, information and publications published literary sources.

The research is carried out using the methods of mathematical statistics and probability theory widely used in climatology.

Results. Based on the data processing (National Environment Agency), we selected those stations that had perfect data from the weather stations in Eastern Georgia. 17 such meteorological stations were found in Eastern Georgia. The research years include 1961-2020. We processed the data according to decades (6 decades in total). In each decade, the average number of hail days for each station is given (Table 1).

Table 1. The dynamics of changes in the number of days with hail according to the regions of Eastern Georgia (1961-2020)

Region	Observation area	Years of observation					
		I	II	III	IV	V	VI
		1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
		Number of hail days (April-October)					
Shida Kartli	Khashuri	1	0,4	1	-	0,9	1,9
	Gori	2,6	1,3	1,2	-	1,8	1,2
Kvemo Kartli	Tsalka	3,3	3,9	2,7	1,5	1,7	2,0
	Bolnisi	1,9	0,8	0,8	1,8	1,1	2,0
	Gardabani	1,8	0,7	0,9	0,6	0,5	0,1
Samtskhe-Javakheti	Akhaltsikhe	3,3	1	0,5	-	2,8	3,8
	Faravani	8,4	6,4	3,1	-	0,3	0,1
Mtskheta-Mtianeti	Stefantsminda	0,8	1,1	0,4	-	1	0,1
	Fasanauri	2,7	1,4	1,8	-	0,3	1,0
	Tianeti	4,3	2,2	2,2	1,5	2,0	2,0

Tbilisi administrative unit	Kojori	2,3	2,1	1,6	1,0	0,6	0,1
	Tbilisi	0,8	1,3	1,0	2,0	1,5	1,0
Kakheti	Telavi	2,7	1,2	1,2	-	0,6	2,0
	Sagarejo	3,0	1,3	1,6	-	0,1	1,0
	Lagodekhi	1,6	0,9	0,4	-	2,4	0,9
	Kvareli	2,4	1,1	1,3	-	0,3	0,1
	Dedoplistskaro	1,7	1,2	1,1	0,9	0,4	0,4

As shown in Table 1, the data for the 4th decade is not complete. The reason for this is the current situation in the country for this period. Since the 90s of the last century, due to the difficult economic and political situation in Georgia, the hydrometeorological observation network has been significantly reduced.

As a result of processing the obtained data, we created graphic diagrams for the average number of days with hail according to the decades of 1961-2020, for 17 observation points in Eastern Georgia. The graphs presented in Figures 3-19.

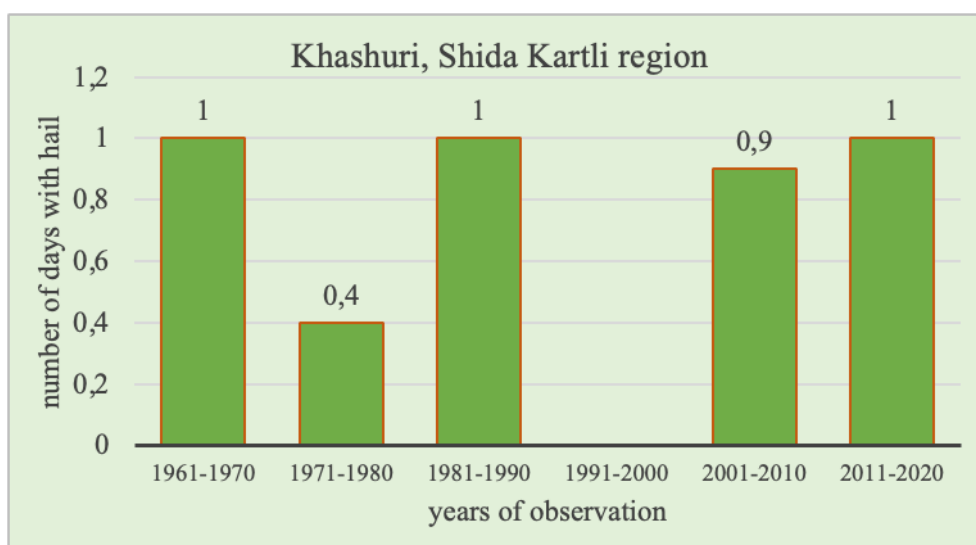


Fig. 3. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Kahashuri, Shida Kartli region.

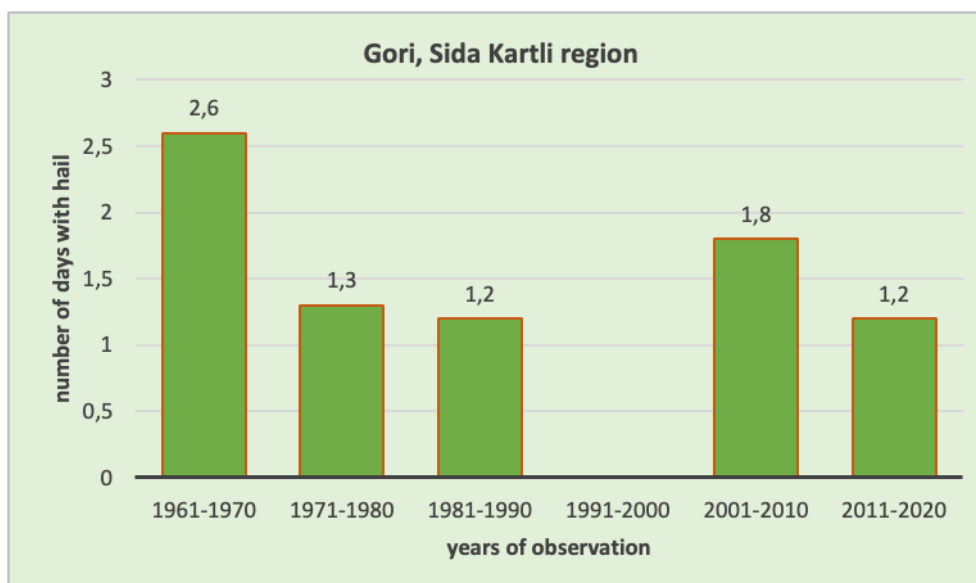


Fig. 4. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Gori, Shida Kartli region.

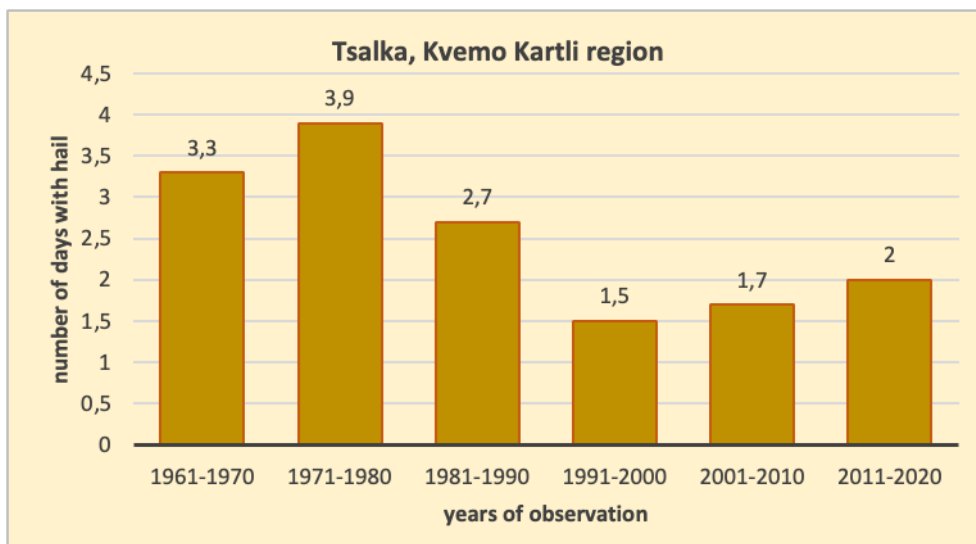


Fig. 5. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Tsalka, Kvemo Kartli region

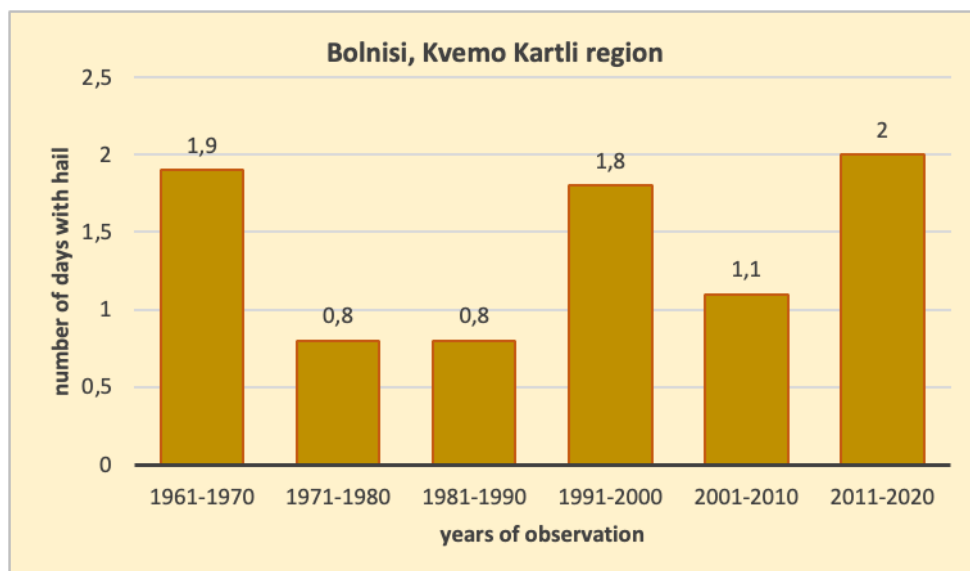


Fig. 6. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Bolnisi, Kvemo Kartli region.

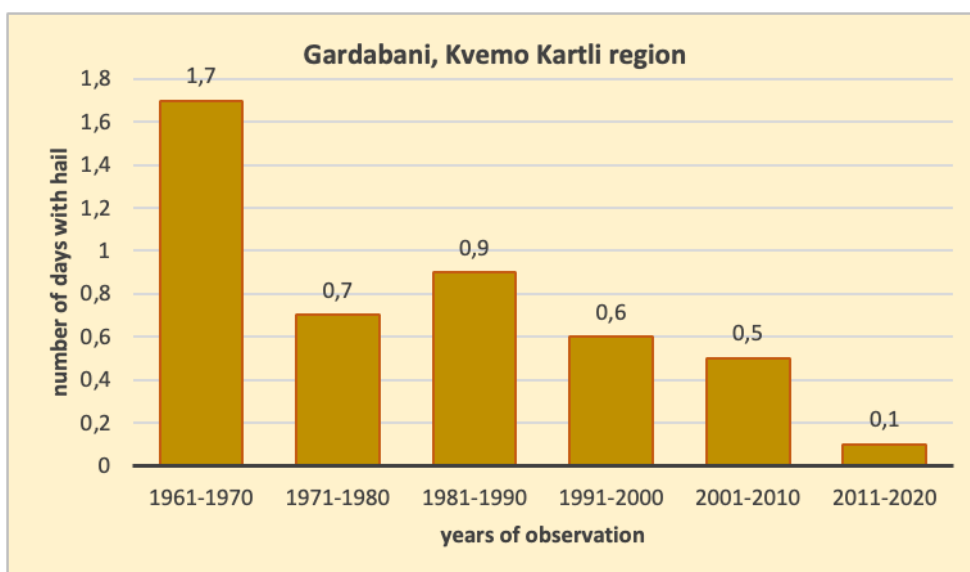


Fig. 7. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Gardabani, Kvemo Kartli region.

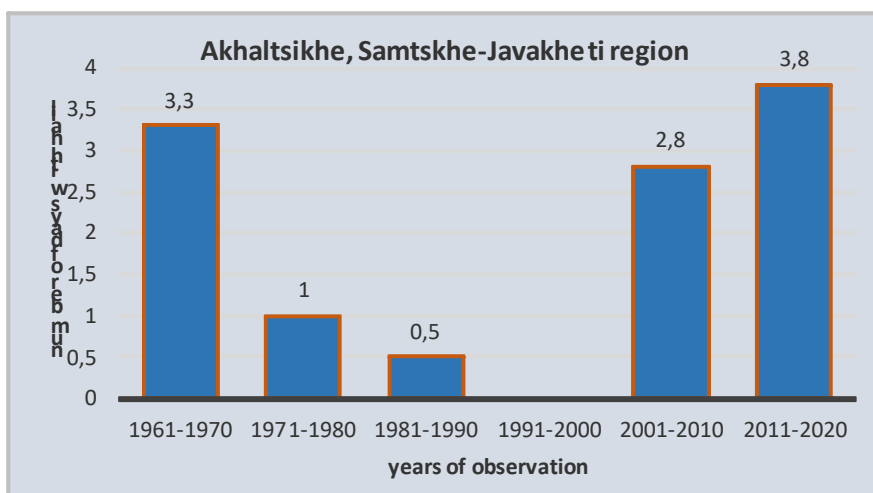


Fig. 8. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Akhaltsikhe, Samtskhe-Javakheti region.

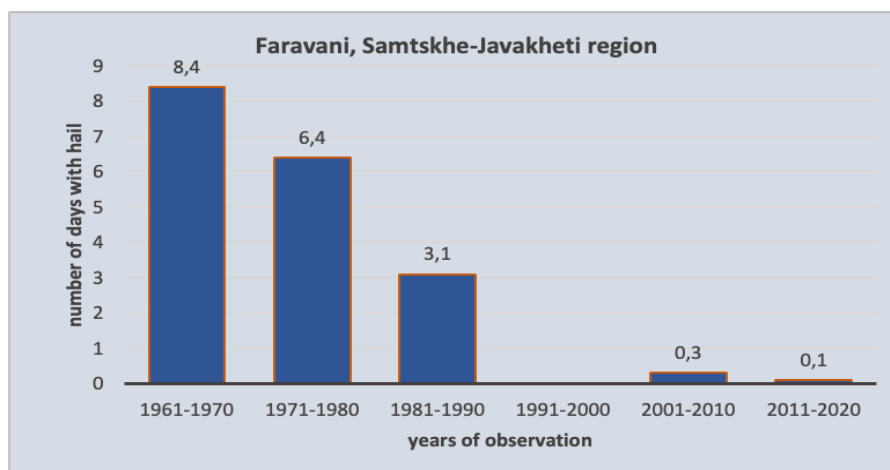


Fig. 9. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Faravani, Samtskhe-Javakheti region.

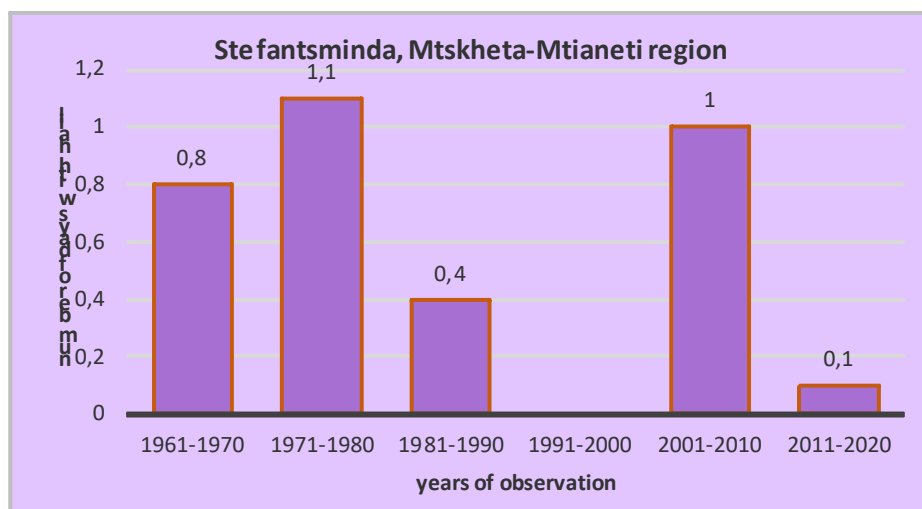


Fig. 10. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Stefantsminda, Mtskheta-Mtianeti region.

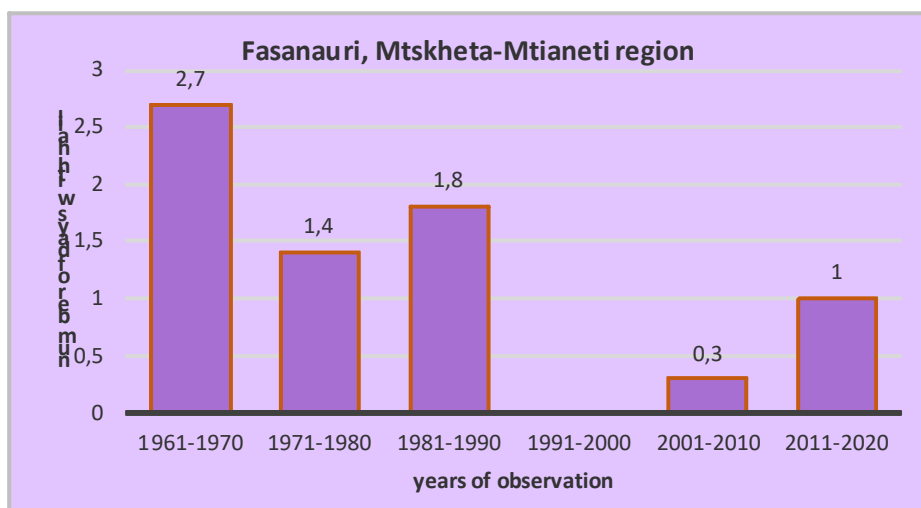


Fig. 11. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Fasanauri, Mtskheta-Mtianeti region.

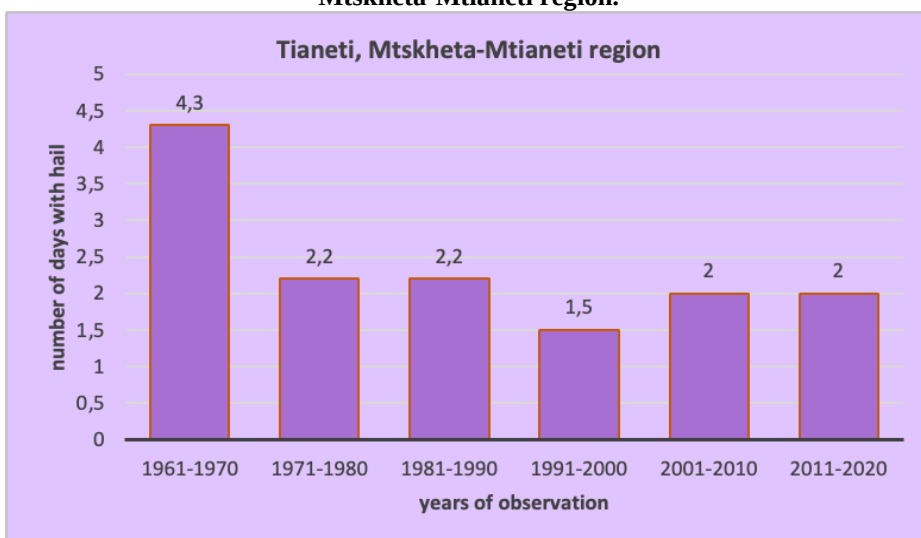


Fig. 12. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Tianeti, Mtskheta-Mtianeti region.

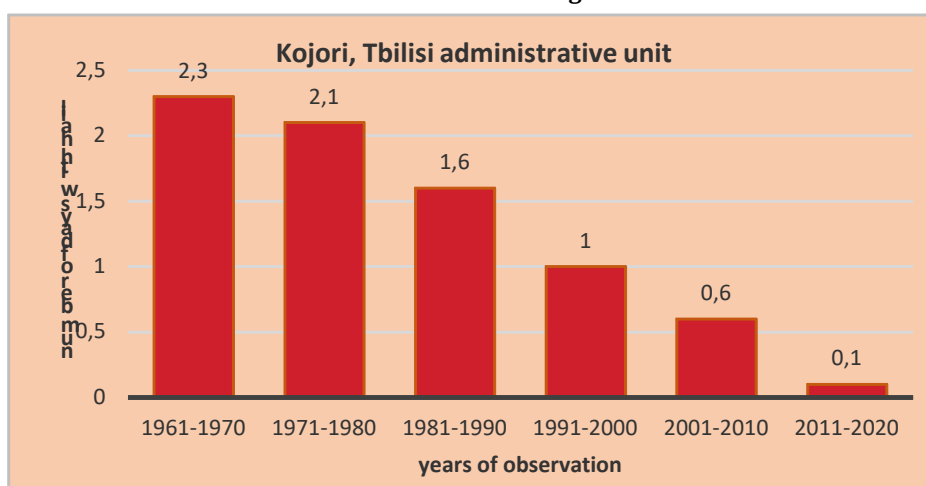


Fig. 13. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Kojori, Tbilisi administrative unit.

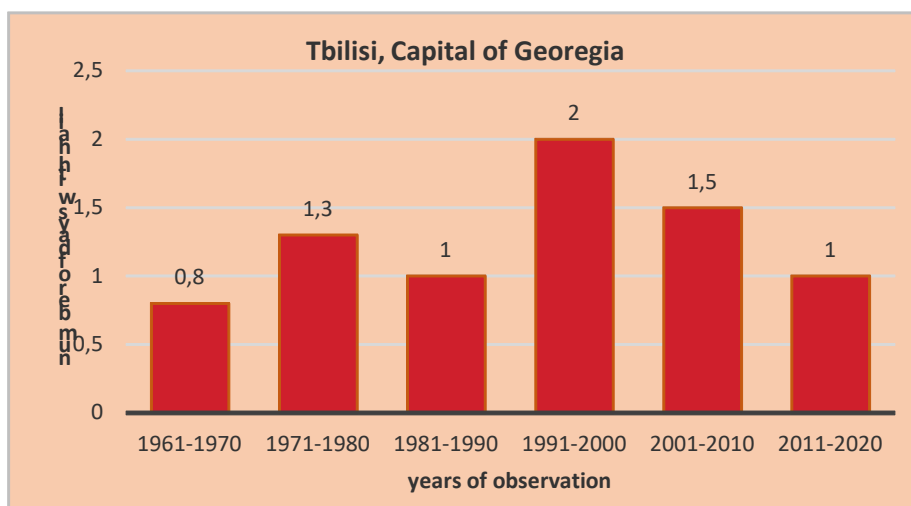


Fig. 14. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Tbilisi, capital of Georgia.

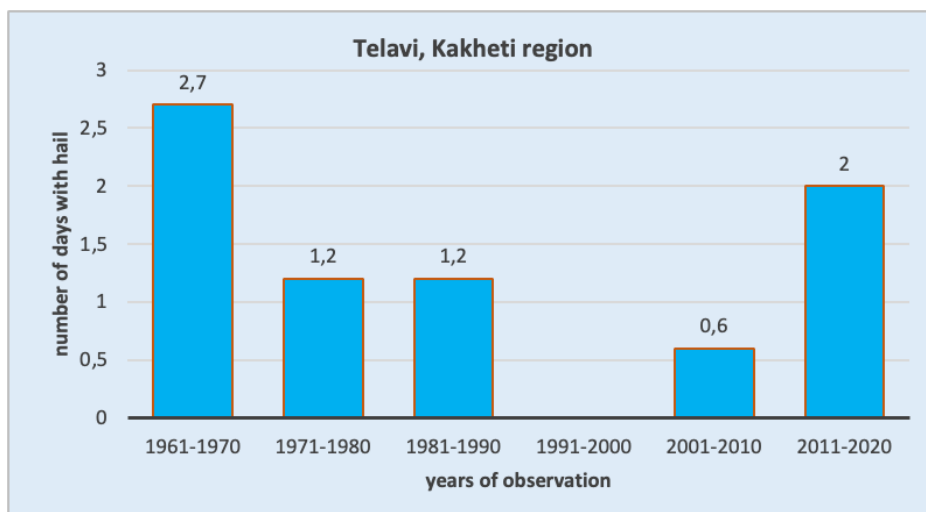


Fig. 15. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Telavi, Kakheti region.

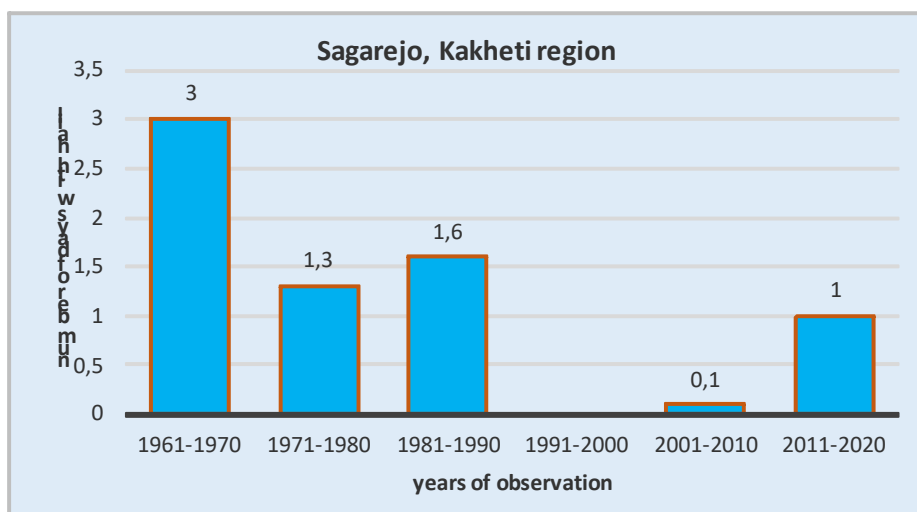


Fig. 16. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Sagarejo, Kakheti region

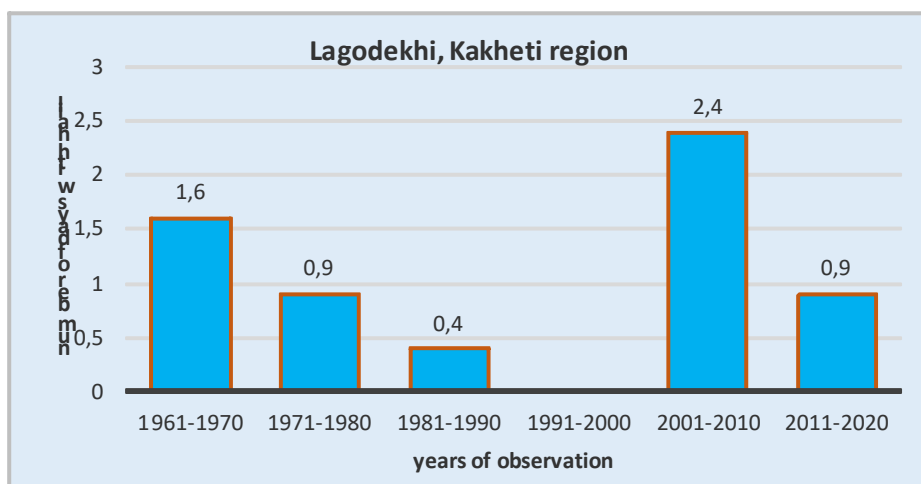


Fig. 17. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Lagodekhi, Kakheti region.

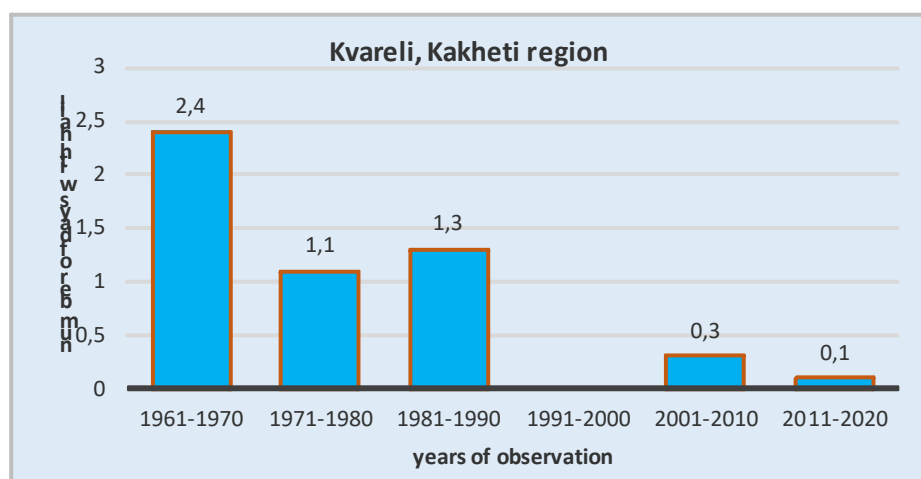


Fig. 18. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Kvareli, Kakheti region.

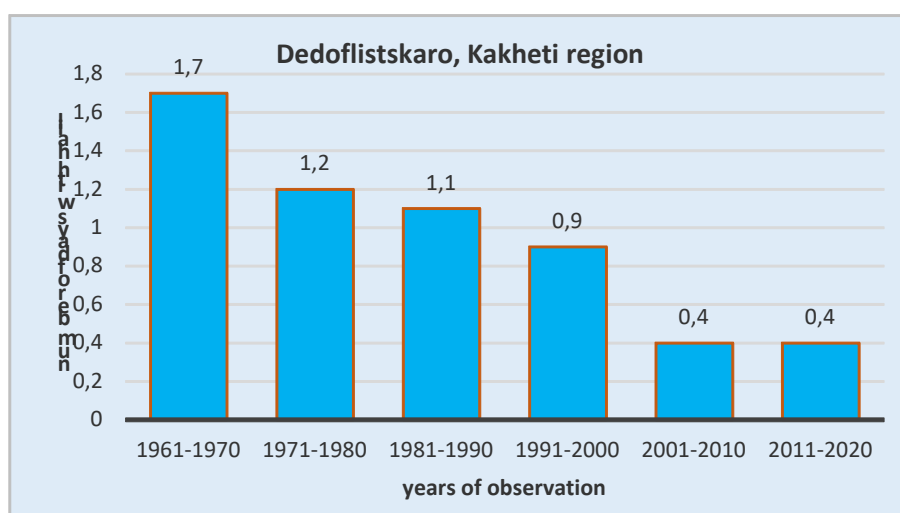


Fig. 19. Average number for hail according to the decades of 1961-2020, Dedoplistskaro, Kakheti region.

Discussion. The data obtained after the processing of the material showed that there is a significant decreasing trend at the observation points of Shida Kartli region in the second decade. In the Kvemo Kartli region, based on the data of Bolnisi and Tsalki weather stations, there is a tendency to decrease at the beginning of the research period, and to increase in the last two decades. And, the analysis of Gardabani data shows that the number of hail days in the research period is characterized by a decreasing trend. According to the data of Akhaltsikhe of the Samtskhe-Javakheti region, the highest data from the 6 decades of the study is recorded in the last decade. And according to the data of Faravni weather station, there is a decreasing trend throughout the research period. Based on the data of Mtskheth-Mtianeti weather stations, there is no significant decrease or increase in the number of hail days in the region (for example, Tianeti). Tbilisi administrative unit - Kojori is characterized by a consistent decreasing trend throughout the entire research period. And the capital, according to the average number of days with hail, is characterized by inconsistent data in the first three decades, and in the last three decades it has a significant decreasing trend. Kakheti is the most interesting region among the research regions. Kakheti is one of the hail-dangerous regions of Georgia [7-11]. In 1967-1989 here was conducted the production work on the protection from the hail [12-13]. In the post-Soviet period, the operation of this service was stopped, which were renewed in 2015 [14-15]. Based on the data of all five meteorological stations in the Kakheti region, the number of hail days in the first two decades is characterized by a significant decreasing trend, and it is logical that this decrease is related to the work of the anti-hail service. In the 1990s, the data are unstable and incomplete (as in the whole of Georgia). And as for the last two decades, the trend of the number of days with hail is decreasing and in some cases it is characterized by changing dynamics.

Conclusions. Based on the data processing as a result of conducted researches works, against the backdrop of modern climate change, the indicators of the number of days with hail in Eastern Georgia show a changing trend, which is mainly expressed as a decrease in the number of days with hail. An increase in the number of days with hail is observed only in two municipalities (Bolnisi municipality in the Kvemo Kartli region, Akhaltsikhe municipality in the Samtskhe-Javakheti region).

Acknowledgement

This work was supported by Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia (SRNSFG), Grant number - FR-22-2882.

Note: The report on the mentioned study entitled “Impact of modern climate change on hail processes in Eastern Georgia” was made at an international scientific conference held in 2024 in Istanbul (Turkey). - International Conference On Natural Science And Environment (ICONSE-24)

ლიტერატურა - References – Литература

- [1]. Hail. World meteorological organization (Section 3.2.1.2.9). <https://cloudatlas.wmo.int/en/hail.html>
- [2]. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. //Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>
- [3]. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Jamrshvili N.K., Khurodze T.V., Pipia M.G., Tavidashvili Kh. Z. Comparative Analysis of the Distribution of Number of Days with Hail Per Annum on the Territory of Kakheti According to the Data of the Meteorological Stations and State Insurance Service of Georgia. // Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue A. Physics of Solid Earth, v.20A, 2017, Tbilisi, pp.44 -56.
- [4]. Janelidze I., Pipia M. Hail Storms in Georgia in 2016-2018. // Int. Sc. Conf. “Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation”. Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, December 12-14, Tbilisi, 2019, pp. 144 -146.
- [5]. 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. International Conference of Young Scientists "Modern Problems of Earth Sciences" Proceedings, ISBN 978-9941-36-044-2, Tbilisi, Georgia, November 21-22, 2022. pp. 164-168.
- [6]. Wikimedia commons. Eastern Georgia https://commons.m.wikimedia.org/wiki/File:Eastern_Georgia.svg
- [7]. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kveselava N., Sauri I. „SOME RESULTS OF ANTI-HAIL WORKS IN KAKHETI INTO 2016-2019“. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“ Proceedings, ISSN 1512-1976. Vol. 7, 26-28 September, 2020. pp. 153-156.

- [8]. 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, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056,
- [9]. Amiranashvili A., Varazanashvili O., Pipia M., Tsereteli N., Elizbarashvili M., Elizbarashvili E. "Some Data About Hail Damages in Eastern Georgia and Economic Losses from Them". Reports, presented on the Scientific Conference "80 years of M. Nodia Institute of Geophysics". Tbilisi, 2014, pp. 145-150.
- [10]. Abshaev A.M., Abshaev M.T., Barekova M.V., Malkarova A.M. "Rukovodstvo po organizacii i provedeniu protivogradovih rabot". Nalchik, Pechatni dvor, ISBN 978-5-905770-54-8, 2014/
- [11]. Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Sauri I., Chikhladze V. "Some Characteristics of Hail Processes in Kakheti". Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 65, 2015, pp. 77 – 100.
- [12]. Amiranashvili A.G. "History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia". 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, pp. 234-254.
- [13]. Amiranashvili A., Bakhsoiliani B., Begalishvili N., Beritashvili B., Rekhviashvili R., Tsintsadze T., Chitanava R. "On the Necessity of Resumption of Atmospheric Processes Modification Activities in Georgia." Trans. of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, ISSN 1512-0902, 2013, vol. 119, pp.144-152.
- [14]. 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, Tbilisi, vol.18B, 2015, pp. 92-106.
- [15]. 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 Anti-Hail Service in Kakheti". Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol.66,Tb., 2016, pp.14-27.

უკ:551.506.3

სეტყვიან დღეთა რიცხვის მრავალწლიური ცვლილების ზოგადი სტატისტიკური ანალიზი კლიმატის ცვლილების ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოში / მიხეილ ფიფია, ნაზიბროლა ბეგლარაშვილი, ციცი ნოდიასამიძე, ნინო ჯამრიშვილი/ სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2025.-ტ.136.-გვ. 54-63. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

თანამედროვე კლიმატის ცვლილებამ შეიძლება გავლენა მოახდინოს ღრუბლების მიკროფიზიკურ და ელექტრულ თვისებებზე, როგორცაა ძლიერი სეტყვა და ელვის გამომწვევი პირობები. ამასთან, ზემოქმედების ეფექტი დიდწილად დამოკიდებულია ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებზე და ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე. აღსანიშნავია, რომ ბოლო ათწლეულების განმავლობაში მომხდარი გლობალური დათბობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სეტყვის პროცესების დინამიკაზე.

თანამედროვე კლიმატის ცვლილების ფონზე სეტყვის დღეების რაოდენობის სტატისტიკური ანალიზისთვის გამოყენებული იქნა სადგურებში სეტყვის დღეების საშუალო რაოდენობა ათწლეულების მიხედვით, რაც საშუალებას იძლევა შეასუსტოს მოკლევადიანი რყევები და გამოავლინოს გრძელვადიანი ცვლილებები. აღმოსავლეთ საქართველოში სეტყვის დღეების დინამიკის დასადგენად გაანალიზდა ზოგიერთი მეტეოროლოგიური სადგურის 1961-2000 და 2014-2020 წლების დაკვირვების მონაცემები.

ჯამში დამუშავებულია აღმოსავლეთ საქართველოს 17 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემები სეტყვის შესახებ 1961-2020 წლების პერიოდისთვის.

УДК: 551.506.3

Общий статистический анализ многолетних изменений числа дней с градом на фоне изменения климата в Восточной Грузии / Михаил Пипия, Назиброла Бегларашвили, Цицино Диасамидзе, Нино Джамришвили/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 54-63. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Современные изменения климата могут влиять на микрофизические и электрические свойства облаков, например, на условия, вызывающие интенсивный град и молнии. При этом эффект воздействия во многом зависит от физико-географических условий и экологической обстановки. Следует отметить, что глобальное потепление, произошедшее в последние десятилетия, оказывает существенное влияние на динамику градовых процессов.

Для статистического анализа количества градовых дней на фоне современных изменений климата использовалось среднее количество градовых дней на станциях по десятилетиям, что позволяет ослабить краткосрочные колебания и выявить долгосрочные изменения. Для определения динамики градовых дней в Восточной Грузии были проанализированы данные наблюдений некоторых метеорологических станций за 1961-2000 и 2014-2020 годы.

Всего обработаны данные 17 метеорологических станций Восточной Грузии о граде за период 1961-2020 годы.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-64-68

უდკ: 551.583

შუმანის რეზონანსი და კატასტროფული მოვლენები დედამიწაზე

ირინე მკურნალიძე, ნაილი კაპანაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

i.mkurnalidze@gmail.com

რეზიუმე. ნაშრომში წარმოდგენილია უნიკალური ფენომენის კვლევის მიმოხილვა, რომელსაც მისი აღმოჩენის, შუმანის რეზონანსის სახელი ჰქვია. მოცემულია თავად ფენომენის აღწერა, მისი ფიზიკური და მათემატიკური საფუძვლები. წარმოდგენილია ამ ფენომენის მრავალი მიმართულებით გამოყენების პერსპექტივები. მოყვანილია კონკრეტული მაგალითები, შუმანის ტალღების გამოყენების შესახებ სხვადასხვა კატასტროფული ფენომენის გამოკვლევისას, როგორცაა ელჩქეი, ვულკანები, მიწისძვრები, გლობალური კლიმატის ცვლილება და ა.შ. ასევე აღმოჩენილია შუმანის ვიბრაციების გავლენა ცოცხალ ორგანიზმებზე, თავად ადამიანზე და საერთოდ, საზოგადოებაზე.

საკვანძო სიტყვები: შუმანის რეზონანსი, ტალღა, სიხშირე, კატასტროფული მოვლენა

შესავალი. თეორიული კვლევები ე.წ. შუმანის რეზონანსის, როგორც ბუნებრივი გლობალური ელექტრომაგნიტური რეზონანსის შესახებ, გრძელდება ას წელზე მეტი ხნის განმავლობაში.

ბოლო პერიოდში ელექტრომაგნიტური დეტექტირების ტექნოლოგიების განვითარებისა და ციფრული დამუშავების შესაძლებლობების გაუმჯობესებამ თეორიულად და ექსპერიმენტულად აღმოაჩინა ამ ფენომენის ბევრი, მანამდე უცნობი თვისება.

დადასტურდა კავშირი შუმანის რეზონანსსა და ბუნებრივ მოვლენებს შორის, როგორცაა ელჩქეი, მიწისძვრა, ვულკანი და დედამიწის კლიმატი. კვლევები ამ მიმართულებით აქტუალური და პერსპექტიულია. მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში შექმნილია სამეცნიერო ცენტრები შუმანის რეზონანსის შესასწავლად. საინტერესოა, რას წარმოადგენს ეს უნიკალური მოვლენა.

ძირითადი ნაწილი. „დედამიწა-იონოსფეროს“ ღრუ შედგება დიდი გამტარობის მქონე დედამიწის ზედაპირიდან გამტარ, მაგრამ დისიპაციურ იონოსფეროდან იზოლირებად ჰაერის ფენისაგან. ამ ღრუში წარმოიქმნება კვაზიელექტრომაგნიტური მდგარი ტალღები, რომელთა სიხშირეები შეედრება პლანეტათაშორის ტალღებს [1,2]. ატმოსფეროს დაბალ ფენებში გამტარობა დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორებზე: კოსმოსურ სხივებზე და ელემენტარული ნაწილაკების ურთიერთობაზე. საერთოდ გამტარობა იცვლება ექსპონენციალური კანონით სიმაღლის მიმართ და მისი კუთრი მნიშვნელობა დამოკიდებულია [3] ადგილობრივ დროზე და სიმაღლეზე. ანუ ატმოსფეროს დაბალი ფენებისათვის მთავარ ფაქტორს წარმოადგენს ელექტრონების ურთიერთქმედება, იონოსფეროში კი მთავარ ფაქტორს წარმოადგენს თბოგამტარობა [6]. ზოგი ძლიერი ელექტროპროცესები, ისეთი როგორც ელჩქეური განმუხტვა და ელექტრომაგნიტური გამოსხივება, აღწევს დედამიწა-იონოსფეროს ღრუს. გამოითქვა ჰიპოთეზა დედამიწის ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური რეზონანსის არსებობაზე. 1952 წელს ოტო შუმანმა გამოიყვანა „დედამიწის-იონოსფეროს“ ღრუს დამახასიათებელი სიხშირეები და აჩვენა, რომ შუმანის რეზონანსი ვრცელდება ვიწრო დიელექტრიკულ დედამიწის და იონოსფეროს საზღვრებში და ეს საზღვრები ბევრად ნაკლებია დედამიწის რადიუსზე. ზოგადად, შუმანის თეორია შედგება სამი ნაწილისგან:

1. ელექტრომაგნიტური ტალღების გავრცელების სფერო;
2. სისტემა „დედამიწა-ჰაერი-იონოსფერო“ როგორც ტალღამტარი;
3. ელჩქეური განმუხტვა როგორც რეზონანსის აღგზნების წყარო.

მოვლენას მიენიჭა შუმანის სახელი. ზოგადად, შუმანის რეზონანსი შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ: ელექტრომაგნიტური ტალღა, რომელიც წარმოიქმნა ელჩქეური განმუხტვის შედეგად, ვრცელდება თანაბრად ყველა მიმართულებით დედამიწის სფეროში. მოპირდაპირე წერტილში, ერთი და იგივე მანძილის გავლისას ყველა მხრიდან, ხვდება თავის მსგავს ტალღას და აგრძელებს მოძრაობას აღნიშნულ ტალღაზე გადავლით. ამრიგად, საპირისპირო წერტილში ხდება ტალღის რევერსი მისი თავდაპირველი გზის მიმართ. ეს ჰგავს არეკვლას უსასრულოდ ამრეკვლად სარკიდან (არსებობს აზრი, რომ ეს სარკე დედამიწის ცენტრია). პირველ ტალღას უწოდებენ პირდაპირს, მეორეს კი შებრუნებულს. თუ წყარო აგრძელებს ელექტრომაგნიტური რხევების გამოსხივებას, ტალღა სრული ბრუნვის შესრულებისათვის

წარმოქმნის ისეთ სიტუაციას, როცა ნებისმიერ წერტილში დედამიწის და იონოსფეროს შორის ჩნდება ორი კოჰერენტული ტალღა. ისინი მოძრაობენ საპირისპირო მიმართულებით იმ რკალის გასწვრივ, რომელიც აერთიანებს წყაროს გეოგრაფიულ ანტიპოდთან. თუ მათი ბრუნვების რიცხვი მთელია, დედამიწა-იონოსფეროს შორის წარმოიქმნება მდგარი ტალღა, რომელმაც შეიძლება დიდხანს იარსებოს.

ტალღა ვრცელდება სინათლის სიჩქარით $c=300000\text{კმ/წმ}$ და დედამიწის რადიუსი $L=40000\text{კმ}$, ვიღებთ რხევების სიხშირეებს:

$$f_n = \frac{cn}{L} \approx 7.5n \text{ (ჰც)}$$

პირველი ჰარმონიკისთვის ფორმულა იძლევა სიხშირეების ასეთ მიმდევრობას:

$$7,5 - 15,0 - 22,5 - 30,5 - 37,5 \text{ (ჰც)}$$

შუამანმა თავის ნაშრომში გააანალიზა რხევები, რომელიც ჩნდება სფერულ რეზონატორში (დედამიწა-იონოსფერო). ამ დროს ითვალისწინებდა, რომ დედამიწის ზედაპირს გააჩნია მუდმივი გამტარობა დაახლოებით $\sigma=10^{-3}\text{სიმ/მ}$, იონოსფეროს გამტარობა კი 70-90 კმ სიმაღლეზე იცვლება $\sigma=10^{-5}-10^{-3}\text{სიმ/მ}$. ამის გამო ელექტრომაგნიტური ტალღის საშუალო სიჩქარე $V(\sigma)$ დაახლოებით 20%-ით ნაკლებია, ვიდრე მუდმივ მყოფ გამტარობის სფეროსგან არეკვლისას.

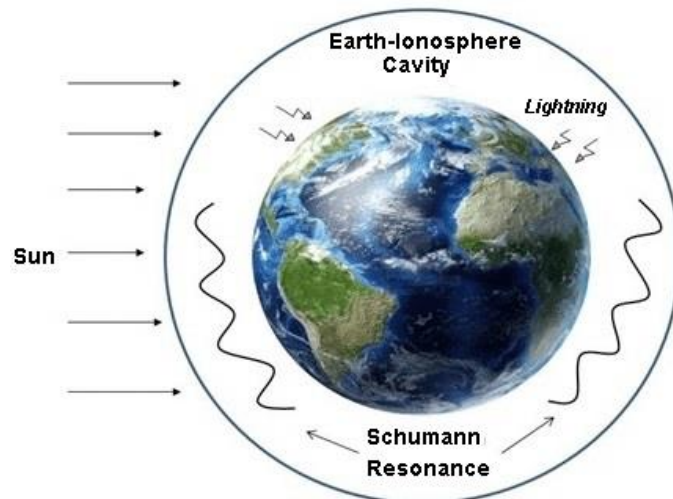
შუამანმა n-ჰარმონიკის სიხშირისათვის მიიღო:

$$f_n = \frac{V(\sigma)}{L} \sqrt{n(n+1)} + 6.0 \sqrt{n(n+1)} \text{ (ჰც)}$$

რაც პირველი ხუთი ჰარმონიკისათვის იძლევა:

$$8,5 - 14,7 - 20,8 - 26,8 - 32,9 \text{ (ჰც)}$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, „დედამიწა-იონოსფერო“ ღრუში ელექტრომაგნიტური ტალღების წყაროა ელჭექური განმუხტვები, რომლებიც გამოსხივებს ენერგიას, რომლის სიხშირე 100 კჰც არ აღემატება. ჩნდება დიდი დიაპაზონის სიხშირეების რხევები. ამით აიხსნება ზედაბალ სიხშირიანი მდგარი რხევების არსებობა, რომლებიც ფაქტიურად არ ქრებიან და გააჩნიათ მუდმივი სიხშირე [4].



ნახ.1. შუამანის რეზონანსი. ზედაბალი ელექტრომაგნიტური რხევები, რომლებიც წარმოიქმნებიან რეზონანსურ ღრუში დედამიწის ზედაპირსა და იონოსფეროს შორის.

გლობალური ელექტრომაგნიტური შუამანის რეზონანსი შესაძლოა გამოყენებულ იქნას კატასტროფული მოვლენების დისტანციური ზონდირებისათვის, რადგანაც ცალსახად განსაზღვრავს ელჭექური ზონის კომპაქტურ ადგილმდგომარეობას. მეცნიერების მოსაზრებით, ასეთი ზონების გაჩენა შეიძლება მიგვითითებდეს კატასტროფულ მოვლენაზე. მეცნიერების ჯგუფმა [5] გამოიკვლია, თუ როგორ შეიძლება

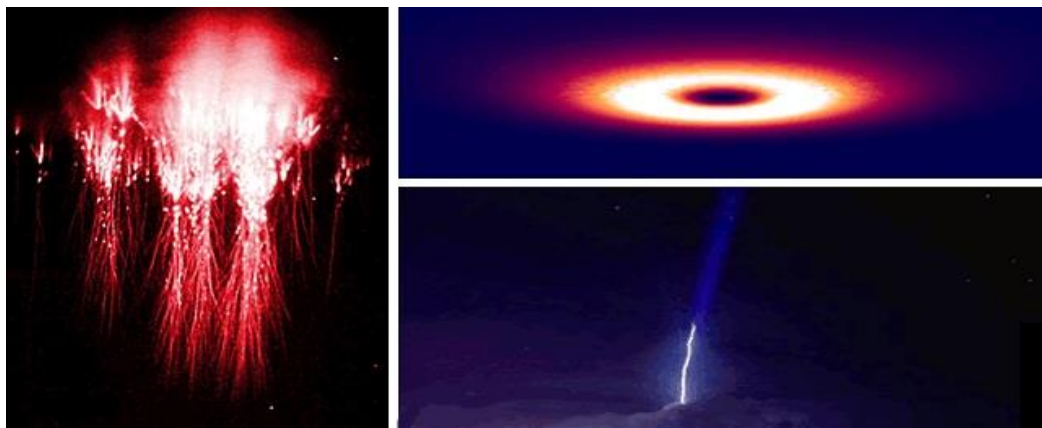
შუმანის რეზონანსის გამოყენება ვულკანის წარმოშობის დისტანციური მონიტორინგისათვის. შესწავლილ იქნა პოლინეზიაში ვულკანი ტონგო, რომლის ამოფრქვევა მოხდა 2022 წ. ამოფრქვევის დროს გაჩნდა უძლიერესი ელქეჩი (2600 ელვა წუთში). ვექტორ პოტენგის გამოყენებით გაანალიზეს შუმანის რეზონანსის ზოლში ელექტრომაგნიტური გამოსხივება. აღმოჩნდა, რომ ტალღა რომელიც დაფიქსირდა ვულკანის ამოფრქვევის ძირითადი ფაზის დროს, მოდიოდა კომპაქტური არიდან, სადაც ყველაზე მეტად ურტყამდა ელვები.



ნახ.2. ტონგოში მომხდარი ვულკანის ამოფრქვევა. 2022 წ.

ცნობილია, რომ ელქეჩი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. რაც მეტია ტემპერატურა დედამიწის ზედაპირზე, მით უფრო ძლიერია კონვექცია და შესაბამისად ღრუბლების ელექტრიზაცია. შედეგად იზრდება ელექტრომაგნიტური რეზონანსის გამოსხივების ენერგია. პრაქტიკულად გლობალური შუმანის რეზონანსის ფიქსირებული პარამეტრები გავლენას ახდენენ პლანეტის ნებისმიერ მოვლენაზე. [6] მაგალითად, მიწისძვრებზე, რომლებიც ზემოქმედებენ დედამიწის და ქვედა იონოსფეროს შორის მყოფ ატმოსფეროს თხელ ფენაზე. ზუსტად ამ კონტექსტში განიხილავენ ელქექს, ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების წყაროდ.

რეზონანსის გამოყენების კვლევის ერთ-ერთ მიმართულებას წარმოადგენს იონოსფეროს ელქექური ფენომენები: სპაიტები, ჯეტები, ელვები და სხვა, რომლებიც გამოწვეულია ვერტიკალურად ზევით მიმართული ზემოქმედებით.



ნახ.3. სპრაიტი (მარცხნივ), ელფი (მარჯვნივ ზედა) და ჯეტი (მარჯვნივ ქვედა)

ამ მოვლენის ამოხსნის მექანიზმი, შუმანის რეზონანსის თვალსაზრისით, ყველაზე ფორმირებადი და პროდუქტიულია. რეალურ დროში ფიქსირდება ელქექური განმუხტვები, რომლებიც იწვევენ

ზემოხსენებულ ეფექტებს, გამოითვლება მათი ელექტროპარამეტრები – დენები, მუხტის გადატანის სიდიდეები. შემდგომ ეს მონაცემები „მიემბება“ ვიდეორეგისტრაციის მონაცემებს, რომლითაც დგინდება თანაფარდობა ზემოთაღნიშნულ განმუხტვებსა და მათი ინდივიდუალური ფენომენების გაჩენის პირობებსა და მათ პარამეტრებს შორის. აღსანიშნავია, რომ ამ ბოლო დროს დიდ ინტერესს იწვევს ეს საოცარი მოვლენები.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ შუმანის რეზონანსის რხევებს აქვთ განსაზღვრული სიხშირეები – 7,83 ჰც-დან რამოდენიმე ათეულამდე. სიხშირე 7,83 ჰც ითვლება შუმანის რეზონანსის მთავარ სიხშირედ. ამ სიხშირის რხევები მსგავსია იმ სიხშირეების, რომლებიც ახასიათებს ცოცხალ არსებებს [7] და ადამიანსაც. რეზონანსი გავლენას ახდენს ტვინის აქტივობაზე, ნერვული სისტემის მდგომარეობაზე, გულის რითმზე.

ამრიგად, შუმანის რეზონანსი წარმოადგენს დედამიწის რითმს, რომელიც სინქრონიზებულია ცოცხალი არსებების ბიორითმებთან. ამის გარდა, შუმანის რეზონანსს იკვლევენ ადამიანთა საზოგადოების სხვადასხვა პროცესების წინასწარმეტყველებისათვის. მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ ამ სიხშირეების ცვლილება შესაძლოა აღმოჩნდეს როგორც სოციალური აქტივობის, მასობრივი ცნობიერების ცვლილებების ინდიკატორი. მას დაარქვეს „ნოოსფეროს“ პულსი. ეს ხსნის ახალ შესაძლებლობებს კოლექტიური, ბიოლოგიური და ფსიქოლოგიური პროცესების შესასწავლად.

შუმანის ტალღების კვლევები რიგ სიძნელეებთან არის დაკავშირებული, რადგან მათი რეგისტრაციისათვის საჭიროა სპეციალური მაღალმგრძნობიარე აპარატურა და გარემოს მდგომარეობის განსაკუთრებული პირობები. მიმდებარე მახლობლად სულ მცირე მოძრაობამაც კი შეიძლება გარკვეული გავლენა იქონიოს კვლევის შედეგებზე. განსაკუთრებული დაინტერესებაა შუმანის რეზონანსის მიმართ გაიზარდა თანამედროვე ტექნოლოგიების გამოყენასთან ერთად. თანამგზავრმა C/NOFS 2011 წელს დააფიქსირა შუმანის ტალღები 850 კმ სიმაღლეზე. მანამდე ითვლებოდა, რომ ტალღები არ აღემატებოდა 100 კმ სიმაღლეს [4].

დასკვნა. ამ სტატიიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ შუმანის რეზონანსი არის უნიკალური გლობალური ელექტრომაგნიტური მოვლენა, რომელსაც გააჩნია მნიშვნელოვანი კავშირი სხვადასხვა კატასტროფულ მოვლენასთან დედამიწაზე. კვლევებმა აჩვენა, რომ შუმანის ტალღების სიხშირე და ინტენსივობა იცვლება ისეთი მოვლენების დროს, როგორიცაა ელჩქეი, ვულკანის ამოფრქვევები და შესაძლოა, მიწისძვრები და გლობალური კლიმატის ცვლილებებიც კი. ეს ფაქტი იძლევა პერსპექტივას, რომ შუმანის რეზონანსი გამოყენებულ იქნას დისტანციური მონიტორინგისა და ამ მოვლენების შესასწავლად. გარდა ამისა, სტატიაში ხაზგასმულია შუმანის რეზონანსის კავშირი ცოცხალ ორგანიზმებთან, მათ შორის ადამიანთა ბიოლოგიურ და ფსიქოლოგიურ პროცესებზე. მისი სიხშირეები ახლოსაა ადამიანის ტვინის სიხშირეებთან და შესაძლოა გავლენას ახდენდეს ბიოლოგიურ და ფსიქოლოგიურ პროცესებზე.

მიუხედავად იმისა, რომ შუმანის ტალღების შესწავლა გარკვეულ ტექნიკურ სირთულეებთანაა დაკავშირებული, თანამედროვე ტექნოლოგიების განვითარებამ ახალი შესაძლებლობები გახსნა ამ უნიკალური ფენომენის სიღრმისეული კვლევისთვის, როგორც დედამიწის კატასტროფული მოვლენების პროგნოზირებისა და შესწავლის, ასევე ცოცხალ ორგანიზმებზე მისი ზემოქმედების კუთხით. ამ მიმართულებით კვლევები კვლავ აქტუალური და პერსპექტიულია.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Recent Advances and Challenges in Schumann Resonance Observations and Research
Jimlai Liu, Jiaming Huang, Zhang li, Zhengyu Zhao, Zhima Zeren, Xuhui Shen, Qiao Wang. 2023 15(14) 3557
<https://doi.org/10.3390/rs15143557>
2. Nikolenko A.P., Hoyokowo M. Resonances in the Earth–Ionosphere Cavity: Kluwer Academic Publishers: London, Journal of Earthquake Research, vol. 13, No2, May27, 2024
3. Bennett J, Harrison R.G. Surface measurement system for atmospheric vertical conductivity current density with bias current density correction. J. Atmos. Sol-Terr. Phys., 2008, 20, 1373- 1377
4. Wikipedia Resonance Schumann
Nikolenko A.P., Shvets A.V., Goluk Yu, P. Schekotov A.Yu., Hoyokowo M., Mezentssev A. Romero R, De Rosa R, Kudintseva L.G.
5. Power flux in the Schumann resonance band linked to the eruption of Tonga Vockano on jou 15, 2022, Journal of Atmospheric and Solar- Terrestrial Physics, vol. 247, june 2023, 106078
6. Jugone//Schumann Resonance: Facts and fantasies/Cristian Schpegel, Martin Fullekrug, jul. 30, 2016
7. Is The Earths “heartbeat” of 7.83 Hz influencing human behavior.

UDC: 551.583

Schumann resonance and catastrophic events on Earth. /Irine Mkurnalidze , Naili Kapanadze/. Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.64-68. - Georg.,Summ. Georg., Eng. Rus.

The paper presents an introductory review of the research of a unique phenomenon, which is named after its discoverer, the Schumann Resonance. A description of the phenomenon itself, physical and mathematical foundations are given. Prospects for the application of this phenomenon in many areas are presented. Specific examples are given: the use of Schumann waves in probing various catastrophic phenomena, such as thunderstorms, volcanoes, earthquakes, global climate change, etc. The influence of Schumann vibrations on living organisms, man himself and on the entire human society is also discovered.

УДК: 551.583

Резонанс Шумана и катастрофические события на Земле. /Мкурналидзе И.П., Капанадзе Н. И./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.64-68. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В работе представлен ознакомительный обзор исследований уникального явления, которое названо в честь его открывателя, Резонансом Шумана. Дано описание самого явления, физические и математические основы. Представлены перспективы применения этого явления во многих направлениях. Приведены конкретные примеры: использования волн Шумана при зондировании различных катастрофических явлений, таких как грозы, вулканы, землетрясения, глобальное изменение климата и т.д. Так же обнаружено влияние вибраций Шумана на живые организмы, самого человека и на все человеческое общество.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-69-77

უკ. 551.583

გვალვის ტენდენციები აღმოსავლეთ საქართველოში გლობალური დათბობის ფონზე

ნაილი კაპანაძე, მარიკა ტატიშვილი, მაია მელაძე, ირინე მკურნალიძე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
knaili1990@gmail.com; n.kapanadze@gtu.ge

რეზიუმე. მოცემულ სტატიაში გაანალიზებულია გვალვის ტენდენციები აღმოსავლეთ საქართველოში გლობალური დათბობის პირობებში. განხილულია 1957-2024 წლების თბილისის, გორისა და თელავის კლიმატური მონაცემები (ტემპერატურა და ნალექები), რომელთა საშუალო მნიშვნელობების მრავალწლიანი დინამიკისა და შიდა წლიური განაწილების გაანალიზების საფუძველზე შესწავლილი იქნა გვალვების სიხშირის, ხანგრძლივობისა და ინტენსივობის ცვლილება, განხილულია გვალვის ტიპების გავრცელება და ვეგეტაციური პერიოდის გვალვებთან კავშირი. კვლევაში გამოყენებულია სელიანინოვის ჰიდროთერმული კოეფიციენტი (ჰტკ), რომლის საფუძველზე გამოვლინდა გვალვის ინტენსიფიკაციის ტენდენცია ბოლო ათწლეულებში. შედეგები მიუთითებს ტემპერატურის ზრდის აშკარა ტრენდზე და ნალექების არასტაბილურობაზე, რაც გვალვების სიხშირისა და გავრცელების არეალის გაზრდას განაპირობებს. გლობალური დათბობის ფონზე, კვლევაში ყურადღება გამახვილებულია გვალვებთან ბრძოლის სამეცნიერო მეთოდების დანერგვასა და ინტეგრირებული სტრატეგიების აუცილებლობაზე.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, გვალვის ტენდენცია, აქტიური ვეგეტაციის პერიოდი, კლიმატური პარამეტრები.

შესავალი. კლიმატის მიმდინარე ცვლილება გვალვის სტიმულირებისა და ინტენსივობის გაზრდის ერთ-ერთ მძლავრ ფაქტორს წარმოადგენს, როგორც საქართველოში, ისე მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში. მისი ზემოქმედებით იზრდება გვალვის სიხშირე, ინტენსივობა და ხანგრძლივობა, რაც მნიშვნელოვან ეკონომიკურ, სოციალურ და გარემოსდაცვით ზარალს იწვევს. ასე მაგალითად, აფრიკის კონტინენტზე ხშირი გვალვები სერიოზულ საფრთხეს უქმნის სოფლის მეურნეობას და მოსახლეობის სასურსათო უსაფრთხოებას, რაც ხშირად იწვევს შიმშილსა და მიგრაციას. ევროპის ქვეყნებში, ბოლო წლებში გახშირებულმა ძლიერმა გვალვებმა მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენა სოფლის მეურნეობას, ტყეებსა და წყლის რესურსებს. ამერიკის შეერთებულ შტატებში კი გვალვები ხანძრებისა და წყლის დეფიციტის პრობლემებს ქმნის.

საქართველოც, თავისი გეოგრაფიული მდებარეობით, კლიმატური პირობებითა და გარემოზე მაღალი ანთროპოგენური ზეწოლით, ასევე ძლიერ მოწყვლადია გვალვის მიმართ. განსაკუთრებით, აღმოსავლეთ საქართველო, სადაც ბოლო პერიოდში არაერთი გვალვა დაფიქსირდა (მაგ. 1962, 1975, 1992, 1996, 1998, 2000-2001, 2006, 2010 2014 წლებში და ა.შ.), რომელმაც მნიშვნელოვანი ზიანი მიაყენა სოფლის მეურნეობას, შემცირდა მოსავლიანობა, გაუარესდა საძოვრების მდგომარეობა, შეიქმნა წყლის დეფიციტი.

ბოლო ათწლეულების ყველაზე ექსტრემალური მოვლენა, რომელიც უარყოფითად აისახა საქართველოს სოფლის მეურნეობის სექტორზე, დაფიქსირდა 2000 წელს, როდესაც 7 თვის მანძილზე უნალექო პერიოდებს დაერთო მაღალი ტემპერატურული ფონი. ძლიერი სიცხით გამოწვეულ ინტენსიურ აორთქლებას მოჰყვა ნიადაგის გამოშრობა, მდინარის ხარჯის უკიდურესად შემცირება და გრუნტის წყლის დონეების ვარდნა. წყლის დაბალი დონის გამო შემცირდა ჰიდროელექტროსადგურების მწარმოებლურობა, რასაც მოჰყვა ელექტროენერგიის დეფიციტი. ამრიგად, მეტეოროლოგიურ გვალვას დაემატა ჰიდროლოგიური და ეკონომიკური გვალვაც, რომელიც გავრცელდა ჯერ ქვემო ქართლისა (გარდაბანი) და კახეთის რეგიონებში, ხოლო შემდეგ მთელი აღმოსავლეთი საქართველო (მცხეთა-მთიანეთი, ქვემო ქართლი, სამცხე-ჯავახეთი) და ზემო იმერეთი მოიცვა.

საქართველო მძიმე ეკონომიკური კრიზისის წინაშე აღმოჩნდა. გვალვამ საგრძნობლად დააზიანა ქვეყნის საარსებო წყაროები, დააზარალა არამარტო მარცვლეული, არამედ ყველა კულტურა [1]. მოსახლეობამ დაკარგა შემოსავლის მნიშვნელოვანი ნაწილი, გაიზარდა უმუშევრობა, გაღრმავდა სურსათის დეფიციტი. მთელი აღმოსავლეთ საქართველო გამოცხადდა საგანგებო მდგომარეობის ეკოლოგიურ ზონად [2]. სოფლის მეურნეობისა და სურსათის სამინისტროს მონაცემებით 2000 წლის გვალვით მიყენებულმა ზარალმა საქართველოში 350 მილიონი ლარი შეადგინა [3]. ნალექების ნორმალური რეჟიმი მხოლოდ 2002 წელს აღდგა.

აღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ მდგრადი განვითარების უზრუნველსაყოფად განსაკუთრებით დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ბოლო ათწლეულების განმავლობაში საქართველოს გვალვის ტენდენციების ანალიზსა და მისგან გამოწვეული უარყოფითი შედეგების პრევენციული ღონისძიებების შეფასებას, რაც ჩვენი კვლევის ძირითად მიზანს შეადგენს.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. ჩვენი ამოცანის შესასრულებლად ყურადღება ძირითადად აღმოსავლეთ საქართველოს ზოგიერთ რაიონებზე გავამახვილეთ. კვლევებიც შესაბამისად, გარემოს ეროვნული სააგენტოს, საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახურისა [3] და საქართველოს სამეცნიერო-გამოყენებითი კლიმატური ცნობარიდან [4] მიღებული ინფორმაციის (დაკვირვების მონაცემები ნალექებსა და ტემპერატურაზე, სხვადასხვა სტიქიურ მოვლენებზე) საფუძველზე იქნა ჩატარებული, ორი სხვადასხვა, თანაბარ, 34-წლიან დაკვირვების რიგებად დაყოფილი პერიოდების მიხედვით. შევეცადეთ, აღნიშნულ პერიოდებში, გვალვის გამომწვევი ძირითადი ფაქტორების - ნალექების რეჟიმისა და ტემპერატურის რაოდენობრივი მაჩვენებლების ცვლილების საფუძველზე გამოგვევლინა გვალვის ტენდენციები კლიმატის ცვლილების კონტექსტში.

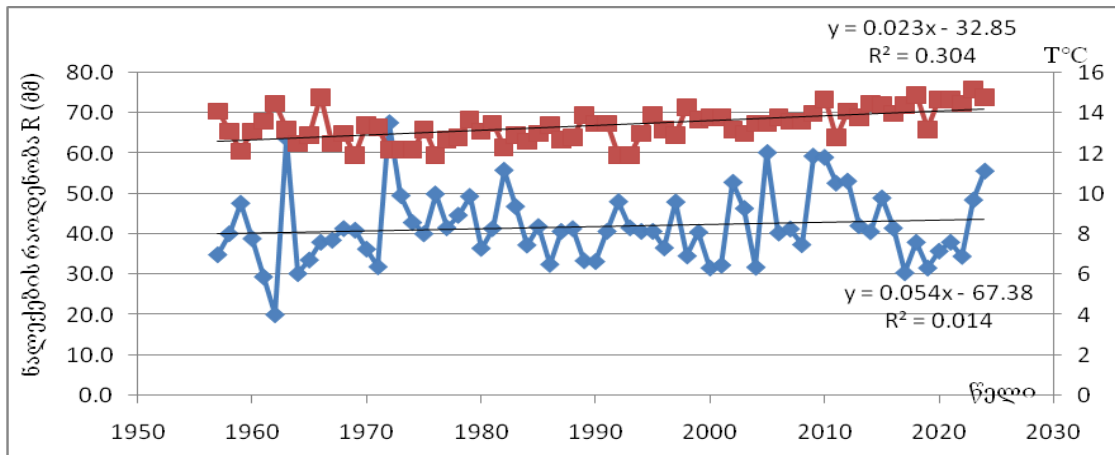
ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. გვალვა არის ნელი, ხანგრძლივი უნალექო პერიოდებით მიმდინარე სტიქიური მოვლენა, რომელიც სერიოზულ გარემოსდაცვით და სოციალურ-ეკონომიკურ გამოწვევას წარმოადგენს და მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს სოფლის მეურნეობაზე, ეკოსისტემებსა და ადამიანთა ცხოვრებაზე.

აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვის დაწყება და ფორმირება დაკავშირებულია პოლარული ჰაერის მასების შემოჭრასთან, ამიერკავკასიის ტერიტორიაზე სტაციონარული აზორის ანტიციკლონის ზემოქმედებასა და სხვა სინოპტიკური პროცესების განვითარებასთან. ანტიციკლონის ცენტრალურ ნაწილში სუსტდება ვერტიკალური აღმავალი დინებები, ჰაერის დაღმავალი მოძრაობა განაპირობებს ღრუბლიანობის შესუსტებას და უნალექო პერიოდების გახანგრძლივებას. მზის რადიაციის ინტენსიური შემოდინების შედეგად იზრდება ჰაერის ტემპერატურა და მზიანი დღეების სიუხვე, რაც იწვევს ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის შემცირებას და ქმნის აორთქლების გაძლიერების პირობებს. შედეგად, მცირდება ნიადაგის ტენიანობა, წყლის ბალანსი ირღვევა და იწყება გვალვა.

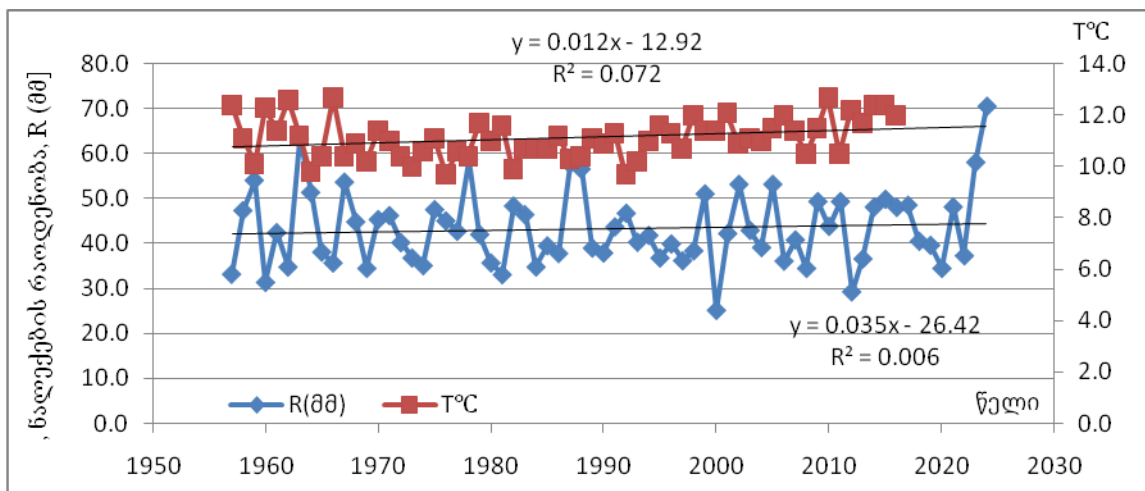
განარჩევენ ოთხი ტიპის გვალვას. ზოგადად, პირველად იწყება მეტეოროლოგიური გვალვა, მას მოჰყვება სასოფლო-სამეურნეო გვალვა, შემდეგ ვლინდება ჰიდროლოგიური გვალვა და სრულდება სოციალურ-ეკონომიკური გვალვით. ამ ოთხ მახასიათებელზე ორიენტირდება კვლევა, როდესაც განიხილება ქვეყნის ტერიტორიაზე არსებული გვალვების ძირითადი ტიპები. კერძოდ, გვალვის ტიპები, მათი შედეგები და ზემოქმედება ეკონომიკურ სექტორებზე აღიწერება ზემოთ აღნიშნული 2000-2001 წლების ყველაზე მძიმე, ხანგრძლივი გვალვის მაგალითზე, რომელმაც უკანასკნელ პერიოდში მოიცვა კავკასია და ცენტრალური აზია და საქართველოში ყველაზე კარგად დოკუმენტირებული გვალვის მოვლენად ითვლება [5].

ისტორიული მონაცემებით საქართველოში გვალვები ძირითადად მეტეოროლოგიური ფაქტორებით, უპირველეს ყოვლისა, ნალექების დეფიციტითა და მაღალი ტემპერატურული მაჩვენებლებითაა გამოწვეული.

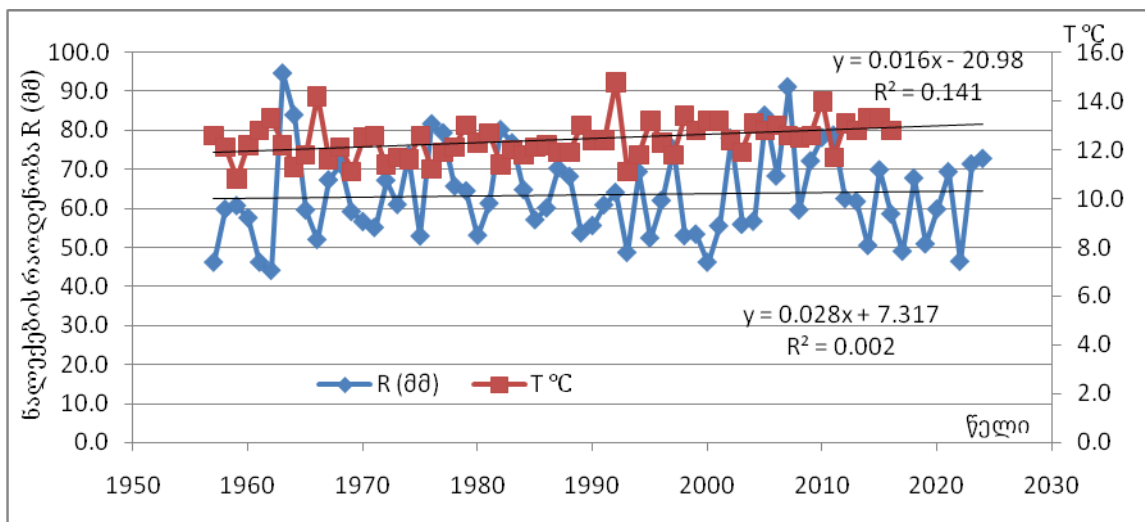
ნახაზებზე 1,2,3, გამოსახულია თბილისის, გორისა და თელავის მეტეოროლოგიური სადგურების დაკვირვების მონაცემებით აგებული საშუალო წლიური ნალექებისა და საშუალო წლიური ტემპერატურების დინამიკა 1957-2024 წწ პერიოდში. როგორც ნახაზებიდან ჩანს, სამივე სადგურზე შეინიშნება ტემპერატურის მკვეთრად გამოხატული, აღმავალი ტრენდის ხაზი. რაც გლობალური კლიმატის ადგილობრივი კლიმატის გავლენაზე, კერძოდ კი, ტემპერატურის ზრდაზე მიუთითებს. ამასთან ერთად, თბილისში ტემპერატურის ზრდა უფრო მკაფიოა, რაც შესაძლოა, მკვეთრად ზრდად ურბანიზაციას, ე.წ. ურბანული თერმული კუნძულის ეფექტს უკავშირდებოდეს, რომელიც ხელს უწყობს ტემპერატურის გაზრდას. გორში ტემპერატურა ზომიერად იზრდება და მისი მერყეობა გრძელვადიან პერიოდში შედარებით სტაბილურია, თუმცა, არც ისე მკაფიო, როგორც თბილისში. თელავში კი ტრენდის ხაზი და მისი განტოლება მიუთითებს ტემპერატურის ზრდის გარკვეულ სტაბილურობაზე. ამრიგად, ტემპერატურის მატება სამივე სადგურისათვის საერთო ტენდენციაა, რაც გლობალურ დათბობას ადასტურებს ადგილობრივ დონეზეც.



ნახ.1. თბილისის მეტეოროლოგიური სადგურის საშუალო წლიური ტემპერატურებისა (°C) და საშუალო წლიური ნალექების რაოდენობის (მმ) დინამიკა 1957-2024 წწ. პერიოდში.



ნახ. 2. გორის მეტეოროლოგიური სადგურის საშუალო წლიური ტემპერატურებისა (°C) და საშუალო წლიური ნალექების რაოდენობის (მმ) დინამიკა 1957-2024 წწ. პერიოდში.

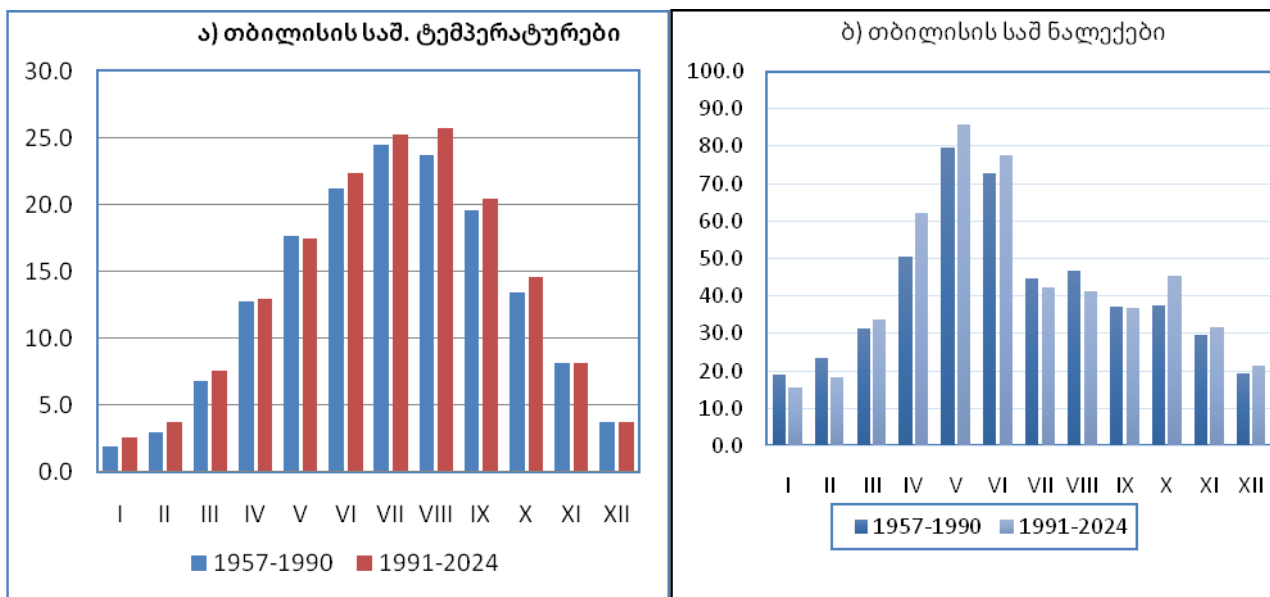


ნახ. 3. თელავის მეტეოროლოგიური სადგურის საშუალო წლიური ტემპერატურებისა (°C) და საშუალო წლიური ნალექების რაოდენობის (მმ) დინამიკა 1957-2024 წწ. პერიოდში.

რაც შეეხება ნალექებს, მათი ცვლილება სამივე სადგურზე არასტაბილურია. თბილისსა და თელავში ნალექების რაოდენობას გააჩნია მცირეოდენი ზრდის ტენდენცია, ხოლო გორში - ნალექების რაოდენობა მერყეობს და აღინიშნება მცირედი მატება მკაფიო ტენდენციის გარეშე. უნდა აღინიშნოს, რომ შერჩეული სადგურებიდან ნალექების საშუალო წლიური რაოდენობა ყველაზე მაღალი თელავში ფიქსირდება, რაც ლოგიკურია მისი გეოგრაფიული მდებარეობიდან გამომდინარე (კავკასიონის მთისწინა ფერდობი).

მართალია, გვალვა გარდა მაღალი ტემპერატურისა და ნალექების დეფიციტისა, სხვა ფაქტორებზეც არის დამოკიდებული, მაგრამ ისტორიულად გვალვა ზუსტად იმ წლებში ფიქსირდება, სადაც ნალექების რაოდენობა მინიმალური, ხოლო ტემპერატურული ფონი მაღალია. ამიტომ საინტერესო იყო როგორ განაწილდა თვეების მიხედვით მოცემული კლიმატური პარამეტრები და რა ცვლილებები შეიტანა გლობალურმა ფლუქტუაციებმა საკვლევი რეგიონის საშუალო ტემპერატურების და საშუალო ნალექების შიდა წლიურ განაწილებაში 1991-2024 წწ. პერიოდში 1957-1990 წწ. პერიოდთან შედარებით.

ნახაზებზე 4, 5, 6-ზე მოცემულია თბილისის, გორისა და თელავის საშუალო ტემპერატურებისა და იმავე მეტეოროლოგიური სადგურებისთვის საშუალო წლიური ნალექების შიდა წლიური განაწილების სვეტოვანი დიაგრამები. 4. ა) დიაგრამიდან ჩანს, რომ თბილისში ტემპერატურამ ყველა თვეში გარდა მაისისა, მეორე პერიოდში (1991-2024წწ) პირველ, საბაზისო პერიოდთან (1957-1990 წწ.) შედარებით მოიმატა. მაისში ადგილი ჰქონდა საშუალო ტემპერატურის 0.2°C -ით შემცირებას, ხოლო ნოემბერსა და დეკემბერში ტემპერატურა არ შეცვლილა. ამასთან ერთად, ტემპერატურის პიკმა ივნისიდან აგვისტოს თვეში გადაინაცვლა, 25.7°C -ს მიაღწია და პირველ პერიოდის შესაბამისი თვის მნიშვნელობას 2°C -ით (8.4%) გადააჭარბა. წლიურ ჭრილობში 1991-2024 წლებში 1957-1990 წლებთან შედარებით ტემპერატურამ თბილისში 0.7°C -ით მოიმატა, რაც 5.4%-ს შეესაბამება.



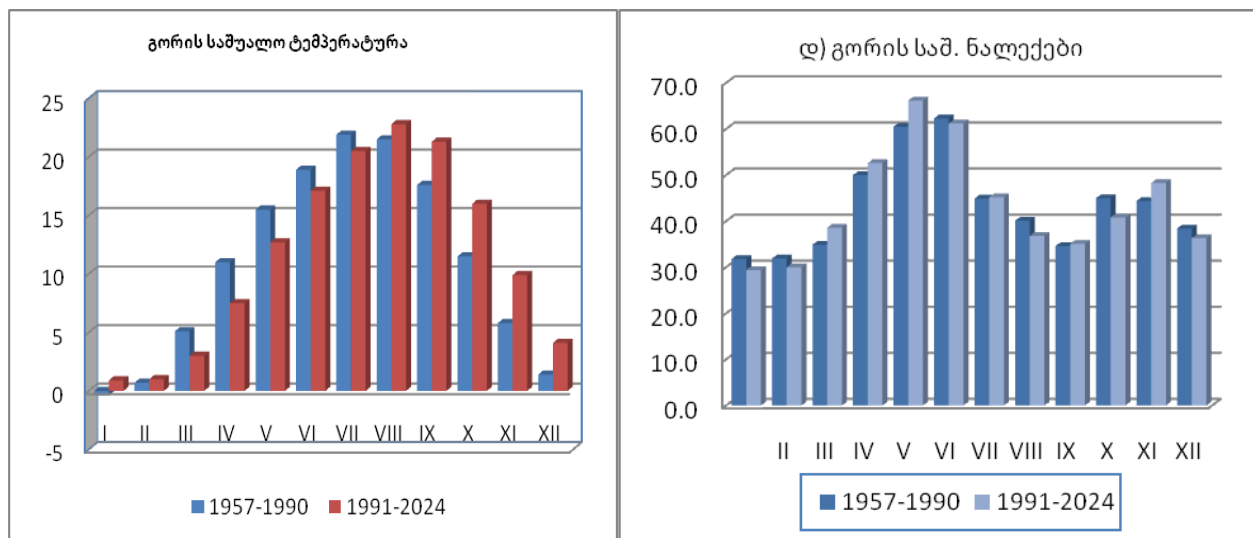
ნახ. 4. თბილისის (ა) საშუალო ტემპერატურებისა და (ბ) საშუალო ნალექების შიდა წლიური განაწილება

თბილისის საშუალო წლიური ნალექების მნიშვნელობები (ნახ. 4. ბ) თვეების მიხედვით დიდი მერყეობით გამოირჩევა და არასტაბილურად იცვლება. იანვარში, თებერვალში, ივლისში, აგვისტოსა და სექტემბერში დაიკვირვება ნალექების რაოდენობის შემცირება, ხოლო დანარჩენ თვეებში - მატება. საბოლოოდ, ადგილი აქვს თბილისში ნალექთა საშუალო წლიური ნალექების მცირე ზრდას.

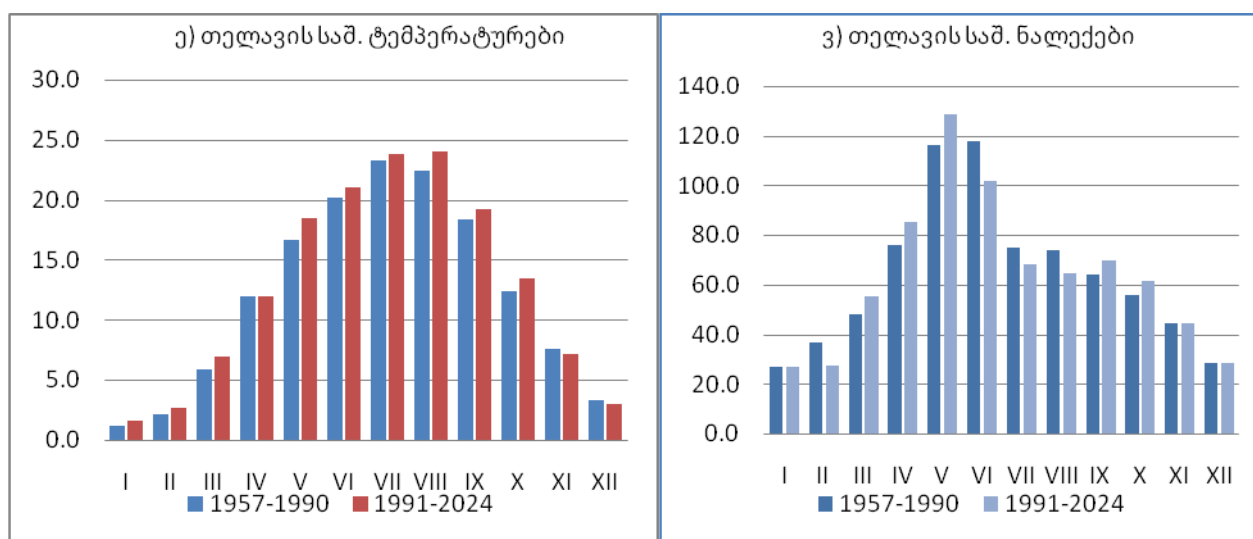
ნახ. 5-გ)-ზე მოცემულია გორის საშუალო ტემპერატურების ცვლილება, რომელიც გარკვეული თავისებურებით ხასიათდება. კერძოდ, გაზაფხულის სეზონში და ზაფხულის პირველ ორ თვეში ფიქსირდება ტემპერატურის შემცირება 1991-2024 წწ. პერიოდში, საბაზისო პერიოდთან შედარებით, ხოლო აგვისტოსა და შემოდგომა-ზამთრის თვეებში მომატება. ტემპერატურის მაქსიმუმმა, თბილისის მსგავსად, ივლისიდან აგვისტოში გადაინაცვლა. მკვეთრად მოიმატა შემოდგომის სეზონის ჯამურმა ტემპერატურამ და 12.3°C -ს (35%) მიაღწია, თუმცა, საშუალო ტემპერატურის წლიურმა ნაზრდმა მხოლოდ 4.6% შეადგინა.

რაც შეეხება გორის საშუალო ნალექების განაწილებას თვეების მიხედვით (ნახ.5.დ), 90-იანი წლების შემდეგ ასეთი სურათი გამოიკვეთა: ზამთრის ყველა თვეში აღინიშნა ნალექების შემცირება, გაზაფხულის

ყველა თვეში ზრდა, ხოლო დანარჩენ ყველა ლუწ თვეებში დაფიქსირდა ნალექების შემცირება, კენტ თვეებში კი მომატება. საბოლოო ჯამში მივიღეთ გორში ნალექთა საშუალო ჯამების უმნიშვნელო (0.5 %) მომატება.



ნახ. 5. გორის (გ) საშუალო წლიური ტემპერატურისა და (დ) ნალექთა საშუალო წლიური ჯამების განაწილება თვეების მიხედვით.



ნახ. 6 ვ). თელავის საშუალო წლიური ტემპერატურისა (გ) და ნალექთა საშუალო წლიური ჯამების (დ) განაწილება თვეების მიხედვით.

როგორც ნახ. 6-ის ე) დიაგრამიდან ჩანს, 90-იანი წლების შემდეგ წინა პერიოდთან შედარებით თელავის საშუალო ტემპერატურები ნოემბერსა და დეკემბერში შემცირდა, აპრილში ცვლილება არ განუცდია, ხოლო დანარჩენ თვეებში ადგილი ჰქონდა მატებას. საშუალო წლიურმა ნაზრდმა თელავში 0.7 °C (5,8%) შეადგინა, ხოლო ნალექთა საშუალო ჯამებმა (ნახ. 6. ვ), მკვეთრი რყევების მიუხედავად, წლიურ წრილში უმნიშვნელო შემცირება განიცადა.

ამრიგად, როგორც ჩვენს მიერ ჩატარებული გამოკვლევები გვიჩვენებს, კლიმატის ცვლილების ფონზე ტემპერატურის ზრდა ყველა რეგიონისთვის საერთო ტენდენციაა, ხოლო ნალექების ცვლილებას გააჩნია არსტაბილური ხასიათი.

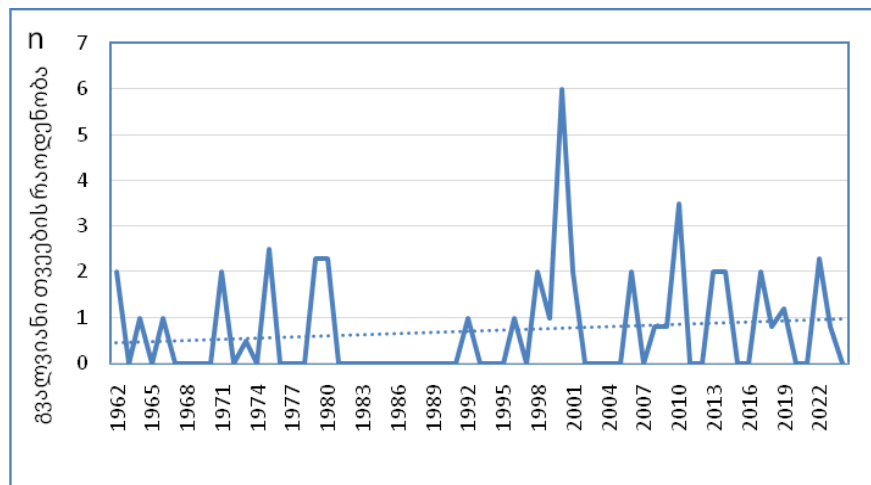
იმისათვის, რომ გვეჩვენებინა თუ როგორ შეიცვალა გვალვის სიხშირე და ინტენსივობა 1990-იანი წლების შემდეგ აღმოსავლეთ საქართველოში, ეროვნული სააგენტოდან და სხვადასხვა ლიტერატურული

წყაროებიდან მიღებული მონაცემების საფუძველზე აგებული იქნა გვალვიანი თვეების რაოდენობის ამსახველი გრაფიკი (ნახ. 7), ხოლო გვალვიანი თვეების შიდა წლიური განაწილება ნახ. 8-ზე.

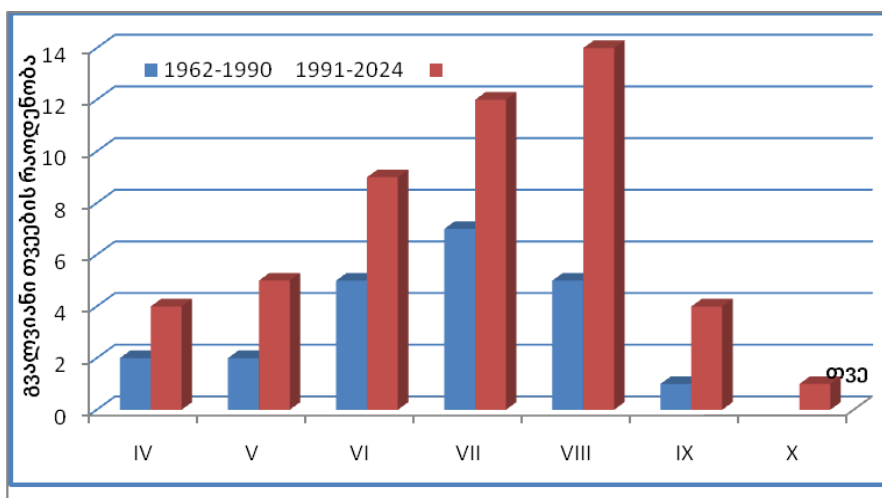
როგორც ნახ. 7-დან ჩანს გვალვიანი თვეების რაოდენობა 1991-2024 წლებში მკვეთრად აღემატება წინა პერიოდის შესაბამის რაოდენობრივ მაჩვენებლებს, რაც უდავოდ გვალვის სიხშირესა და ინტენსივობის გაზრდაზე მიუთითებს და რაც ტრენდის აღმავალი ხაზითაც დასტურდება.

ნახ. 8 კიდევ უფრო ცხადად ასახავს გვალვიანი თვეების რაოდენობის გაზრდას მეორე პერიოდში წინა პერიოდთან შედარებით. გვალვიანი თვეები განსკუთრებით მაღალია აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში - VI, VII, VIII თვეებში.

გვალვიანი პერიოდების დაწყებისა და დამთავრების, ხანგრძლივობისა და გავრცელების არეალის განალიზების დროს შევამჩნიეთ განსაკუთრებული თავისებურებანი. კერძოდ თუ პირველ პერიოდში აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვა მხოლოდ კახეთში, შიდა ქართლში, ქვემო ქართლსა და სამცხე-ჯავახეთში დაიკვირვებოდა, მეორე საკვლევ პერიოდში ხშირად ფიქსირდებოდა გვალვის გავრცელება მცხეთა-მთიანეთშიც. მაგალითად, 1957-1990 წლებში მხოლოდ ორჯერ დაფიქსირდა გვალვა მცხეთა - მთიანეთში (1971 და 1980 წლებში), მეორე პერიოდში გვალვის გავრცელება აღინიშნა 1992, 1993, 1996, 1998, 1999, 2000 წლებში, რაც გვალვის არეალის გაფართოებაზე მიუთითებს. გარდა ამისა, 1996, 1998, 2000, 2006, 2014 წლებში გვალვა სინქრონულად დაიწყო როგორც აღმოსავლეთ, ისე დასავლეთ საქართველოში და ყველა რეგიონი მოიცვა. უნდა ვიფიქროთ, რომ გვალვის გეოგრაფიული არეალის გაფართოება და გვალვის სინქრონიზაცია გლობალური დათბობის თანმხლები ტენდენციებია.



ნახ. 7. გვალვიანი თვეების რაოდენობა აღმოსავლეთ საქართველოში 1962-2024 წწ. პერიოდში.



ნახ. 8. გვალვიანი თვეების შიდაწლიური განაწილება 1962-1990 წწ. და 1991-2024 წწ. პერიოდებში

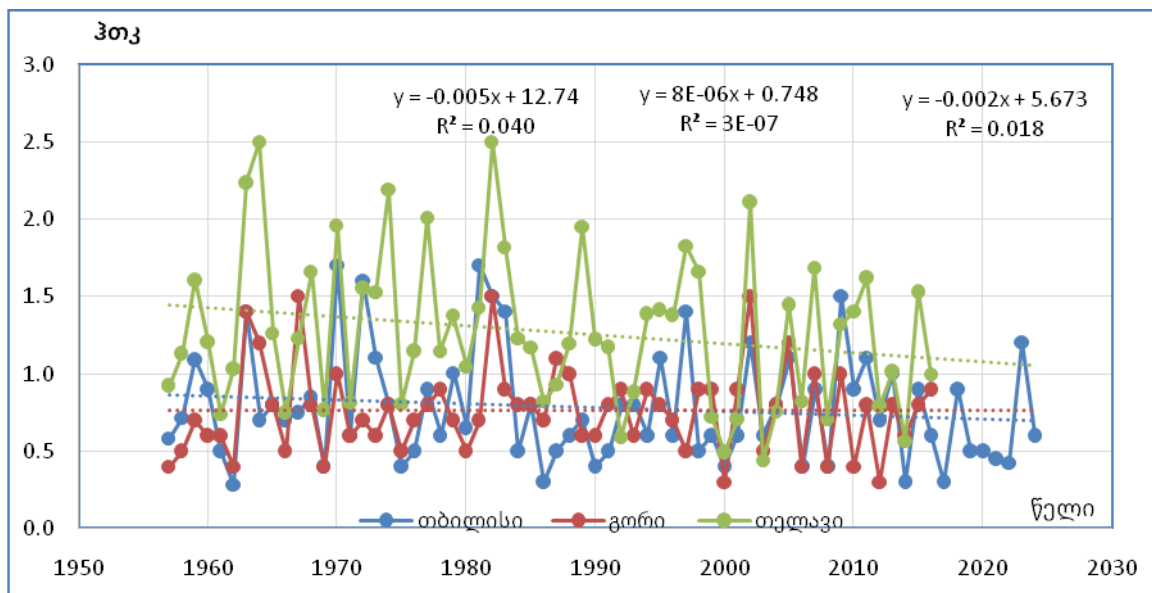
ჩვენს ინსტიტუტში ტარდება კვლევები, სადაც გვალვის ტიპების განსაზღვრის, ანომალური კლიმატური პირობების რაოდენობრივი შეფასების, გვალვის გავრცელების ხანგრძლივობის, სიმკაცრის, ინტენსივობის, ალბათობისა და განმეორებადობის დადგენის მიზნით გამოყენებულია WMO-ს მიერ შემოთავაზებული გვალვის სტანდარტიზებული ინდექსი (SPI) და ნალექები-ევაპოტრანსპირაციის ინდექსი (SPEI), შედეგების ვიზუალიზაცია წარმოდგენილია გრაფიკებისა და რუკების სახით, ძირითადი შედეგები გამოქვეყნებულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის სამეცნიერო-რეფერირებულ ჟურნალში და საერთაშორისო კონფერენციის მასალებში [6, 7, 8, 9, 10.]. თუმცა უნდა ითქვას, რომ გვალვის ინტენსივობის შეფასების ერთ-ერთი ყველაზე გავრცელებული და მოსახერხებელი აგროკლიმატური მაჩვენებელია სელიანინოვის ჰიდროთერმული კოეფიციენტი (ჰტკ), რომელიც წარმოადგენს გარკვეული პერიოდის ნალექთა ჯამების შეფარდებას იმავე პერიოდის 10°C -ზე მაღალი ჰაერის ტემპერატურათა ჯამთან და გამოსახება შემდეგი ფორმულით:

$$\text{ჰტკ} = \frac{10P}{\sum_{t>10} t}, \quad \text{სადაც, } P \text{ ჩვენს შემთხვევაში წარმოადგენს აქტიური ვეგეტაციის პერიოდის}$$

(ივნისი-ივლისი-აგვისტო) ნალექთა ჯამს, ხოლო $\sum_{t>10}$ იმავე სამთვიანი პერიოდის 10°C -ზე მაღალი ჰაერის ტემპერატურათა ჯამს. ჰტკ-ს კლასიფიცირებას ინტენსივობის მიხედვით შემდეგი სახე აქვს:

უგვალვო პერიოდი - $0.75 < h$
სუსტი გვალვა - $0.60 < h \leq 0.75$,
საშუალოგვალვა - $0.40 < h \leq 0.60$,
ძლიერიგვალვა - $0.20 < h \leq 0.40$, M
მკაცრიგვალვა - $0 < h \leq 0.20$.

თბილისის, გორისა და თელავის მეტეოროლოგიური სადგურების ტემპერატურების საშუალო მნიშვნელობებსა და ნალექთა საშუალო ჯამებზე დაკვირვების მონაცემების მიხედვით გამოთვლილი ჰტკ-ს მსვლელობის გრაფიკი აქტიური ვეგეტაციის პერიოდისათვის გამოსახულია ნახაზზე 9.



ნახ. 9. ჰტკ-ს მრავალწლიური (1957-2024) მსვლელობა აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში თბილისის, გორისა და თელავისათვის.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ივნის-ივლის-აგვისტოში ჰტკ-ს ტრენდის ხაზებს თბილისისა და თელავისთვის დადმავალი ხასიათი აქვს. რადგან ტემპერატურათა ჯამების მატება და ნალექთა საშუალო ჯამების კლება იწვევს ჰტკ-ს კოეფიციენტის მნიშვნელობათა შემცირებას, რაც გვალვის ინტენსივობის გაზრდის მანიშნებელია. კერძოდ, ჰტკ-ს კლასიფიკაციის თანახმად, თბილისში 1962, 1975, 1986, 1990, 2000, 2014, 2017 და 2022 წლებში გამოთვლილი ჰტკ, რომელიც 0,3-ისა და 0,4-ის ტოლია, ძლიერი გვალვის კატეგორიას (ჰტკ ტოლია 0,3-ის ან 0,4-ის) მიეკუთვნება. რაც შეეხება გორს. ჰტკ-ს ტრენდის ხაზი სტაბილურ მდგომარეობას იკავებს. გამოდის, რომ თბილისსა და თელავში 1990-2024 წლებში გვალვის ინტენსივობა იზრდება, ხოლო გორში, მიუხედავად მკვეთრი რყევებისა, თითქმის უცვლელი რჩება. თუმცა ნახაზიდან ჩანს, რომ 2000 წელს,

როდესაც მთელ საქართველოში გვალვა მძვინვარებდა, სამივე სადგურზე მკაცრი გვალვა დაფიქსირდა. აღსანიშნავი იყო 2010 წლის ზაფხულის გვალვაც, როდესაც ჰაერის ტემპერატურამ მრავალწლიურ ნორმას რამდენიმე ($5-6^{\circ}\text{C}$) გრადუსით გადაჭარბა. გაზაფხულის წვიმების ნაკლებობამ, განსაკუთრებით, აღმოსავლეთ საქართველოში, მკვეთრად შეამცირა მოსავალი. 2014 წელს გვალვით გამოწვეული მოსავლიანობის შემცირება დაფიქსირდა აღმოსავლეთ საქართველოს უმეტეს რაიონებში, განსაკუთრებით, დედოფლის წყაროს მუნიციპალიტეტში, სადაც ხორბლის საშუალო მოსავლიანობა 500კგ/ჰა -მდე დაეცა. ასეთი კლების მიზეზით ბევრმა ფერმერმა მოსავალი საერთოდ ვეღარ მიიღო 2015 წელს და შესაბამისად, ვერ დააფინანსა თესლის შესყიდვა [5].

როგორც ვხედავთ და ჩვენი კვლევებიდანაც გამომდინარეობს, ბოლო რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში კლიმატის ცვლილების ბუნებრივი და ანთროპოგენური ზემოქმედების მიზეზით შეიცვალა ნალექების და ტემპერატურის რაოდენობა, მათი შიდაწლიური განაწილება. მოდელური გათვლებით საუკუნის ბოლომდე მოსალოდნელია კლიმატური პარამეტრების კიდევ უფრო მეტად გააქტიურება, ტემპერატურის გაზრდა და ნალექების შემცირება, რაც გამოიწვევს აორთქლების გაძლიერებას, ნიადაგის გამოშრობას, წყლის ხელმისაწვდომობის შემცირებას, მიწის დეგრადაციას და მეტეოროლოგიური და აგრომეტეოროლოგიური გვალვების კიდევ უფრო მეტად გამძაფრებას, ამიტომ საჭიროა გვალვებთან ბრძოლის დაუყოვნებლად დაწყება. ამ ბრძოლაში ჩართული უნდა იყოს სხვადასხვა დარგის სპეციალისტები: მეტეოროლოგები, კლიმატოლოგები, ჰიდროლოგები, ეკოლოგები, აგრონომები, სოციოლოგები, ეკონომისტები. მხოლოდ კომპლექსური მიდგომით და მრავალმხრივი ანალიზით არის შესაძლებელი გვალვის ტენდენციების სრულყოფილი გაგება და ეფექტური ზომების მიღება: წყლის რესურსების ეფექტურ მართვა, რომელიც მოიცავს წყლის გადამუშავებას და წყლის რესურსების მდგრად გამოყენებას; გვალვაგამძლე კულტურების მოყვანა, რომელიც ხელს შეუწყობს სოფლის მეურნეობის მდგრადობას გვალვების პირობებში; ადგილობრივი აგროკლიმატური პირობების შესაბამისი კულტურების შერჩევა; აგროტექნიკური და სამელიორაციო ტექნიკის გამოყენება, რომელიც მიზნად ისახავს მცენარეებისთვის ტენიანობის მიწოდების გაზრდას და კულტურების ფიტოკლიმატის გაუმჯობესებას და ა.შ.

დასკვნა. კვლევის შედეგად გამოიკვეთა აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვების ინტენსიფიკაციის მკაფიო ტენდენცია, რაც კლიმატის ცვლილებით, კერძოდ ტემპერატურის მატებით და ნალექების არასტაბილურობითაა განპირობებული. სელიანინოვის ჰოკ-ს ანალიზმა აჩვენა, რომ ბოლო ათწლეულებში გვალვის სიხშირე და სიმკაცრე იზრდება, განსაკუთრებით აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში. გვალვის არეალი თანდათანობით ფართოვდება და ხშირად მოიცავს ახალ რეგიონებს, რაც მიუთითებს მოვლენების სერიოზულობაზე. ამასთან ერთად, ადგილი აქვს გვალვის მიმდინარეობის სინქრონიზაციას (ერთდროულად იწყება საქართველოს ყველა რეგიონში), რაც მნიშვნელოვან პრობლემებს ქმნის და უარყოფითად აისახება ქვეყნის სასურსათო ბაზარზე. კვლევის შედეგები საჭიროებს სახელმწიფოს, მეცნიერებისა და საზოგადოების კოორდინირებულ ჩართულობას გვალვების წინააღმდეგ ბრძოლაში, აგრარული სექტორის მდგრადობის გასაზრდელად და ეკოსისტემების დასაცავად.

ლიტერატურა - References - Литература

- 1 [WFP, November 2000, Georgia Emergency Household Economy Assessment, p.5
2. <https://mepa.gov.ge/En/PublicInformation/25>
3. <https://www.geostat.ge> » Natural Resources of Georgia and Environmental Protection, Tbilisi, 2012
4. Georgian Scientific-Applied Climate Directory Tbilisi 2020, p.303.
5. <https://www.cenn.org> » **Drought Dynamics in Georgia**
6. Tatishvili M., Kapanadze N., Mkurnalidze I., Palavandishvili A. Drought Evaluation in Georgia using SPI and SpEI Indices. Int. Sc. Conf. "Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country", Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 96 – 100.
7. Tsitsagi M., Gulashvili Z., Bolashvili N., Tatishvili M., Suknidze N. Relationship Between Normalized Difference Vegetation Index, Precipitation and Drought Indices (Case of Kakheti, Georgia). 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2022. doi.org/10.5593/sgem2022/4.1/s19.46.
8. Meladze M., Meladze G., Kapanadze N., Pipia M. Impact of Droughts on the Agricultural Sector of the Eastern Georgia Regions. Int. Sc. Conf. "Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country", Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Publish House of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024, pp. 72 – 75, (in Georgian).

9. Tatishvili, M. R., Megrelidze, L. D., & Palavandishvili, A. M. (2021). Study of the Mean and Extreme Values, Intensity and Recurrence Variability of Meteorological Elements Based on the 1956–2015 Observation Data. *Journals of Georgian Geophysical Society*, 24(2). <https://doi.org/10.48614/ggs2420213325> DOI: [10.48614/ggs2420213325](https://doi.org/10.48614/ggs2420213325)
10. Tatishvili M., Palavandishvili A., Tsitsagi M., Suknidze N. The Big Data for Drought Monitoring in Georgia. In: Geibel, R.C., Machavariani, S. (eds) *Chances and Challenges of Digital Management*. ISPC 2022. Springer Proceedings in Business and Economics. P.131-141, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45601-5_13

UDC551.583

Drought Trends in Eastern Georgia in the Context of Global Warming. /Kapanadze N., Tatishvili M., Meladze M., Mkurnalidze I./ Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.69-77.- Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

This article analyzes drought trends in Eastern Georgia in the context of global warming. Climatic data (temperature and precipitation) for Tbilisi, Gori, and Telavi from 1957 to 2024 are reviewed. Based on an analysis of the long-term dynamics and intra-annual distribution of average values, changes in the frequency, duration, and intensity of droughts were studied. The distribution of drought types and their relationship with droughts during the vegetation period are also discussed. The study uses the Selyaninov hydrothermal coefficient (HTC), which reveals a trend of increasing drought intensity in recent decades. The results indicate a clear trend of rising temperatures and precipitation instability, leading to an increase in the frequency and spatial extent of droughts. In the context of global warming, the study highlights the need for the implementation of scientific methods and integrated strategies to combat drought.

УДК: 551.583

Тенденции засухи в Восточной Грузии на фоне глобального потепления./Капанадзе Н.И, Татишвили М.Р., Меладзе М.Г. Мкурналидзе И.П./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.69-77. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В данной статье анализируются тенденции засух в Восточной Грузии в контексте глобального потепления. Рассматриваются климатические данные (температура и осадки) по Тбилиси, Гори и Телави за период с 1957 по 2024 год. На основе анализа многолетней динамики и внутригодового распределения средних значений изучены изменения в частоте, продолжительности и интенсивности засух. Также обсуждается распределение типов засух и их связь с засухами в вегетационный период.

В исследовании используется гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), на основании которого выявлена тенденция усиления засух в последние десятилетия. Результаты указывают на явную тенденцию повышения температуры и нестабильности осадков, что приводит к увеличению частоты и площади засушливых явлений. В условиях глобального потепления исследование подчёркивает необходимость внедрения научных методов и комплексных стратегий борьбы с засухами.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-78-83

უკ: 523.745

მზის აქტივობის გავლენა და ტენდენციები საქართველოს კლიმატზე და მის პოტენციალზე

ეკატერინე ხუციშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

Phoenix579@yahoo.com

რეზიუმე

ბოლო რამდენიმე ათწლეულის განმავლობაში მზის აქტივობის ცვლილებებმა მნიშვნელოვანი ზეგავლენა იქონია გლობალურ და რეგიონულ კლიმატურ პროცესებზე. მოცემულ კვლევაში განხილულია მზის აქტივობის გავლენა საქართველოს კლიმატურ პირობებზე და განახლებადი ენერგეტიკული პოტენციალის, კერძოდ, მზის ენერგიის გამოყენების შესაძლებლობებზე. ანალიზი ეფუძნება 1975–2023 წლების განმავლობაში მიღებულ კლიმატურ და ასტრონომიულ მონაცემებს. ეს კვლევა მიზნად ისახავს მზის აქტივობის ტენდენციების გაანალიზებას და მათი კორელაციის შეფასებას საქართველოს კლიმატურ პირობებთან და ენერგეტიკულ პოტენციალთან, განსაკუთრებით განახლებადი ენერგიის ანალიზის შედეგად გამოვლინდა გარკვეული კავშირები მზის აქტივობასა და კლიმატურ ცვალებადობას შორის, რაც თავის მხრივ აისახება როგორც ჰიდროენერგეტიკულ, ისე მზის ენერგიაზე დაფუძნებულ რესურსების გამოყენებაზე. კვლევაში ნაჩვენებია, რომ ტემპერატურის მატება ყველა რეგიონში თანხვედრაშია მზის აქტივობის ციკლებთან. განსაკუთრებით საინტერესოა მზის გამოსხივების მაჩვენებლები აღმოსავლეთ საქართველოში, რაც მზის ენერგიის განვითარებისთვის მნიშვნელოვან შესაძლებლობებს ქმნის. მიღებული შედეგები მნიშვნელოვანია როგორც კლიმატური პროგნოზირების, ისე საქართველოს ენერგეტიკული სტრატეგიის დაგეგმვისთვის გრძელვადიან პერსპექტივაში.

საკვანძო სიტყვები: მზის აქტივობა, კლიმატის ცვლილება, საქართველოს კლიმატი

შესავალი

მზის აქტივობა დედამიწის კლიმატურ სისტემაზე ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი გარე ფაქტორია. მის ციკლურ ცვლილებებს — განსაკუთრებით მზის ლაქებისა და რადიაციული ნაკადის ცვლილებებს — შესამჩნევი გავლენა აქვს ატმოსფერულ პროცესებზე, რაც თავის მხრივ განსაზღვრავს რეგიონული კლიმატის ფორმირებას. საქართველო, როგორც შავი ზღვისა და კავკასიონის ზეგავლენით ჩამოყალიბებული მრავალფეროვანი კლიმატური ზონების მქონე ქვეყანა, განსაკუთრებით მგრძნობიარეა გლობალურ და გარე კლიმატურ ცვლილებებზე. ბოლო წლების განმავლობაში მზის აქტივობის გაზრდამ გამოიწვია მნიშვნელოვანი კლიმატური დინამიკა საქართველოში, რაც გამოიხატა როგორც საშუალო ტემპერატურის მატებაში, ისე ნალექების განაწილებისა და სეზონურობის ცვლილებებში. ამ პროცესებმა ზეგავლენა მოახდინა არა მხოლოდ სოფლის მეურნეობაზე და ეკოსისტემებზე, არამედ ქვეყნის ენერგეტიკულ პოტენციალზეც, განსაკუთრებით მზის ენერგიის გამოყენების პერსპექტივებზე. მზის გამოსხივების ინტენსივობის გრძელვადიანი ტენდენციების ანალიზი და მისი კორელაცია კლიმატურ მონაცემებთან ქმნის საფუძველს რეალური ენერგეტიკული პოლიტიკის დაგეგმვისა და განახლებადი ენერგიის განვითარებისათვის. მოცემული კვლევა მიზნად ისახავს სწორედ ამ კავშირის გამოკვლევას და მზის აქტივობის გავლენის შეფასებას საქართველოს კლიმატზე და ენერგეტიკულ რესურსებზე. მზის აქტივობა წარმოადგენს ბუნებრივ ფიზიკურ პროცესს, რომელიც მჭიდროდ უკავშირდება დედამიწის კლიმატურ და ენერგეტიკულ სისტემებს. მზის მიერ გამოსხივებული ენერგია არა მხოლოდ სიცოცხლის წყაროა პლანეტაზე, არამედ მნიშვნელოვან როლს ასრულებს გლობალურ და რეგიონულ კლიმატურ დინამიკაში. განსაკუთრებით საინტერესოა ამ აქტივობის გავლენის შესწავლა კონკრეტულ გეოგრაფიულ არეალზე, როგორცაა საქართველო, რომელიც გამოირჩევა კომპლექსური რელიეფითა და კლიმატური მრავალფეროვნებით. ბოლო ათწლეულებში, მზის აქტივობის ციკლებისა და ტენდენციების ფონზე, საქართველოში მკაფიოდ შეინიშნება კლიმატური პარამეტრების ცვლილება — მათ შორის ტემპერატურის მატება, ნალექების განაწილების ცვალებადობა და ექსტრემალურ ამინდთა სიხშირის ზრდა. საქართველოში მზის გამოსხივების წლიური მაჩვენებელი 1,250-დან 1,800 კილოვატსაათამდე მ²-ზე მერყეობს, ხოლო მზიანი საათების რაოდენობა 1,900-დან 2,200 საათამდე აღწევს. ეს პირობები ხელსაყრელია როგორც საცხოვრებელი, ისე კომერციული სექტორისთვის მზის ენერგიის გამოყენების თვალსაზრისით.

ამ კვლევის მიზანია გაანალიზოს მზის აქტივობის გავლენა საქართველოს კლიმატურ პირობებზე და შეფასოს მისი ზეგავლენა ქვეყნის ენერგეტიკულ რესურსებზე. კვლევა მიზნად ისახავს, წარმოაჩინოს ყველა ის ტენდენცია, რაც საფუძვლად დაედება სამომავლო კლიმატურ და ენერგეტიკულ პოლიტიკას.

ძირითადი ნაწილი

მზის აქტივობა გამოიხატება ძირითადად 11-წლიან ციკლში, რომლის განმავლობაშიც იცვლება მზის ლაქების რაოდენობა, ულტრაიისფერი და რადიო გამოსხივება. ეს ცვლილებები პირდაპირ ან არაპირდაპირ ახდენს გავლენას დედამიწის ზედაპირზე ტემპერატურის, ატმოსფერული წნევის, ნალექებისა და ქარის სისტემებზე. მზის აქტივობის პიკები, როგორიცაა 1980-იანი და 2000-იანი წლების დასაწყისი, ხშირად ასოცირდება ტემპერატურის დროებითმა ტემბასთან და გლობალურ კლიმატურ ანომალიებთან. მზის მინიმუმების დროს კი, ხშირია შედარებითი გაცივება და ატმოსფერული სტაბილურობა [2,3,4]. საქართველო გამოირჩევა მზის ენერგიის მნიშვნელოვან პოტენციალით, რაც მკაფიოდ ჩანს გეოგრაფიული მდებარეობით და წლიური მზის გამოსხივების საშუალო მაჩვენებლებით. აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონებში მზის გამოსხივების წლიური საშუალო მაჩვენებელი 1200–1700 კWh/m² ფარგლებში მერყეობს, ხოლო დასავლეთ საქართველოში – 1000–1400 კWh/m² [5]. აღმოსავლეთ საქართველოს არიდულ რეგიონებში მზის ენერგიის რესურსი განსაკუთრებით მაღალია, რაც კარგ საფუძველს იძლევა მზის ელექტროსადგურების განვითარებისთვის. მიუხედავად მზის ენერგიის პოტენციალის ზრდისა, კლიმატური ცვლილებები ქმნის გარკვეულ რისკებს — მათ შორის, გვალვების სიხშირის ზრდა, წყლის რესურსების შემცირება და ენერგეტიკულ ინფრასტრუქტურაზე ზეწოლა. ეს ზრდის კლიმატის პროგნოზირებისა და ენერგიის ინტეგრირებულ მართვის მრავალმხრივი პოლიტიკის შემუშავების საჭიროებას მზის აქტივობის ციკლების გათვალისწინებით.

საქართველოს კლიმატი და მზის აქტივობის კავშირი (1975–2023)

საქართველოში კლიმატური ცვლილებები ბოლო წლების განმავლობაში დამახასიათებელი იყო როგორც ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის სტაბილური ზრდით, ასევე ნალექების სიხშირისა და ინტენსივობის ცვლილებით. ოფიციალური მეტეოროლოგიური მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ 1980-იანი წლებიდან მოყოლებული განსაკუთრებით შავი ზღვისპირა ზონებსა და აღმოსავლეთ საქართველოში შეინიშნება ტემპერატურის მატება, რაც თანხვედრაშია მზის აქტივობის პიკებთან. მაგალითად, 1998 წელს, რომელიც მზის აქტივობის მაქსიმუმს ემთხვეოდა, დასავლეთ საქართველოში დაფიქსირდა რეკორდული წლიური საშუალო ტემპერატურა [5] ამავე პერიოდში შავი ზღვის ზედაპირული ტემპერატურა მნიშვნელოვნად გაიზარდა, რაც აისახა ჰაერის ტენიანობასა და ნალექების გეოგრაფიაზე. აღსანიშნავია, რომ მზის აქტივობის შემცირების პერიოდში (მაგ. 2008–2009 წლები) ტემპერატურის ზრდა შედარებით შენედა, თუმცა გლობალური დათბობის გრძელვადიანმა ტენდენციამ მაინც განაგრძო გავლენის მოხდენა [6,7,8]. მზის გამოსხივების გააქტიურება ზრდის მზის ენერგიის პოტენციალს. ბოლო ათწლეულში მზის ენერგიის ინტენსივობა საქართველოში საშუალოდ 1,200–1,700 კილოვატ-საათს შეადგენს კვადრატულ მეტრზე წელიწადში, რაც რეგიონალურად მერყეობს და დამოკიდებულია, როგორც გეოგრაფიულ მდებარეობაზე, ისე ატმოსფერულ პირობებზე. საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის მონაცემების მიხედვით, 1975 წლიდან დღემდე საქართველოში საშუალო წლიური ტემპერატურა 0.6–1.2°C-ით არის მომატებული. დასავლეთ საქართველოში (ბათუმი, ფოთი) ტემპერატურის მატება განსაკუთრებით ინტენსიურია, რაც შავი ზღვის ზედაპირული ტემპერატურის მატებასაც უკავშირდება. აღმოსავლეთ საქართველოში, განსაკუთრებით კახეთში და შიდა ქართლში, შეინიშნება უფრო მშრალი კლიმატის გაძლიერება და გვალვების ხანგრძლივობის ზრდა. ნალექების სიხშირე და ინტენსივობაც მნიშვნელოვნად შეიცვალა. დასავლეთ საქართველოში ხშირია მოკლევადიანი, მაგრამ ინტენსიური წვიმები, რაც დაკავშირებულია როგორც მზის აქტივობის გავლენით ატმოსფერული ცირკულაციების ცვლილებებთან, ისე ჰიდროლოგიურ პროცესებთან. აღმოსავლეთში დაფიქსირებულია ნალექების რაოდენობის კლებაც, რაც გავლენას ახდენს სოფლის მეურნეობასა და წყალმომარაგებაზე.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს საქართველოს კლიმატური სისტემის დინამიკა და ენერგეტიკული პოტენციალი, რომელიც დამოკიდებულია მზის აქტივობის გრძელვადიან ცვლილებებზე. კონკრეტულად, ყურადღება გამახვილებულია 1975–2023 წლების განმავლობაში ქვეყანაში დაფიქსირებულ ტემპერატურულ ტენდენციებზე, მზის გამოსხივების ინტენსივობაზე და ამ მონაცემების კავშირზე მზის ციკლურ

აქტივობასთან. ასევე განიხილება მზის ენერგიის ტექნიკური პოტენციალი საქართველოს რეგიონებში. კვლევა ეფუძნება მრავალდარგობრივ მიდგომას და იყენებს როგორც რაოდენობრივ, ისე ანალიტიკურ მეთოდებს:

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა

1. ექსპერიმენტისთვის გამოიყენება საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს, საქართველოს ენერგეტიკის განვითარების ფონდისა და საერთაშორისო ორგანიზაციების (NASA, NOAA, Copernicus და სხვ.) მონაცემთა ბაზები.
2. გაანალიზდება მზის აქტივობის ქრონოლოგიური მონაცემები (მზის ლაქები, UV ინდექსი, TSI — Total Solar Irradiance) და საქართველოს კლიმატური მაჩვენებლები (ტემპერატურა, ნალექი, ინსოლაცია).
3. შესაძლო ტენდენციების მოდელირება მომავალი კლიმატური პროგნოზებისთვის.
4. გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემების (GIS) გამოყენება სივრცული მონაცემების ვიზუალიზაციისა და რეგიონების მიხედვით მზის ენერგიის პოტენციალის შეფასებისთვის.

საქართველოში კლიმატის ცვალებადობაზე მზის აქტივობის გავლენა ცხადად ფიქსირდება გრძელვადიანი მონაცემებით. მაგალითად, ბოლო წლების განმავლობაში დაკვირვებებმა აჩვენა კავშირი მზის მაქსიმალური აქტივობის პერიოდებსა და ქვეყანაში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის მატებას შორის. განსაკუთრებით გამოირჩევა დასავლეთ საქართველო, სადაც მზის რადიაციის ინტენსივობა უფრო მაღალია და მას თან ახლავს შავი ზღვის გავლენაც. მზის აქტივობის დონე 1970-იან წლებში შედარებით მაღალი იყო და მომდევნო წლებში შეინიშნებოდა ციკლური შემცირება და მატება. განსაკუთრებით აღსანიშნავია 2008–2009 წლების მზის მინიმუმი (ე.წ. დალტონის მსგავსი მინიმუმი), რის შემდეგაც მზის აქტივობა შედარებით სუსტია. ამავე პერიოდში საქართველოში კლიმატური ანომალიებიც დაფიქსირდა – მაგალითად, 2010-იან წლებში ხშირი გვალვები და უჩვეულო ტემპერატურული პიკები. ქვემოთ გთავაზობთ ცხრილს საქართველოს ძირითადი რეგიონებისთვის, წლიური საშუალო ინსოლაციის ($\text{kWh/m}^2/\text{წელიწადში}$) მონაცემებით. ეს მონაცემები დაფუძნებულია ისტორიულ კლიმატურ მონაცემებზე და NASA-ის SSE და PVGIS მონაცემთა ბაზებზე, და არის მიმოხილვითი [6,7]:

ცხრილი 1. წლიური საშუალო ინსოლაციის ($\text{kWh/m}^2/\text{წელიწადში}$) მონაცემები საქართველოს ძირითადი რეგიონებისათვის

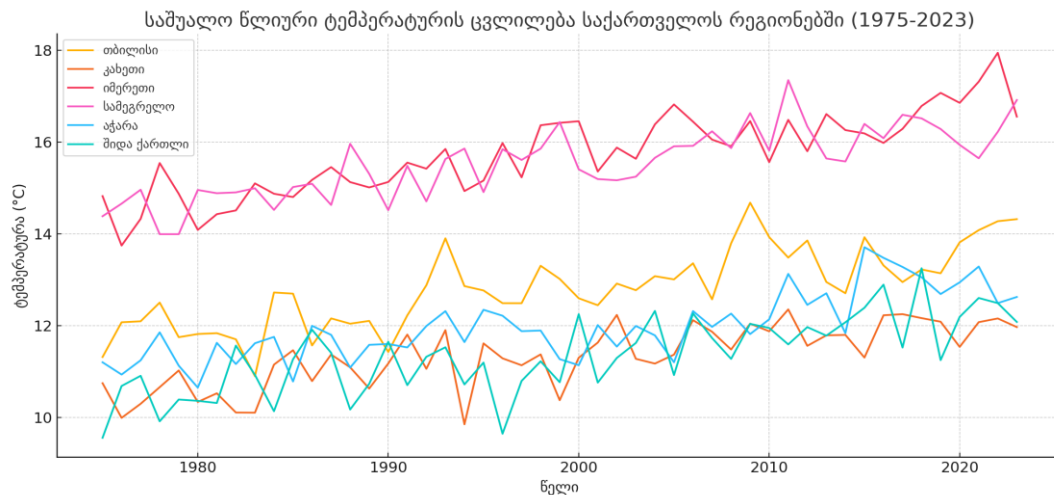
რეგიონი	წლიური ინსოლაცია ($\text{kWh/m}^2/\text{წელი}$)	აღწერა
კახეთი	1500–1700	მზიანი და მშრალი კლიმატი; საუკეთესო პოტენციალი მზის ენერგიისთვის
შიდა ქართლი	1400–1600	საშუალო ინსოლაცია, არიდული ზონები აღმოსავლეთით
ქვემო ქართლი	1400–1650	მზიანი რეგიონია, განსაკუთრებით ბოლნისის და მარნეულის მიდამოები
სამცხე-ჯავახეთი	1300–1500	შედარებით მაღალი ზონა; მზიანი დღეების რაოდენობა მეტია ზაფხულში
იმერეთი	1200–1400	ჰუმიდური კლიმატი; ინსოლაცია შედარებით დაბალია
გურია	1100–1300	ატლანტიკური კლიმატი; ხშირი ნალექები და ღრუბლიანი დღეები
სამეგრელო	1100–1300	ნოტიო კლიმატი; ინსოლაცია დაბალია
აჭარა	1000–1200 (ქვემო ზონები)	სანაპირო და მთიანი ზონები; ხშირია ღრუბლიანი ამინდი
სვანეთი	1200–1400	მაღალი მთები; ნაკლები ინსოლაცია ზამთარში, მაგრამ სუფთა ჰაერი ზაფხულში
რაჭა-ლეჩხუმი	1200–1350	მთიანი რეგიონი, შედარებით ნაკლები ინსოლაცია
თბილისი	1450–1600	მშრალი კლიმატი და მაღალი მზიანი დღეების რაოდენობა

ამ მონაცემებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მზის აქტივობის ციკლური ხასიათი ერთ-ერთ განმარტებელ ფაქტორად გვევლინება კლიმატის ლოკალურ ცვლილებებში, თუმცა აუცილებელია მისი გათვალისწინება სხვა ფაქტორებთან (გლობალური დათბობა, ანთროპოგენური

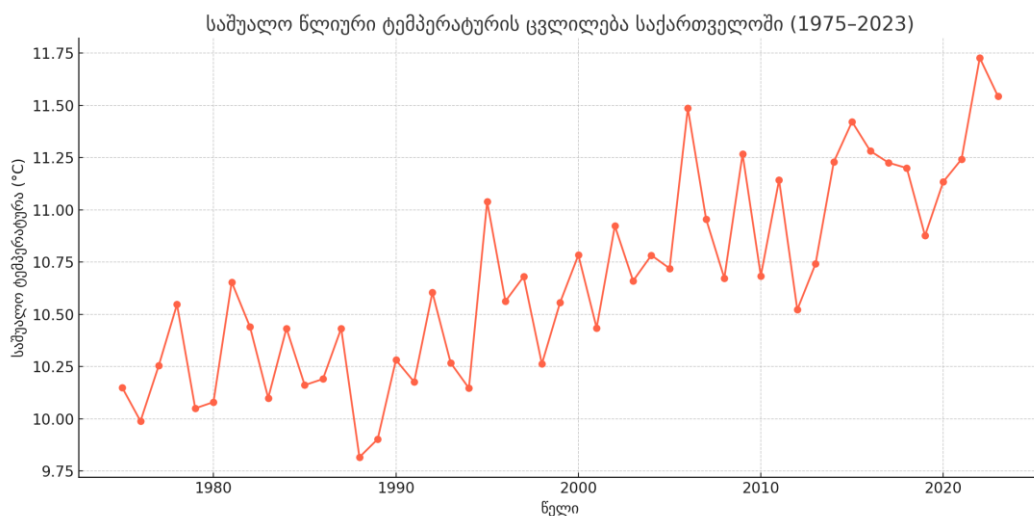
ზემოქმედება და ა.შ.) ერთიან სისტემაში. მიუხედავად მზის ენერგიის პოტენციალის ზრდისა, კლიმატური რისკები (გვალვები, ჰიდროლოგიური დეფიციტი) ზრდის ენერგო ინფრასტრუქტურისადმი წნეხს, ამიტომ საჭიროა:

1. მზის აქტივობის რეგულარული და მაღალი სიზუსტით მონიტორინგი;
2. კლიმატური პროგნოზირების ინტეგრირება ენერგოპოლიტიკაში;
3. რეგიონული ენერგეტიკული რუკების შემუშავება მზის რესურსებზე დაყრდნობით;
4. კომბინირებული პროექტების განვითარება, სადაც მზის ენერგია ინტეგრირდება წყალზე და ქარზე დამოკიდებულ რესურსებთან.

ნახ. 1 და ნახ. 2 გვიჩვენებს საშუალო წლიური ტემპერატურის მსვლელობას როგორც საქართველოს ცალკეული რეგიონების, ისე მთლიანად საქართველოს მასშტაბით [6]. ამ ნახაზებიდან გამომდინარეობს, რომ 1975-2023 წლებში საქართველოში საშუალო წლიურმა ტემპერატურამ მოიმატა, რაც გლობალური კლიმატის ცვლილების ზრდად ტენდენციას ადასტურებს. მონაცემები აჩვენებს, რომ განსაკუთრებით 1990-იანი წლებიდან ტემპერატურის ზრდის ტემპი გააქტიურდა. გრაფიკზე თვალნათლივ ჩანს, რომ ბოლო ათწლეულებში ტემპერატურა სტაბილურად იზრდება, რაც მიუთითებს კლიმატური დათბობის პროცესზე საქართველოში. ეს ცვლილებები მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს როგორც გარემოზე, ასევე ქვეყნის სოფლის მეურნეობასა და ენერგეტიკულ სექტორზე.



ნახ.1. საშუალო წლიური ტემპერატურის მსვლელობა საქართველოს რეგიონში 1975-2023 წლებში [6]



ნახ. 2 . საშუალო წლიური ტემპერატურის მსვლელობა საქართველოში 1975-2023 წლებში [6]

დასკვნა

მზის აქტივობა წარმოადგენს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს ასტროფიზიკურ ფაქტორს, რომელიც მჭიდრო კავშირშია დედამიწის კლიმატურ პროცესებთან. ამ ნაშრომში განხილული მონაცემებისა და ანალიზის საფუძველზე დადგენილია საქართველოს ტერიტორიაზე კლიმატური ცვლილებების გარკვეული ტენდენციები, განსაკუთრებით ყურადღებას იქცევს ტემპერატურული რეჟიმი, რომელიც ნაწილობრივ შეესაბამება მზის აქტივობის ციკლურ მერყეობას 1975-2023 წლების განმავლობაში, თუმცა უნდა აღინიშნოს, რომ მზის აქტივობის გავლენა კლიმატზე არ არის იზოლირებული ფაქტორი და სხვა გლობალურ თუ რეგიონულ პროცესებთან კომპლექსურად მოქმედებს. გარდა ამისა, კვლევებმა გვიჩვენა, რომ მზის ენერგიის პოტენციალი საკმაოდ მაღალია საქართველოს სხვადასხვა რეგიონებში. ტემპერატურის განაწილების ანალიზმა ცხადყო, რომ ქვეყნის უმეტეს რეგიონებში, განსაკუთრებით აღმოსავლეთ და სამხრეთ ნაწილებში, მზის ენერგიის ათვისება შესაძლებელია ტექნოლოგიურად და ეკონომიკურად მიზანშეწონილი ფორმით. მზის აქტივობის ბოლო წლების ტენდენციები ქმნის ხელსაყრელ წინაპირობებს სოლარული ენერგეტიკის განვითარებისათვის, რაც მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს ქვეყნის ენერგეტიკულ დამოუკიდებლობასა და გარემოსდაცვით მდგრადობაში. მთლიანობაში, მზის აქტივობის მონიტორინგი და მისი გავლენის ინტეგრირება საქართველოს კლიმატურ მოდელირებასა და ენერგეტიკულ დაგეგმვაში წარმოადგენს მნიშვნელოვან სტრატეგიულ მიმართულებას. რეკომენდებულია კვლევების გაღრმავება ინტერდისციპლინარული მიდგომებით, რაც ხელს შეუწყობს როგორც კლიმატური რისკების შეფასებას, ისე განახლებადი ენერგიის წყაროების ოპტიმალურ გამოყენებას ქვეყნის მასშტაბით.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Protection and Agriculture of Georgia. "Georgia's National Climate Change Report." Fourth National Communication to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Available at: <https://moe.gov.ge> .(2021).
2. NASA Goddard Space Flight Center. "The 11-Year Solar Cycle and Its Effects on Earth." Retrieved from: <https://solarscience.nasa.gov>. (2021).
3. National Environmental Agency of Georgia. "Climatic Data Trends and Long-Term Observations in Georgia." Regional Precipitation Regimes and Evaluation of National Precipitation Datasets in Georgia Journal of Hydrometeorology, Volume 25, Issue 4 .(2022).
4. Beridze, T. "Energy Security and the Potential of Renewable Sources in Georgia." Proceedings of the Energy Institute of Georgia, Vol. 22. (2020).
5. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). "Climate Change 2023: The Physical Science Basis." Available from: <https://www.ipcc.ch> <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9384-8> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). "Climate Change 2023: The Physical Science Basis." Available from: <https://www.ipcc.ch> <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9384-8>
6. NASA GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP) Gogichaishvili, G., Tsereteli, N., & Goguadze, N. "Recent Climate Change Trends in Georgia." Annals of Agrarian Science, 19(4), 419-425. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2021.08.001>.(2021).
7. Georgia's Sixth National Communication
8. IPCC Sixth Assessment Report "Regional fact sheet – Europe & Central Asia." https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/factsheets/IPCC_AR6_WGI_Regional_Fact_Sheet_Europe.pdf (2021).

UDC: 523.745

The impact and trends of solar activity on the climate and potential of Georgia / E.Khutsishvili / Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.78-83. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

Over the past several decades, fluctuations in solar activity have had a significant impact on both global and regional climate systems. This study explores the influence of solar activity on Georgia's climate and examines the potential of renewable energy, with a particular focus on solar energy utilization. The analysis is based on climate and astronomical data from 1975 to 2023. Results show a consistent rise in average temperatures across all regions of Georgia, which correlates with periods of increased solar activity. Notably, eastern Georgia exhibits high levels of solar radiation, indicating

strong potential for solar energy development. The study highlights key climate trends and emphasizes the importance of integrating solar potential into national energy planning under increasing energy demand and climate risks.

УДК: 523.745

Влияние и тенденции солнечной активности на климат Грузии и его потенциал /Э. Хуцишвили / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 78-83. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

За последние несколько десятилетий колебания солнечной активности оказали значительное влияние как на глобальные, так и на региональные климатические системы. В этом исследовании изучается влияние солнечной активности на климат Грузии и изучается потенциал возобновляемой энергии, с особым акцентом на использование солнечной энергии. Анализ основан на климатических и астрономических данных с 1975 по 2023 год. Результаты показывают последовательный рост средних температур во всех регионах Грузии, что коррелирует с периодами повышенной солнечной активности. Примечательно, что восточная Грузия демонстрирует высокий уровень солнечной радиации, что указывает на большой потенциал для развития солнечной энергетики. Исследование выделяет ключевые климатические тенденции и подчеркивает важность интеграции солнечного потенциала в национальное энергетическое планирование в условиях растущего спроса на энергию и климатических рисков.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-84-88

უკ:111.111

გვალვის მონიტორინგის შესაძლებლობები მანქანური სწავლების საშუალებით ანა ფალავანდიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
Palavandishvili.ana21@gtu.ge

რეზიუმე. ფიზიკის აქტუალურ პრობლემათა შორის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანია ატმოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების კვლევა თანამედროვე მეთოდების და ახალი მონაცემების გამოყენებით. ბუნებრივ კატასტროფებს შორის გვალვა ერთ-ერთ საშიშროებას წარმოადგენს მსოფლიოს ბევრი რეგიონისთვის, მათ შორის საქართველოსთვის. კვლევა ჩატარდა საქართველოს ტერიტორიაზე, აღებულია 1960-2022 წლების პერიოდის მონაცემები გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემთა ბაზიდან, ასევე გამოყენებულია ნალექის 1960-1990 კოპერნიკუსის ERA5-ის რეანალიზის მონაცემები, რომლებიც ვალიდაციის მიზნით შედარებულია საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული მიწისპირა სადგურების მონაცემებთან. საქართველოს მიწისპირა და სატელიტური წყაროების მონაცემების ანალიზით დადგინდა, რომ მანქანური სწავლების რეგრესიის მეთოდის გამოყენებით საკმარისია შეფასდეს 1960 - 2000 წლების მონაცემები სწავლებისთვის და 2001 - 2022 წლების მონაცემები ტრენინგისთვის. სატრენინგო ობიექტად შეირჩა SPI-3 სამ თვიანი ნალექის სტანდარტიზებული ინდექსი. მანქანური სწავლების მოდელის და ალგორითმის გამოყენება ნალექის განაწილების ანალიზის, გვალვის მონიტორინგის და პროგნოზირებისთვის მიზანშეწონილია როგორც საქართველოს, ასევე სხვა რეგიონებშიც დაკვირვების მონაცემებთან სათანადო ბაზის (60 წლიანი) პირობებში. მიღებული შედეგების გამოყენება რეკომენდირებულია ადრეული გაფრთხილების სისტემაში გვალვის მონიტორინგისთვის.

საკვანძო სიტყვები: მანქანური სწავლება, კლიმატის ცვლილება, გვალვის მონიტორინგი

შესავალი. ნალექის ცვალებადობის შეფასება სივრცესა და დროში გვალვის ადრეული გაფრთხილებისა და გარემოს მონიტორინგის მთავარი ასპექტია. თუმცა, სატელიტური მონაცემებიდან მიღებული შეფასებები იძლევა ადგილის საშუალო მაჩვენებლებს, რომლებიც გაფანტულია რთული რელიეფის გამო, რის გამოც ხშირად ექსტრემალური ნალექების ინტენსივობა ზუსტად არ ფასდება. ამის საპირისპიროდ, სადგურების მონაცემებით წარმოებული ნალექის ბადე ხარვეზიანია უფრო სოფლად, სადაც ნაკლები სადგურები და საგუმავოებია.

კვლევისათვის საჭირო მონაცემები აღებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს ბაზიდან. ეროვნული სააგენტოს მონაცემებით დაკვირვებები წარმოებს 1930 წლიდან, საქართველოს ტერიტორიაზე სადგურების მაქსიმალურმა რაოდენობამ მიაღწია 1960 წელს 170 ერთეულს.

გამომდინარე იქიდან, რომ საქართველოში გარკვეული სადგურები დაიკეტა 90 - იანი წლების პერიოდში, რადგან ხელსაწყოები არ იყო დაკალიბრებული ან იყო დაზიანებული, შესაბამისი პერიოდის მონაცემები არის ნაკლები სანდოობის. მონაცემებს გააჩნია წყვეტები, რაც წარმოადგენს დიდ პრობლემას ინდექსის გამოთვლისას და მანქანური სწავლებისთვის. ამიტომ ისტორიული მონაცემებისთვის შეირჩა ERA5 - ის რეანალიზის მონაცემები. ბადის უჯრედის ზომის სიდიდიდან გამომდინარე ვერ მოხერხდა სანაპირო ზოლის ახლოს მდებარე სადგურების შედარება.

სატელიტური CHIRPS - ისა და IMERG - ის ინფორმაციის შედარების საფუძველზე დადგინდა [8], რომ CHIRPS - ს საქართველოს ტერიტორიაზე არსებულ სადგურების მონაცემებთან აქვს კარგი კორელაცია. ის სადგურები, სადაც მონაცემების 50 % აკლდა ან არ შეესაბამებოდა რეალობას, არ დაექვემდებარა ანალიზს. აღსანიშნავია ისიც, რომ სატელიტი ვერ აღიქვამს მაღალმთიან რეგიონს, დაკვირვებას არ ექვემდებარება ზღვა, რადგან დადებული აქვს ფილტრი (mask), ამიტომ ხშირ შემთხვევაში სანაპირო ზოლზე ვერ ხერხდება სატელიტური მონაცემის მოპოვება, ამ შემთხვევაში ხდება სხვა ბადის ახლომდებარე ბადის უჯრის არჩევა.

განხორციელდა CHIRPS - ისა და სადგურის მონაცემების შედარება, რისთვისაც გამოთვლილ იქნა, სისტემური ცდომილება - BIAS, რომელიც გულისხმობს თანამგზავრიდან და მიწისპირა სადგურიდან გაზომილი ნალექების ყოველთვიური ჯამების სხვაობის შეფასებას. დათვლილ იქნა ასევე, კორელაცია დაკვირვების მთელი პერიოდისთვის, ყველა თვის და წლისთვის, საშუალო აბსოლუტური ცდომილებები და სტანდარტული გადახრა იმავე პრინციპით. გამოთვლებმა აჩვენა, რომ იმ სადგურებში, სადაც დაკვირვების

პერიოდიდან არ არსებობს მონაცემთა 50%-ზე მეტი მაგალითად, მანგლისში, შეუძლებელია სტატისტიკური ანალიზის ჩატარება. გამოვლინდა სულ ცხრა ასეთი სადგური. სტატისტიკური მახასიათებლების გამოთვლის ანალიზიდან ირკვევა, რომ ყველაზე დაბალი კორელაციური მნიშვნელობები 0.33 არის მთა-საბუეთის სადგურზე და მაქსიმალური 0.72 - შოვის სადგურზე, მინიმალური საშუალო აბსოლუტური ცდომილება არის 18.8 გორის სადგურზე, და მაქსიმალური - 83.2 ბათუმის სადგურზე, ყველაზე მცირე სტანდარტული გადახრა არის 23.4 გორის სადგურზე, უდიდესი - 118.46 მირვეთის სადგურზე, რაც ახსნადია ზღვისპირა და მთაგორიანი რელიეფის გათვალისწინებით. მაღალი კორელაციის კოეფიციენტი უკეთ გამოხატავს სატელიტისა და სადგურის მონაცემების თანხვედრას.

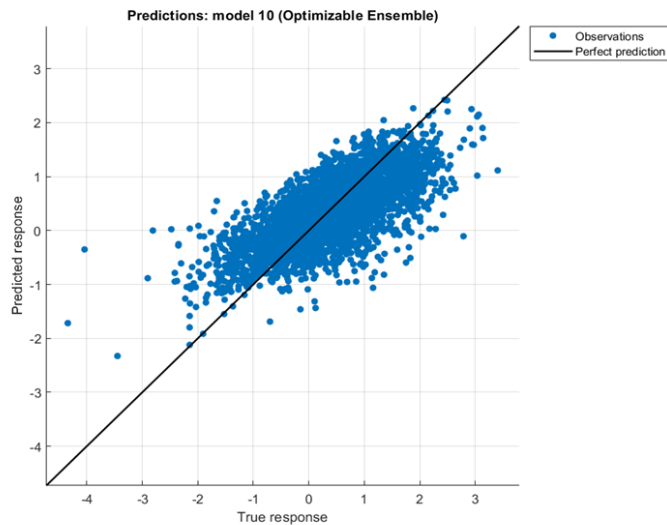
R - instat პროგრამული უზრუნველყოფა გამოიყენებოდა პირსონის კორელაციის და სხვა სტატისტიკური პარამეტრების გამოსათვლელად. სადგურები, რომლებიც გამოტოვებულია, შეუძლებელი იყო ანალიზის გაკეთება. შედარებულ იქნა ისტორიული ნალექის მონაცემები 1961 - 1991 წლებში ERA5 - ის ნალექის რეანალიზის მონაცემებთან. კახეთის რეგიონზე შეირჩა 19 სადგური. რა თქმა უნდა, ანალიზს არ დაექვემდებარა ის პუნქტები, სადაც არ იყო საკმარისი მონაცემი.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. მონაცემთა შედარების შედეგად გამოიკვეთა ყველაზე დაბალი კორელაციის მაჩვენებელი (0,309) სადგურ შირაქზე, მაქსიმალური (0,657) სადგურ ომალოზე. მინიმალური საშუალო აბსოლუტური ცდომილება (1,662) დაფიქსირდა სადგურ უდაბნოზე, მაქსიმალური (3,041) - სადგურ შილდაზე. ყველაზე მცირე სტანდარტული გადახრა (4,047) არის სადგურ უდაბნოზე, უდიდესი (7,624) - სადგურ ლაგოდეხზე. 1961 - 1991 წლების სადგურის ისტორიული და ERA5-ის რეანალიზის მონაცემების შედარებით ჩანს, რომ მოდელისთვის გამოდგება ალტერნატიულ მონაცემთა ბაზად, როგორც კახეთის, ასევე საქართველოს მთელი ტერიტორიაზე. დათვლილ იქნა climact2 R - პროგრამული ენის პაკეტის დახმარებით SPI და SPEI ინდექსები. ამავე დროს, განხორციელდა მონაცემთა ხარისხის კონტროლი, გაანალიზდა მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურის ტენდენციები, შეფასდა გვალვის ინდექსები 3, 6, 9 და ერთ წლიანი დროითი ბიჯებით. გამოთვლილ იქნა 3 თვიანი პერიოდისთვის SPI და SPEI. ანალიზმა აჩვენა, რომ 3 თვიანი ნალ სრულყოფილად ასახავს მეტეოროლოგიური, სასოფლო-სამეურნეო, სოციალურ-ეკონომიური გვალვის სიმკაცრეს.

განხილულ იქნა გვალვის განვითარების ტენდენციის შეფასების შესაძლებლობა. ქვემოთ მოყვანილია (ნახაზები 8 - 10) რამდენიმე ლოკაციისთვის climact2 პაკეტის გამოყენებით დათვლილი და ვიზუალიზირებული SPI 24 (2 წლიანი) ნალექის სტანდარტიზებული ინდექსი, რომელიც კარგად გვაჩვენებს გვალვის განვითარების ტენდენციას ბოლო 60 წლის განმავლობაში შერჩეულ რეგიონებში. SPI და SPEI ინდექსების ეფექტურობის ანალიზისთვის, ერთმანეთს შედარდა სამი სადგურის მონაცემები. სადგურ თელავში დაფიქსირდა SPI -ის მინიმალური მნიშვნელობა -3,62 და მაქსიმალური 2,43, ხოლო SPEI - ის მინიმალური მნიშვნელობა 2,52 და მაქსიმალური 2,43. ამ სადგურზე უფრო გამოკვეთილია გვალვის ტრენდები SPI - ის გამოყენებით.

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. პირველი მოდელის დამხმარე ვექტორული მანქანის (SVM) მიერ გენერირებული მოდელის შეფასებისთვის პარამეტრებია : RMSE - 0,58848, R2 _0.64, MSE_0.34631, MAE_0.45479, პროგნოზის სიჩქარე ~430000 obs/sec (დაკვირვება წამში), სწავლების დრო - 30,296 წმ, ფოთლის მინიმალური ზომა - 45 (ოპტიმიზებული პარამეტრი), ჰიპერპარამეტრული ძებნის რანჟირება: მინიმალური ფოთლის ზომა_1-3420. ყველა ეს პარამეტრი საჭიროა რათა შეფასდეს მოდელი.

გადაჭარბებული მორგებისაგან თავის აცილების მიზნით დამატებულ იქნა კიდევ ქართლის რეგიონის დამატებით 30 სადგური. ამ შემთხვევაშიც სწავლებაში შევიდა კოორდინატები, წელი, თვე, თვის ნალექის ჯამი, მაგრამ მიუხედავად დამატებული მონაცემებისა დაფიქსირდა მსგავსი შემთხვევა. ნახაზიდან 15 - ჩანს, რომ მონაცემები იმეორებს საუკეთესო პროგნოზის მრუდის ფორმას, რაც მეტყველებს გადაჭარბებულ მორგებაზე. ცნობილია, რომ 2022 წლისთვის მიწისპირა სადამკვირვებლო ქსელიდან აქტიური დარჩა 3 სადგური, ამიტომ დაგვირდება მათი სატელიტის ან კოპერნიკუსის მონაცემთა ბაზის ინფორმაციით ჩანაცვლება. რეგრესიის ალგორითმის ტრენინგისას ყველაზე კარგი შედეგი აჩვენა Bagged trees ანსამბლირებულმა ოპტიმიზირებულმა ალგორითმმა. სწავლის დრო 326,21 წმ - ია, პროგნოზირების სისწრაფე - ~ 7900 დაკვირვება/წამში, მახასიათებელი პარამეტრები RMSE - 0,5046, R2- 0,64, MSE - 0,25466, MAE - 0,38065.



ნახ. 1. გამოსახულია დაკვირვებების წერტილები და ყველაზე კარგი პროგნოზი.

ამ ნახაზის ანალიზის მიხედვით შეგვიძლია ვიმსჯელოთ თუ როგორი მოდელია. თუ მონაცემი (წერტილები) არის ძალიან გაბნეული ეს მიუთითებს იმაზე რომ არის არასაკმარისი მორგება ანუ Underfitting, ხოლო წერტილები, რომლებიც ახლოსაა პროგნოზის მრუდთან (წრფესთან) მიუთითებს გადაჭარბებულ მორგებაზე ანუ Overfitting - ზე. როცა წერტილთა დიდი ნაწილი თავმოყრილია ერთ არეში შეიძლება დავასკვნათ, რომ მოდელი არის კარგი მორგების, ე.ი. დამაკმაყოფილებელი მინიმალური ფოთლის ზომა არის 19, ოპტიმიზაციის მიზნით მინიჭებულია 40 იტერაცია, ნაცვლად 30 იტერაციისა. ცისფრად აღნიშნულია სავარაუდო მინიმალური საშუალო კვადრატული გადახრა, ლურჯით დაკვირვებადი მინიმალური საშუალო კვადრატული გადახრა. სწავლების სისწრაფეა 0,27325.

სწავლების ეტაპის შემდეგ მოდელი დაექვემდებარა 2001-2022 წლების მონაცემებზე მორგებას (fitting - ს) შემდგომი პროცესინგისთვის. აღსანიშნავია ისიც, რომ მორგებისა და პროგნოზის პროცესის ჩასატარებლად შეირჩა ის სადგურები, რომლებიც ოპერირებდნენ 2001 - 2022 წლების მანძილზე, რამდენიმე წლის განმავლობაში მაინც. ამის შემდეგ ისინი შეივსო CHIRPS - ის სატელიტური მონაცემით.

პროგნოზის განსახორციელებლად საჭირო გახდა წრფივი რეგრესიის განტოლების გამოთვლა თითოეული სადგურისთვის, MatLab სივრცეში polyfit ფუნქციის გამოყენებით. კოეფიციენტების გამოთვლის შემდეგ, MatLab -ის სივრცეში polyval ფუნქციით გამოითვალა პოლინომები. საპროგნოზო სცენარის პირველ შემთხვევაში ნალექის რაოდენობა განისაზღვრა 0 სმ - დან 10 სმ - მდე, რადგან ჩვენთვის საინტერესოა მცირე ნალექის რაოდენობის შემთხვევაში გვალვის განვითარების პროცესი.

ცხრილი 1. ნალექის სტანდარტიზებული ინდექსი (SPI), 0 სმ - დან 10 - სმ - ის ჩათვლით ნალექის პროგნოზი კახეთის ზოგიერთი რეგიონისთვის.

საპროგნო ზო ნალექი (სმ)	დედოფლი სწყარო	საგარეჯო	გურჯაანი	ყვარელი	ლაგოდეხი	ომალო	თელავი
0	-0.270	-0.336	-0.008	- 0.002	-0.524	0.270	-0.568
1	-0.021	-0.057	-0.097	-0.012	-0.269	0.429	-0.325
2	0.227	0.220	-0.186	-0.026	-0.014	0.587	-0.083
3	0.475	0.498	-0.275	-0.041	0.240	0.746	0.159
4	0.724	0.776	-0.365	-0.054	0.495	0.905	0.402
5	0.973	1.054	-0.454	-0.068	0.750	1.064	0.645
6	1.222	1.333	-0.543	-0.082	1.005	1.222	0.888
7	1.470	1.611	-0.633	-0.096	1.260	1.381	1.131

8	1.719	1.889	-0.722	-0.110	1.514	1.540	1.374
9	1.968	2.167	-0.811	-0.124	1.769	1.698	1.617
10	2.217	2.445	-0.901	-0.138	2.024	1.857	1.860

ანალიზმა აჩვენა, რომ გურჯაანი და ყვარელი ნალექის მცირე რაოდენობის მიმართ უფრო მოწყვლადია, ასევე გამოიკვეთა ნაკლებად მოწყვლადი რეგიონებიც - დედოფლისწყარო, საგარეჯო, ლაგოდეხი. ამ შედეგების გაანალიზებისას, გასათვალისწინებელია სადგურის სიმაღლე ზღვის დონიდან და ტენიანობა, ასევე, ის ფაქტი, რომ სატელიტური მონაცემის გარკვეული ნაწილი არ მოიძებნა ართანასა და მელაანის სადგურის შემთხვევაში, რის გამოც მოდელმა ვერ მოიცვა კახეთის სრული რეგიონი.

დასკვნა

- 1) ატმოსფერული პროცესების, კერძოდ ნალექწარმოქმნის პროცესების ამსახველი განტოლებების და მათემატიკური მოდელების შესწავლის შედეგად დადგინდა, რომ ამოცანის კომპლექსური და მრავალპარამეტრიანი ხასიათიდან გამომდინარე, არსებული მოდელები არ იძლევა პროცესების სრულყოფილ აღწერას და ზუსტი ანალიზური ამოხსნების ჩაწერის შესაძლებლობას, არის მიახლოებითი და შრომატევადი.
- 2) კვლევის ალტერნატიული მეთოდის სახით, შერჩეულ იქნა სიმულაციური მეთოდი მანქანური სწავლების გამოყენებით. მანქანური სწავლების ზედამხედველური მეთოდის გამოყენება ოპტიმალურია ანალოგიური კომპლექსური ამოცანების შემთხვევაში. მანქანური სწავლების ზედამხედველობითი რეგრესიის ალგორითმებიდან ყველაზე კარგი შედეგი მიღებულ იქნა Bagged Trees - ს ოპტიმიზირებული მოდელით.
- 3) მანქანური სწავლების წარმოდგენილ მოდელისთვის ოპტიმალურია შემდეგი შემავალი პარამეტრების გამოყენება: სადგურის დასახელება, წელი, თვე, თვის ნალექის ჯამი, მოდელის სწავლების საპასუხო ცვლადის სახით - სტანდარტიზებული ნალექის ინდექსი - SPI, არ არის აუცილებელი დაკვირვების სადგურის კოორდინატები.
- 4) სატელიტური დაკვირვების ბაზების CHIRPS - ის და IMERG - ის მონაცემთა შედარების შედეგად დადგინდა, რომ CHIRPS - ის მონაცემები კარგ თანხვედრაშია საქართველოს ტერიტორიაზე მიწისპირა სადგურების 2000 – 2020 წლების დაკვირვებების მონაცემებთან.
- 5) სტანდარტიზებული ნალექის ინდექსის (SPI) გამოყენება უკეთესად ასახავს გვალვის მზარდ ტრენდს კახეთის რეგიონში, ვიდრე ნალექის ევაპოტრანსპირაციის სტანდარტიზებული ინდექსი (SPEI).
- 6) საქართველოს მიწისპირა და სატელიტური წყაროების მონაცემების ანალიზით დადგინდა, რომ მანქანური სწავლების რეგრესიის მეთოდის გამოყენებით საკმარისია SPI ინდექსი შეფასდეს 1960 - 2000 წლების მონაცემებით სწავლებისთვის და 2001 - 2022 წლების მონაცემებით ტრენინგისთვის.
- 7) მიწისპირა სადგურების ისტორიული და ERA5 - ის რეანალიზის მონაცემების (1961 - 1991 წწ.) შედარებით (კახეთის რეგიონში), დადასტურდა ERA5 - ის მონაცემების გამოყენების შესაძლებლობა ალტერნატიულ მონაცემთა ბაზად მოდელისთვის, როგორც კახეთის, ასევე საქართველოს მთელი ტერიტორიისთვის.
- 8) პროგნოზირების ალგორითმით გამოიკვეთა კახეთის რეგიონში გვალვისადმი მოწყვლადი რაიონები.
- 9) მანქანური სწავლების წარმოდგენილი მოდელის და ალგორითმის გამოყენება ნალექის განაწილების ანალიზის, გვალვის მონიტორინგის და პროგნოზირებისთვის შესაძლებელია როგორც საქართველოს, ასევე სხვა რეგიონებშიც დაკვირვების მონაცემთა სათანადო ბაზის (60 წლიანი) პირობებში.
- 10) მიღებული შედეგების გამოყენება რეკომენდირებულია ადრეული გაფრთხილების სისტემებში გვალვის მონიტორინგის და პროგნოზირებისთვის.

ლიტერატურა - References - Литература

- [1]. A. Palavandishvili. Structural data set in environmental issued. The Regional Student Scientific and Practical Conference Digital Transformation in Engineering Human - Computer Interaction, Georgian Technical University (GTU), Faculty of Informatics and Control Systems. 2021.
- [2]. M. Tatishvili, Z. Khvedelidze, I. Samkharadze, A. Palavandishvili. Atmosphere processes and climate parameters variation in River Mtkvari basin. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “ზუნებრივი კატასტროფები საქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგების შერბილება”. შრომათა კრებული. 2019. ISBN 978-9941-13-899-7.
- [3]. mathwork - Matlab Statistics and Machine Learning Toolbox documentation (2016). stats.pdf (mathworks.com) გადამოწმებულია 07.06.2023.

- [4]. Mathwork - Statistics and Machine Learning Toolbox Release notes rn.pdf (mathworks.com) გადმოწმებულია 07.06.2023.
- [5]. M. Tatishvili, T. Tsintsadze, I. Samkharadze, A. Palavandishvili. Dependence of meteorological parameters on geomagnetic storms in Georgia. International Scientific Journal. Environmental Studies. 2019, v.8. issue 1, ISBN-9781671503274.

UDC:111.111

Drought monitoring capabilities through machine learning /Ana Palavandishvili/ Transactions IHM, GTU. -2025. - vol.136. -pp.84-88. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

One of the key current problems in physics is studying atmospheric physical processes using modern methods and new data. Drought is among the most serious natural threats for many regions worldwide, including Georgia. This study focused on Georgia, using data from 1960–2022 obtained from the National Environmental Agency, as well as Copernicus ERA5 precipitation reanalysis data from 1960–1990, which were compared with ground station data in Georgia for validation. The analysis of ground and satellite data showed that using machine learning regression methods, data from 1960–2000 are sufficient for training, while 2001–2022 data can be used for testing. The SPI-3 (three-month Standardized Precipitation Index) was chosen as the target variable. Applying machine learning models and algorithms for precipitation analysis, drought monitoring, and forecasting is appropriate for Georgia and other regions with a 60-year observational record. The results are recommended for use in early warning systems for drought monitoring..

УДК: 111.111

Возможности мониторинга засухи с помощью машинного обучения /Ана Палавандишвили / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 84-88. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Одной из важнейших современных проблем физики является изучение физических процессов, происходящих в атмосфере, с использованием современных методов и новых данных. Среди стихийных бедствий засуха является одной из угроз для многих регионов мира, включая Грузию. Исследование проводилось на территории Грузии с использованием данных базы данных Национального агентства по охране окружающей среды за период 1960-2022 гг., а также данных реанализа осадков Copernicus ERA5 за период 1960-1990 гг., которые для проверки сравнивались с данными наземных станций на территории Грузии. Анализ данных наземных и спутниковых источников в Грузии показал, что при использовании метода регрессии машинного обучения для обучения достаточно оценить данные за 1960-2000 годы, а для тренировки — данные за 2001-2022 годы. В качестве объекта обучения был выбран трехмесячный стандартизированный индекс осадков SPI-3. Использование моделей и алгоритмов машинного обучения для анализа распределения осадков, мониторинга и прогнозирования засух целесообразно как в Грузии, так и в других регионах при наличии соответствующей базы данных наблюдений (60 лет). Полученные результаты рекомендуется использовать в системах раннего оповещения при мониторинге засух.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-89-101

უკ. 551.50.501.7

**აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარული აუზების მცინვარების და თოვლნარების
მორფოლოგიისა და ექსპოზიციის შესწავლის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური
დაკვირვების საფუძველზე***

¹შენგელია ლ., ¹კორმახია გ., ²თვაური გ., ³გულიაშვილი გ., ³მაძამია მ.

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

²თბილისის ივ. ჯავახიშვილის სახ. უნივერსიტეტის ელ. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის ინსტიტუტი

³გარემოს ეროვნული სააგენტო

Larisa.shengelia@gmail.com

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

რეზიუმე. სტატიაში წარმოდგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარული აუზების მცინვარების-
სა და თოვლნარების მორფოლოგიისა და ექსპოზიციის კვლევის შედეგები კატალოგის და თანამგზავრული
დისტანციური დაკვირვების 2010, 2015 და 2020 წლების მონაცემების მიხედვით. გამოყენებულია
მცინვარების ექსპოზიციის დადგენის თანამედროვე მეთოდი, რომელიც აპრობირებულია და მიღებულია
მსოფლიოში. ეს მეთოდი პრაქტიკულად გამორიცხავს შეცდომებს მცინვარების ექსპოზიციის შესწავლის
დროს. მოყვანილია კლიმატის მიმდინარე ცვლილების შედეგად აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარული
აუზების სხვადასხვა მორფოლოგიური ტიპებისა და ექსპოზიციის მქონე მცინვარებისა და თოვლნარების
რაოდენობისა და ფართობების ცვლილების შესწავლის შედეგები.

საკვანძო სიტყვები: აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარები და თოვლნარები, კლიმატის ცვლილება, მცინვარული აუზები,
მცინვარების მორფოლოგია და ექსპოზიცია.

შესავალი. საქართველოში მცინვარების შესწავლა დაიწყო საქართველოს სამხედრო გზის
გაყვანასთან დაკავშირებით მე-19 საუკუნის 60-იან წლებში, ხოლო მე-20 საუკუნის 60-იან წლებში შეიქმნა
ყოფილი საბჭოთა კავშირის მცინვარების კატალოგი და შესაბამისი ტოპოგრაფიული რუკები, სადაც
გამოყენებული იქნა საუკუნოვანი კვლევის შედეგები. მას შემდეგ ჩატარებულ კვლევებში, მათ შორის
თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების გამოყენებით, განხილულია მცინვარების წრფივი
პარამეტრებისა (მცინვარების სიგრძის, ზედა და ქვედა წერტილების მდებარეობის და სხვა) და ფართობების
დროში ცვლილების საკითხები, თუმცა ინფორმაცია მცინვარების მორფოლოგიური ტიპებისა და
ექსპოზიციის შესახებ მოყვანილია კატალოგიდან.

ამგვარად შეიქმნა აუცილებლობა შეგვესწავლა საქართველოს მცინვარების მორფოლოგია და
ექსპოზიცია. კლიმატის მიმდინარე ცვლილება იწვევს მცინვარების მახასიათებლების ცვლილებას, მათ
დეგრადაციას, რაც ხშირად მცინვარების დანაწევრებას, მცირე ზომის მცინვარების გამოყოფას უკავშირდება,
რომლებსაც ძირითადი მცინვარისგან განსხვავებული მორფოლოგია და ექსპოზიცია შეიძლება ჰქონდეთ.

ჩატარებული სამუშაოს ამოცანაა აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების მორფოლოგიის და
ექსპოზიციის განაწილების კვლევა ოთხ ვადაზე. ამჟამად შესწავლილია აღმოსავლეთ საქართველოს
მცინვარები და მათი მახასიათებლები კატალოგის (ერთი ვადა) [1, 2, 3] და თდზ-ის 2010 (პირობითად, თდზ
1), 2015 (პირობითად, თდზ 2), და 2020 (პირობითად, თდზ 3) წლების (სამი ვადა) მონაცემების მიხედვით.

ძირითადი ნაწილი

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. აღმოსავლეთ საქართველო ძირითადად გაშლილია
კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედის (კავკასიონის მთავარი წყალგამყოფი ქედი – უწყვეტი ქედი, კავ-
კასიონის სისტემის ოროჰიდროგრაფიული ღერძი, რომელიც ყოფს ჩრდილო და სამხრეთ კავკასიის
მდინარეთა აუზებს) სამხრეთით, თუმცა მცირე ნაწილი მთავარი წყალგამყოფის ჩრდილოეთითაც გადადის.
ეს არის საქართველოს ის ნაწილი, მთების ზოლგახოხისა (დასავლეთით) და შავიკლდის (აღმოსავლეთ-
ით) შორის მონაკვეთზე წყალგამყოფის ჩრდილო ფერდობზე რომ გადადის. ამ ნაწილს უჭირავს მდინარე
პირიქითი ალაზნის (დაღესტანში ჰქვია ანდის ყოისუ) ზემო აუზი – თუშეთი, აგრეთვე მდინარეების:
თერგის, ასას (საქართველოში ჰქვია არხოტისწყალი) და არღუნის ზემო დინებათა აუზები.

კავკასიონის ჩრდილოეთ გვერდით ქედზე და შტო ქედებზე (ტოტებზე) ფართოდ არის წარმოდგენილი მცინვარები და მუდმივი თოვლი, რაც საქართველოს ფარგლებში გამოხატულებას ჰპოვებს ხოხისა და პირიქითის ქედებზე, აგრეთვე ყუროს, შავანის, კიდეგანისა და ხევსურეთის მერიდიანულ ქედებზე.

აღმოსავლეთ საქართველოში კატალოგიით აღრიცხულია 132 მცინვარი, რომლებიც განთავსებულია ექვს მცინვარულ აუზში. განსხვავებით დასავლეთ საქართველოს მცინვარებისაგან, რომლებიც ერთიანად და თანმიმდევრულად არის მოცემული ერთ გამოცემაში [4], აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარები წარმოდგენილია ყოფილი საბჭოთა კავშირის მცინვარების კატალოგის სამ სხვადასხვა გამოცემაში [1, 2, 3] და ამოკრებილია აუზების მიხედვით.

0.1 კმ² მეტი ფართობის მქონე მცირე, საშუალო და დიდი მცინვარები სწრაფად დეგრადირდებიან, იკლებს მათი რაოდენობა და დაკავებული ფართობები. ამავე დროს თოვლნარების (ფართობი – 0.1 კმ²-ზე ნაკლები) რაოდენობა და დაკავებული ფართობები თვალსაჩინოდ იზრდება, რაც უდაოდ, კლიმატის მიმდინარე ცვლილებას უკავშირდება. დადგენილია, რომ კლიმატის მიმდინარე ცვლილების გამო მიმდინარეობს მცინვარული აუზების დეგრადაცია, დიდი მცინვარების (2 კმ²-ზე მეტი ფართობის) უკანდახევა (ხშირად მცირე ზომის მცინვარების გამოყოფით), საშუალო (0.5-დან 2 კმ²-მდე ფართობის) და მცირე მცინვარების (0.1-დან 0.5 კმ²-მდე ფართობის) [5] დნობა და დანაწევრება. მცინვარების კატალოგში 0.1 კმ² ნაკლები ფართობის მცინვარები (თოვლნარები) არ განიხილება.

წარმოდგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარული აუზების მცინვარების და თოვლნარების მორფოლოგიისა და ექსპოზიციის შესწავლის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების საფუძველზე. უნდა აღინიშნოს, რომ კატალოგში დასავლეთ საქართველოს მცინვარები მიკუთვნებულია ოთხ მორფოლოგიურ ტიპს, ესენია: 1. კარული, 2. კარული-ხეობის, 3. ხეობის და 4. დაკიდული [6–9]. ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარები მიკუთვნებულია შვიდ მორფოლოგიურ ტიპს. ზედა ოთხს ემატება კიდევ სამი დაკიდული მცინვარის სახეობები: 5. კარული-დაკიდული, 6. დაკიდული-კარული, 7. დაკიდული-ხეობის [2, 5]. ამის მიზეზად შეიძლება ჩაითვალოს, რომ საქართველოს მცინვარების შესწავლა დაევა ორ სხვადასხვა ინსტიტუტს, დასავლეთ საქართველოს მცინვარების – ვახუშტის სახელობის გეოგრაფიის ინსტიტუტს (ხელმძღვანელი ლევან მარუაშვილი), ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოს – ამიერკავკასიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტს და ჰიდრომეტეოროლოგიის სამმართველოს (ხელმძღვანელი ვასილ ცომაია).

საწყის მონაცემებად აღებულია კატალოგის მონაცემები, ამიტომ თანამგზავრული დისტანციური დაკვირვების საფუძველზე მიღებული აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების მორფოლოგიური ტიპები ასევე შვიდი გრადაციითაა შესწავლილი.

გამოყენებულია მაღალი გარჩევადობის LANDSAT-ის თანამგზავრებით მოპოვებული სურათები (გარჩევადობა 15–30 მ) სამი ვადისთვის (2010, 2015 და 2020 წლებისათვის), ამასთან გრანტის ფარგლებში ჩვენთვის ხელმისაწვდომი აღმოჩნდა ზემოაღნიშნული გარჩევადობის (1.5 მ) SPOT 6 თანამგზავრის 2017–2022 წლების თანამგზავრული სურათები, რომელთა საშუალებით დაზუსტდა აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების მდებარეობა და დადგინდა მათი თანამედროვე მდგომარეობა. თდზ-ის მონაცემები დამუშავებულია GIS (გეოინფორმაციული სისტემები) ტექნოლოგიების გამოყენებით.

კვლევის შედეგები და განსჯა. საქართველოს მცინვარები საკმაოდ მაღალი მცინვარებია (მცინვარი შხარა აღწევს 5174 მეტრს), ამიტომ ისინი მთის მცინვარებს მიეკუთვნებიან. საქართველოს მთის მცინვარების ძირითადი მორფოლოგიური ტიპებია: კარული, ხეობის და დაკიდული მცინვარები, აგრეთვე გარდამავალი ტიპები – კარულ-ხეობის, დაკიდულ-კარული, დაკიდულ-ხეობის, კარულ-დაკიდული [2, 5].

კარული მცინვარი შედარებით მცირე ზომის მცინვარია, რომელიც მდებარეობს მთის ფერდობზე თოვლის და ყინულის მოქმედებით წარმოქმნილ თასისმაგვარ ფორმაში – კარში. მცინვარს შეიძლება ეკავოს მთელი კარი, ან მისი გარკვეული ნაწილი და როგორც წესი, პატარა ენით მთავრდებოდეს. კარის გამოსასვლელში იგი შემოფარგლულია ბოლო მორენული სერიით. კარული მცინვარის კვებაში დიდ როლს გადაქარული თოვლი და თოვლის ზვავები ასრულებს. ამ დროს ხდება თოვლის კონცენტრაცია მცინვარზე. ამის გამო, რომ ხშირად კარული მცინვარები თოვლის ხაზის ქვემოთ მდებარეობს.

იმ შემთხვევაში, თუ კარული მცინვარი მის ქვემოთ მდებარე ხეობაში ჩადის და მცინვარის ენა საერთო სიგრძის ერთ ან ორ მესამედზე მეტი არ არის. ასეთ მცინვარს **კარულ-ხეობის** ეწოდება. კარულ-ხეობის მცინვარები გარდამავალია კარულიდან ხეობის მცინვარებამდე. მისი ძირითადი ნაწილი განლაგებულია კარში და ენა ეშვება ხეობის ზემო წელში.

ხეობის მცინვარი ხეობის სათავესა და ხეობის შუა მონაკვეთში მდებარეობს. ხეობის მცინვარი მთის მცინვარია, რომლის ენა ხეობაშია, ხოლო ფირნის აუზი – ხეობის სათავეში თასის მაგვარ ფორმაშია მოთავსებული.

ხეობის მცინვარებს მიეკუთვნება მარტივი ანუ ალპური ტიპის მცინვარები, რომლებიც ერთი ნაკადისგან შედგება, და რთული ანუ დატოტვილი მცინვარები, რომლებიც რამდენიმე დამოუკიდებელი ტოტისაგან შედგება. **ხეობის რთული** მცინვარი წარმოიქმნება ორი ან მეტი მცინვარული ნაკადისგან დამოუკიდებელი კვების არეებით. შერწყმისას ასეთი ნაკადები, როგორც წესი, ბოლომდე ინარჩუნებენ დამოუკიდებელ სტრუქტურას და შეერთების შემდეგ შუა მორენით არიან გაყოფილი. ხეობის რთული ტიპის მცინვარები გვხვდება მხოლოდ მდ. ენგურის აუზში. იმ შემთხვევაში, როდესაც დეტალურად განიხილავენ ცალკეულ დიდ მცინვარს, მაშინ ხდება გამოყოფა მარტივი თუ რთული ხეობის ტიპისაა მცინვარი.

დაკიდული მცინვარი მცირე ზომისაა, მიედინება მთის ფერდობებზე მცირე ნიშებიდან და დეპრესიებიდან. იგი მთის ციცაბო ფერდობზე სუსტად გამოხატულ ჩაღრმავებაში მდებარეობს და ძირითადი ხეობის ფერდობზე მაღლა მთავრდება. მისი მაღალი მდებარეობის გამო ყინულის დნობა მცირეა. უფრო ხშირად დაკიდული მცინვარის შემცირება მისი ენის ჩამონგრევით ხდება. ინტენსიური ნგრევის დროს ყინული ფერდობის ძირში გროვდება და განახლებული მცინვარი (აღორძინებული) წარმოიქმნება. დაკიდულ ან დაკიდულ-კარულ მცინვარებს შეიძლება მივაკუთვნოთ თხემის ახლოს კულუარებში განლაგებული მცინვარებიც ანუ **მწვერვალის ბრტყელი მცინვარიც**, როგორიცაა თერგის აუზში მდებარე №93 მცინვარი. კატალოგის მიხედვით აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარებს შორის იგი ერთადერთია, რომელსაც აქვს მინიჭებული მორფოლოგიური ტიპი – **მწვერვალის ბრტყელი მცინვარი**. **მწვერვალის ბრტყელი მცინვარები** არის ბრტყელ-ამოხეილი გუმბათები, რომლებიც მთავრდება ციცაბო ფლატეებით და ერთი ან ორი მცინვარული ენით (<https://studfile.net/preview/1764867/page:2/>). ტოპოგრაფიული რუკის მიხედვით №93 მცინვარი არის კარულ-დაკიდული, ამიტომ №93 მცინვარის მორფოლოგიური ტიპი (კატალოგით) შევასწორედ – **კარულ-დაკიდულით**.

კარულ-დაკიდული მცინვარები გარდამავალია კარულიდან დაკიდულ მცინვარამდე.

დაკიდულ-კარული მცინვარები გარდამავალია დაკიდულიდან კარულ მცინვარამდე.

დაკიდულ-ხეობის მცინვარები გარდამავალია დაკიდულიდან ხეობის მცინვარამდე.

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

აღმოსავლეთ საქართველოს ექვს მცინვარულ აუზში, კატალოგის მიხედვით არის 132 მცინვარი (ცხრილი 1). ესენია: ლიახვი 1–22 [1], არაგვი 23–27 [1], თერგი 44–111 [2], ასა 1–3 [3], არლუნი 10–15 [3], პირიქითი ალაზანი 6–33 [1].

ცხრილი 1. აღმოსავლეთ საქართველოში მცინვარების განაწილება მცინვარულ აუზებში კატალოგის მიხედვით

აღმოსავლეთ საქართველო							
№	1	2	3	4	5	6	7
მცინვარული აუზი	ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
მცინვარების რაოდენობა	22	5	68	3	6	28	132

აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარულ აუზებში ოთხი ვადისათვის მორფოლოგიური ტიპების განაწილება რაოდენობისა და ფართობის მიხედვით წარმოდგენილია მე-2 ცხრილში.

ცხრილი 2. აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარულ აუზებში მცინვარების მორფოლოგიური ტიპების განაწილება კატალოგის (ა) და თდზ-ის 2010 (ბ), 2015 (გ), 2020 (დ) წლის მონაცემებით, რაოდენობისა და ფართობის მიხედვით

ა

კატალოგით								
მორფოლოგიური ტიპი (რაოდენობა და ფართობი)		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არღუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
კარული	რაოდ.	18	2	26	2	5	17	70
	ფართ.	3.4	0.3	7.8	0.8	1.1	5.0	18.4
კარულ-ხეობის	რაოდ.	0	0	0	1	0	2	3
	ფართ.	0	0	0	0.9	0	1.0	1.9
ხეობის	რაოდ.	1	1	2	0	0	4	8
	ფართ.	1.7	0.7	9.1	0	0	2.1	13.6
დაკიდული	რაოდ.	0	1	18	0	1	3	23
	ფართ.	0	0.1	6.9	0	0.2	0.3	7.5
კარულ-დაკიდული	რაოდ.	3	1	9	0	0	1	14
	ფართ.	0.4	0.1	3.3	0	0	0.1	3.9
დაკიდულ-კარული	რაოდ.	0	0	4	0	0	1	5
	ფართ.	0	0	1.0	0	0	0.3	1.3
დაკიდულ-ხეობის	რაოდ.	0	0	9	0	0	0	9
	ფართ.	0	0	35.8	0	0	0	35.8
სულ რაოდენობა		22	5	68	3	6	28	132
სულ ფართობი		5.5	1.2	63.9	1.7	1.3	8.8	82.4

ბ

თდზ 2010								
მორფოლოგიური ტიპი (რაოდენობა და ფართობი)		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არღუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
კარული	რაოდ.	11	0	19	2	5	15	52
	ფართ.	1.5	0	4.0	0.6	0.7	2.9	9.7
კარულ-ხეობის	რაოდ.	0	0	0	1	0	1	2
	ფართ.	0	0	0	0.8	0	0.5	1.3
ხეობის	რაოდ.	1	1	2	0	0	4	8
	ფართ.	1.2	0.4	7.7	0	0	1.2	10.5
დაკიდული	რაოდ.	0	0	26	0	1	5	32
	ფართ.	0	0	6.3	0	0.1	0.7	7.1
კარულ-დაკიდული	რაოდ.	1	0	5	0	0	0	6
	ფართ.	0.1	0	1.0	0	0	0	1.1
დაკიდულ-კარული	რაოდ.	0	0	3	0	0	1	4
	ფართ.	0	0	0.6	0	0	0.2	0.8
დაკიდულ-ხეობის	რაოდ.	0	0	10	0	0	0	10
	ფართ.	0	0	31.8	0	0	0	31.8
სულ რაოდენობა		13	1	65	3	6	26	114
სულ ფართობი		2.8	0.4	51.4	1.4	0.8	5.5	62.3

ბ
თდზ 2015

მორფოლოგიური ტიპი (რაოდენობა და ფართობი)		მეცნიერული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
კარული	რაოდ.	7	0	11	2	3	10	33
	ფართ.	0.9	0	1.6	0.4	0.3	1.7	4.9
კარულ- ხეობის	რაოდ.	0	0	0	1	0	1	2
	ფართ.	0	0	0	0.6	0	0.1	0.7
ხეობის	რაოდ.	1	1	2	0	0	3	7
	ფართ.	0.9	0.4	7.0	0	0	0.6	8.9
დაკიდული	რაოდ.	0	0	17	0	0	4	21
	ფართ.	0	0	4.5	0	0	0.5	5.0
კარულ- დაკიდული	რაოდ.	0	0	2	0	0	0	2
	ფართ.	0	0	0.5	0	0	0	0.5
დაკიდულ- კარული	რაოდ.	0	0	2	0	0	1	3
	ფართ.	0	0	0.2	0	0	0.1	0.3
დაკიდულ- ხეობის	რაოდ.	0	0	10	0	0	0	10
	ფართ.	0	0	28.6	0	0	0	28.6
სულ რაოდენობა		8	1	44	3	3	19	78
სულ ფართობი		1.8	0.4	42.4	1.0	0.3	3.0	48.9

დ
თდზ 2020

მორფოლოგიური ტიპი (რაოდენობა და ფართობი)		მეცნიერული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
კარული	რაოდ.	3	0	8	1	0	4	16
	ფართ.	0.4	0	0.9	0.1	0	0.7	2.1
კარულ- ხეობის	რაოდ.	0	0	0	1	0	0	1
	ფართ.	0	0	0	0.4	0	0	0.4
ხეობის	რაოდ.	1	1	2	0	0	1	5
	ფართ.	0.8	0.3	6.5	0	0	0.1	7.7
დაკიდული	რაოდ.	0	0	15	0	0	1	16
	ფართ.	0	0	3.1	0	0	0.1	3.2
კარულ- დაკიდული	რაოდ.	0	0	1	0	0	0	1
	ფართ.	0	0	0.1	0	0	0	0.1
დაკიდულ- კარული	რაოდ.	0	0	2	0	0	0	2
	ფართ.	0	0	0.2	0	0	0	0.2
დაკიდულ- ხეობის	რაოდ.	0	0	11	0	0	0	11
	ფართ.	0	0	26.1	0	0	0	26.1
სულ რაოდენობა		4	1	39	2	0	6	52
სულ ფართობი		1,2	0,3	36.9	0,5	0	0.9	39.8

მე-2 ცხრილის მიხედვით შედგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს მეცნიერების მორფოლოგიური ტიპების განაწილების შემაჯამებელი ცხრილი კატალოგის, თდზ 1-ის, თდზ 2-ის, თდზ 3-ის მონაცემებით, რაოდენობისა და ფართობის მიხედვით (ცხრილი 3).

ცხრილი 3. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეების მორფოლოგიური ტიპების განაწილების შემაჯამებელი ცხრილი კატალოგის, თდზ 1-ის, თდზ 2-ის, თდზ 3-ის მონაცემებით, რაოდენობისა და ფართობების მიხედვით

მონაცემები	მორფოლოგიური ტიპები													
	კარული		კარულ-ხეობის		ხეობის		დაკიდული		კარულ-დაკიდული		დაკიდულ-კარული		დაკიდულ-ხეობის	
	რაოდენობა	ფართობი	რაოდენობა	ფართობი	რაოდენობა	ფართობი	რაოდენობა	ფართობი	რაოდენობა	ფართობი	რაოდენობა	ფართობი	რაოდენობა	ფართობი
კატალოგი	70	18.4	3	1.9	8	13.6	23	7.5	14	3.9	5	1.3	9	35.8
თდზ 1	52	9.7	2	1.3	8	10.5	32	7.1	6	1.1	4	0.8	10	31.8
თდზ 2	33	4.9	2	0.7	7	8.9	21	5.0	2	0.5	3	0.3	10	28.6
თდზ 3	16	2.1	1	0.4	5	7.7	16	3.2	1	0.1	2	0.2	11	26.1

აღმოსავლეთ საქართველოში ყველა მორფოლოგიური ტიპის მდინარე კატალოგის მონაცემებთან შედარებით 2020 წლისათვის ინტენსიურად იკლებს, როგორც მდინარეების რაოდენობით, ისე დაკავებული ჯამური ფართობის მიხედვით.

აღმოსავლეთ საქართველოში, კატალოგის მიხედვით, ყველაზე დიდი რაოდენობით გავრცელებულია კარული მდინარეები, სულ 70, ხოლო შემდეგ დაკიდული მდინარეები, სულ 23 (ცხრ. 2 ა). 2020 წლისათვის დარჩა 16 კარული მდინარე და იგივე რაოდენობის დაკიდული მდინარე.

თდზ-ის 2010, 2015 და 2020 წლების მონაცემებით მდინარეები დეგრადირდება, ხდება მდინარეების დანაწევრება, მცირე მდინარეების გამოყოფა.

კარული მდინარე შეიძლება დანაწევრდეს ორ ან სამ კარულ მდინარედ, ერთ კარულ და ერთ ან ორ თოვლნარად, ან საერთოდ გაქრეს. ამის მაგალითია პირიქითი ალაზნის №23 კარული ტიპის საშუალო მდინარე (ნახ. 1), რომელიც 2010 წლისათვის დანაწევრდა 2 კარულ მცირე მდინარედ და 1 თოვლნარად. 2015 წლისათვის იგივე განაწილება შენარჩუნდა, თუმცა მცირე მდინარეების ფართობები შემცირდა. 2020 წლისათვის ერთი მცირე მდინარე დარჩა, ხოლო მეორე მცირე მდინარე, რომლის ფართობი უფრო ნაკლებია თოვლნარად დეგრადირდა, თოვლნარი კი, გაქრა.

ხეობის ტიპის მდინარე ძირითადად ინარჩუნებს თავის მორფოლოგიას, თუმცა შეიძლება დანაწევრდეს ხეობის და კარულ ან დაკიდულ მდინარედ, აგრეთვე ერთ ან რამდენიმე თოვლნარად.

კარულ-ხეობის ტიპის მდინარე სამივე პერიოდში ინარჩუნებს თავის მორფოლოგიას, თუმცა წლების მიხედვით თანმიმდევრულად იკლებს მის მიერ დაკავებული ფართობი და რამდენიმე შემთხვევაში გადადის თოვლნარში ან ქრება.

დაკიდული მდინარე ასევე ინარჩუნებს თავის მორფოლოგიას, მხოლოდ დროთა განმავლობაში იკლებს მისი ფართობი (ზოგჯერ გადადის თოვლნარში ან ქრება).

კარულ-დაკიდული მდინარეები ძირითადად ინარჩუნებენ თავის მორფოლოგიას, ზოგ შემთხვევაში, ხდება მცირე მდინარის (მაგალითად, თერგის აუზის მდინარე №103) დანაწევრება კარულ-დაკიდულ და დაკიდულ ერთ ან რამდენიმე მდინარედ, შემდეგ ვადაზე კი, ერთ ან რამდენიმე თოვლნარად ან ქრება.

დაკიდულ-კარული მდინარეებიც ინარჩუნებენ თავის მორფოლოგიას, დროთა განმავლობაში დანაწევრდებიან ერთ ან რამდენიმე თოვლნარად ან ქრებიან.

დაკიდულ-ხეობის მდინარეები ბოლომდე ინარჩუნებენ თავის მორფოლოგიას, თუმცა შეიძლება გამოეყოთ თოვლნარი.

2020 წლისათვის არღუნის აუზში საერთოდ აღარ არის მდინარე და მხოლოდ 5 თოვლნარიღაა შემორჩენილი (ცხრილი 2). იგივე ხდება არაგვის და ასას აუზებში. პირველ მათგანში ერთი მცირე ზომის (0.3 კმ²) ხეობის მდინარე, ხოლო მეორეში ორი მცირე ზომის კარული (0.1 კმ²) და კარულ-ხეობის (0.4 კმ²) მდინარეღაა შემორჩენილი. ყველაზე დიდი რაოდენობით მდინარეები შემორჩა თერგის აუზში. 68 მდინარეა, რომელთაც ეკავათ ფართობი 63,9 კმ² 2020 წელს აღრიცხულია 39 მდინარე და მათ მიერ

დაკავებული ფართობია 36.9 კმ². რაც იმას ნიშნავს, რომ თერგის აუზში მცინვარების რაოდენობა შემცირდა 42.6 %-ით, ხოლო მათ მიერ დაკავებული ფართობი – 42.2 %-ით.

კატალოგიით, აღმოსავლეთ საქართველოში არსებული 132 მცინვარიდან 2020 წლისათვის სულ შემორჩა 52 მცინვარი ანუ მცინვარების რაოდენობა შემცირდა 80 მცინვარით (60.6 %). მცინვარების ჯამური ფართობი 82.4 კმ²-დან გახდა 39.8 კმ² ანუ შემცირდა 52.6 კმ²-ით (63.8 %).

შევადართ, დასავლეთ საქართველოში მცინვარების ჯამური ფართობი (კატალოგიით) 465.7 კმ² 2020 წლისათვის გახდა 274.9. კმ²-ით ანუ შემცირდა 190.8 კმ²-ით (41.0 %-ით). რაც შეეხება მცინვარების რაოდენობას იყო 409, ხოლო 2020 წ. – 375, ანუ შემცირდა 8.3 %-ით. ეს ციფრები ადასტურებს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის ცვლილების შედეგად მცინვარების დეგრადაცია გაცილებით სწრაფად მიმდინარეობს ვიდრე დასავლეთ საქართველოში. ეს განპირობებულია საქართველოს ამ ნაწილებს შორის კლიმატის დიდი განსხვავებით. აღმოსავლეთ საქართველოს კლიმატი იმ ქვერეგიონში სადაც მცინვარები არის განლაგებული ხასიათდება ნამდვილ ზაფხულს მოკლებული მაღალი მთიანეთის ზომიერად მშრალი ჰავით, ხოლო დასავლეთ საქართველოს ის ქვერეგიონი სადაც მცინვარები არის, ხასიათდება მაღალმთის ნოტიო ჰავით მუდმივი თოვლით და მცინვარებით.

ცნობილია, რომ მცინვარების დეგრადაცია იწვევს **თოვლნარების** რაოდენობის ზრდას. ყველა თოვლნარი კარული ან დაკიდული მორფოლოგიისაა. მე-4 ცხრილის განხილვა გვიჩვენებს, რომ კატალოგში არსებული 132 მცინვარიდან 2010 წლის თანამგზავრული მონაცემებით წარმოიქმნა 30 თოვლნარი და გაქრა 10. 2015 წლისათვის წარმოიქმნა 57 თოვლნარი და გაქრა 34 მცინვარი, ხოლო 2020 წლისათვის წარმოიქმნა 80 თოვლნარი და გაქრა 65 მცინვარი. ასე რომ, 2010 წლიდან თოვლნარების და გამქრალი მცინვარების რაოდენობა ინტენსიურად იზრდება. სულ წარმოიქმნა 167 თოვლნარი და გაქრა 109 მცინვარი.

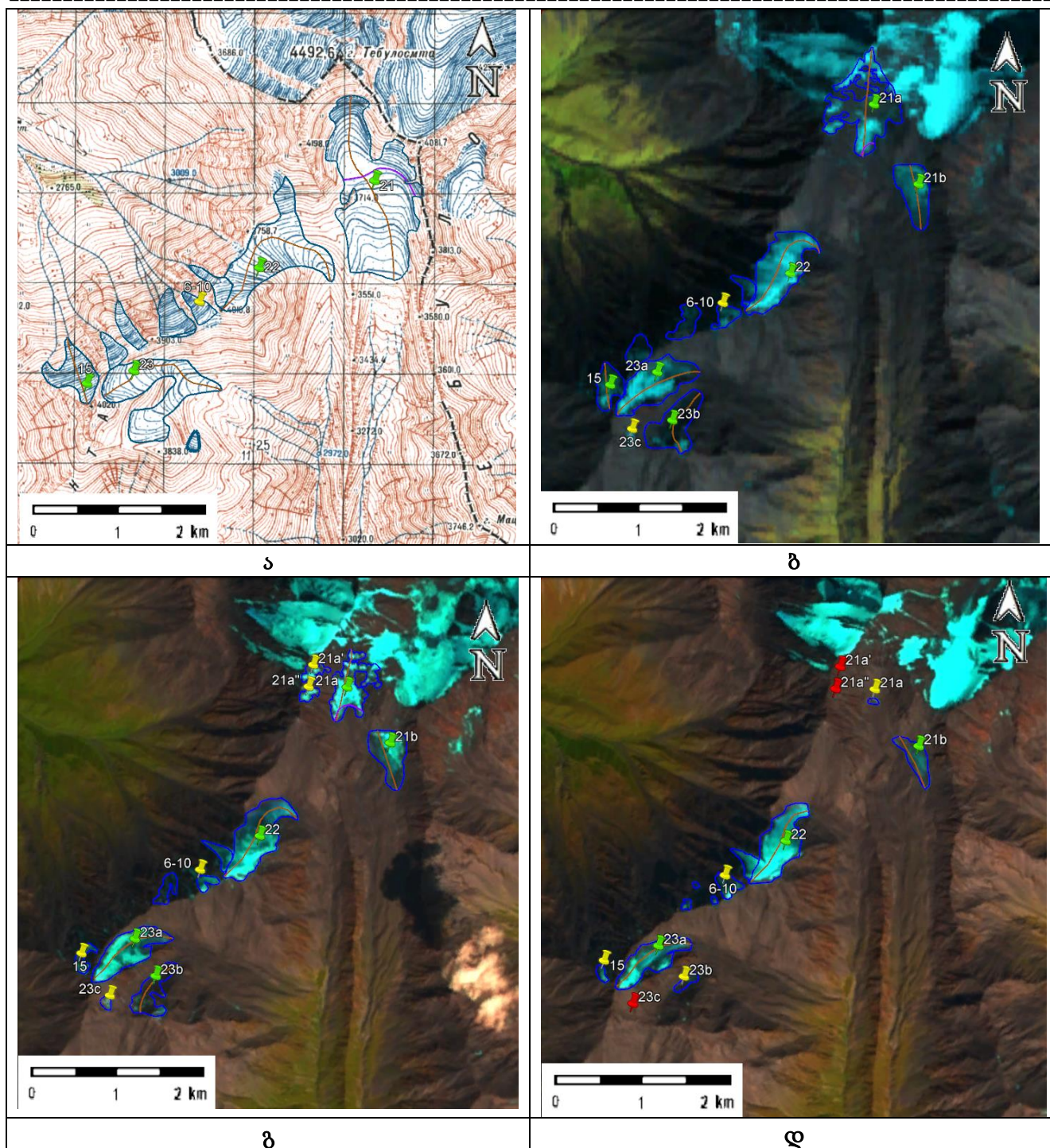
მცინვარების კატალოგში 0.1 კმ²-ზე ნაკლები ფართობის მცინვარები (თოვლნარები) არ განიხილება. შესაბამისად არ გვაქვს კატალოგის მონაცემები თოვლნარების ცხრილში (ცხრილი 4).

ცხრილი 4. აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარულ აუზებში თოვლნარებისა და გამქრალი მცინვარების განაწილება თდზ 1-ის, თდზ 2-ის, თდზ 3-ის მონაცემებით

		თოვლნარები და გამქრალი მცინვარები						
მონაცემები		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
თდზ 1	თოვლნარი	6	3	10	0	0	11	30
	გამქ. მცინვ.	6	1	3	0	0	0	10
თდზ 2	თოვლნარი	6	2	25	0	5	19	57
	გამქ. მცინვ.	11	2	17	0	0	4	34
თდზ 3	თოვლნარი	9	1	30	2	5	33	80
	გამქ. მცინვ.	14	3	29	0	3	16	65
სულ	თოვლნარი	21	6	63	2	10	62	167
	გამქ. მცინვ.	31	6	49	0	3	20	109

აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების **ზოგადი ექსპოზიციის** საწყისი მონაცემები აღებულია კატალოგიდან, ხოლო 2010, 2015 და 2020 წლის მცინვარების ზოგადი ექსპოზიცია დადგინდა პროგრამა Google Earth-ის გამოყენებით, სადაც ნათლად ჩანს ფერდობების ხეობების მიმართულება და ექსპოზიცია. პროგრამაში შემოტანილ იქნა აღნიშნული წლების მცინვარების კონტურები და მათი საშუალებით შესაძლებელი გახდა ფერდობების ექსპოზიციის დადგენა. აღნიშნული მონაცემები გადამოწმდა Arc Map-ში (Arc Gis) სპეციალურად შექმნილი Arc Toolbox ინსტრუმენტების გამოყენებით. მეთოდი ითვალისწინებდა საქართველოს რელიეფის ციფრული სასიმალო მოდელით (Digital Elevation Model) ე.წ. DEM-ით იმგვარად დამუშავებას, რომ მიგვეღო საქართველოს ფერდობების ექსპოზიციის რუკა. დამუშავების დროს გამოყენებულ იქნა საქართველოს რელიეფის ციფრული სასიმალო მოდელი 20X20 გარჩევადობით [6–9].

აღნიშნული მეთოდი აპრობირებული და მიღებულია მსოფლიოში, ეს მეთოდი პრაქტიკულად გამოირიცხავს შეცდომებს მცინვარების ექსპოზიციის შესწავლის დროს.



ნახ. 1. პირიქითი ალაზნის №23 კარული ტიპის საშუალო მცენვარის კონტურები: ა) ტოპოგრაფიული რუკის მიხედვით, ბ) Landsat TM სენსორის 2011 წლის 21 სექტემბრის სურათის მიხედვით (თდზ 1), გ) Landsat OLI TIRS სენსორის 2014 წლის 28 აგვისტოს სურათის მიხედვით (თდზ 2), დ) Landsat OLI TIRS სენსორის 2020 წლის 13 სექტემბრის სურათის მიხედვით (თდზ 3).

მცენვარების ექსპოზიციის შესწავლას დიდი მნიშვნელობა აქვს მცენვარების დნობის საკითხთან მიმართებაში. აღმოსავლეთ საქართველოს მცენვარების ექსპოზიციის შესწავლისათვის მცენვარული აუზების მიხედვით, შედგენილია მცენვარების ზოგადი ექსპოზიციის განაწილების ცხრილი რაოდენობისა და ფართობების მიხედვით. ზემოთ ჩამოთვლილი ოთხი ვადისათვის (ცხრილი 5).

ცხრილი 5. აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარულ აუზებში მცინვარების ზოგადი ექსპოზიციის განაწილება კატალოგის (ა), თდზ-ის 2010 (ბ), 2015 (გ), 2020 (დ) წლის მონაცემებით, რაოდენობისა და ფართობების მიხედვით

ა

კატალოგით								
ზოგადი ექსპოზიციის (რაოდენობა და ფართობი)		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
ჩ	რაოდ.	ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
	ფართ.							
ს	რაოდ.	1	0	6	0	0	3	10
	ფართ.	0.2	0	4.6	0	0	1.5	6.3
დ	რაოდ.	1	0	1	0	0	1	3
	ფართ.	0.1	0	0.5	0	0	0.3	0.9
ა	რაოდ.	1	1	5	2	2	2	13
	ფართ.	0.1	0.7	1.3	1.4	0.4	0.3	4.2
ჩდ	რაოდ.	6	1	13	0	1	1	22
	ფართ.	2.6	0.1	4.2	0	0.2	0.1	7.2
ჩა	რაოდ.	6	2	16	1	2	8	35
	ფართ.	1.5	0.2	14.4	0.3	0.5	2.8	19.7
სდ	რაოდ.	2	1	5	0	0	7	15
	ფართ.	0.2	0.2	16.3	0	0	1.8	18.5
სა	რაოდ.	1	0	13	0	0	5	19
	ფართ.	0.1	0	18.2	0	0	1.4	19.7
სულ რაოდენობა		22	5	68	3	6	28	132
სულ ფართობი		5.5	1.2	63.9	1.7	1.3	8.8	82.4

ბ

თდზ 2010								
ზოგადი ექსპოზიციის (რაოდენობა და ფართობი)		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
ჩ	რაოდ.	ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
	ფართ.							
ს	რაოდ.	2	0	6	0	0	4	12
	ფართ.	0.3	0	3.5	0	0	1.0	4.8
დ	რაოდ.	0	0	1	0	0	1	2
	ფართ.	0	0	0.5	0	0	0.1	0.6
ა	რაოდ.	0	1	4	2	2	1	10
	ფართ.	0	0.4	0.7	1.1	0.3	0.1	2.7
ჩდ	რაოდ.	2	0	9	0	1	0	12
	ფართ.	1.3	0	2.2	0	0.1	0	3.6
ჩა	რაოდ.	4	0	16	1	2	8	31
	ფართ.	0.6	0	12.5	0.3	0.4	1.6	15.4
სდ	რაოდ.	2	0	5	0	0	6	13
	ფართ.	0.2	0	13.3	0	0	1.1	14.6
სა	რაოდ.	0	0	11	0	0	5	16
	ფართ.	0	0	16.0	0	0	0.9	16.9
სულ რაოდენობა		13	1	65	3	6	26	114
სულ ფართობი		2.9	0.4	51.4	1.4	0.9	5.3	62.3

ბ თღზ 2015								
ზოგადი ექსპოზიცია (რაოდენობა და ფართობი)		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
ჩ	რაოდ.	1	0	7	0	0	0	8
	ფართ.	0,3	0	1,6	0	0	0	1,9
ს	რაოდ.	2	0	5	0	0	4	11
	ფართ.	0,2	0	3,1	0	0	0,7	4,0
დ	რაოდ.	0	0	1	0	0	0	1
	ფართ.	0	0	0,1	0	0	0	0,1
ა	რაოდ.	0	1	3	2	2	1	9
	ფართ.	0	0,4	0,4	0,8	0,2	0,1	1,9
ჩდ	რაოდ.	2	0	5	0	0	0	7
	ფართ.	0,9	0	1,3	0	0	0	2,2
ჩა	რაოდ.	2	0	12	1	1	4	20
	ფართ.	0,2	0	10,6	0,2	0,1	0,9	12,0
სდ	რაოდ.	1	0	4	0	0	6	11
	ფართ.	0,1	0	11,9	0	0	0,7	12,7
სა	რაოდ.	0	0	7	0	0	6	13
	ფართ.	0	0	13,3	0	0	0,5	13,8
სულ რაოდენობა		8	1	44	3	3	21	80
სულ ფართობი		1,7	0,4	42,3	1,0	0,3	2,9	48,6

დ თღზ 2020								
ზოგადი ექსპოზიცია (რაოდენობა და ფართობი)		მცინვარული აუზი						
		1	2	3	4	5	6	7
		ლიახვი	არაგვი	თერგი	ასა	არლუნი	პირიქითი ალაზანი	სულ
ჩ	რაოდ.	0	0	5	0	0	0	5
	ფართ.	0	0	1,0	0	0	0	1,0
ს	რაოდ.	1	0	5	0	0	2	8
	ფართ.	0,1	0	2,6	0	0	0,1	2,8
დ	რაოდ.	0	0	0	0	0	0	0
	ფართ.	0	0	0	0	0	0	0
ა	რაოდ.	0	1	2	1	0	0	4
	ფართ.	0	0,3	0,2	0,4	0	0	0,9
ჩდ	რაოდ.	2	0	9	0	0	0	11
	ფართ.	1,0	0	12,2	0	0	0	13,2
ჩა	რაოდ.	1	0	10	1	0	2	14
	ფართ.	0,1	0	8,7	0,1	0	0,5	9,4
სდ	რაოდ.	0	0	5	0	0	2	7
	ფართ.	0	0	11,2	0	0	0,2	11,4
სა	რაოდ.	0	0	6	0	0	2	8
	ფართ.	0	0	11,9	0	0	0,2	12,1
სულ რაოდენობა		4	1	42	2	0	8	57
სულ ფართობი		1,2	0,3	47,8	0,5	0	1,0	50,8

მე-5 ცხრილის მიხედვით შედგენილია აღმოსავლეთ საქართველოს მცინვარების ზოგადი ექსპოზიციის განაწილების შემაჯამებელი ცხრილი კატალოგის, თღზ 1-ის, თღზ 2-ის, თღზ 3-ის მონაცემებით, რაოდენობისა და ფართობის მიხედვით (ცხრილი 6).

ცხრილი 6. აღმოსავლეთ საქართველოს მცენარეების ზოგადი ექსპოზიციის განაწილების შემაჯამებელი ცხრილი კატალოგის, თდზ 1-ის, თდზ 2-ის, თდზ 3-ის, მონაცემებით, რაოდენობისა და ფართობის მიხედვით

მონაცემები	ზოგადი ექსპოზიცია															
	ჩ		ს		დ		ა		ჩდ		ჩა		სდ		სა	
	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი	რაოდენობ	ფართობი
კატალოგით	15	5.9	10	6.3	3	0.9	13	4.2	22	7.2	35	19.7	15	18.5	19	19.7
თდზ 1	18	3.7	12	4.8	2	0.6	10	2.7	12	3.6	31	15.4	13	14.6	16	16.9
თდზ 2	8	1.9	11	4.0	1	0.1	9	1.9	8	2.4	20	12.1	10	12.8	10	13.8
თდზ 3	5	1.0	7	2.8	0	0	5	1.0	8	2.2	14	9.4	7	11.4	6	12.0

აღმოსავლეთ საქართველოში მცენარეებზე კლიმატის მიმდინარე ცვლილების შედეგია, რომ მცენარეების როგორც რაოდენობა, ისე ფართობები ყველა ექსპოზიციის მცენარისათვის კატალოგის მონაცემებთან შედარებით 2010 წლიდან მოყოლებული თანმიმდევრულად იკლებს. აღმოსავლეთ საქართველოს მცენარეების ზოგადი ექსპოზიციის უპირატესი მიმართულება როგორც კატალოგით, ისე თდზ-ის მიხედვით არის ჩრდილო-აღმოსავლეთის, შემდეგ ჩრდილო დასავლეთის. ყველაზე ნაკლებია დასავლეთის ექსპოზიციის მცენარეები, რომლებიც 2020 წლისათვის, საერთოდ ქრება.

დასავლეთ საქართველოში გამცენარეების უმთავრეს კერას წარმოადგენს კავკასიონის სამხრეთი ფერდობი [9], ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში მცენარეები ორივე, ჩრდილოეთის და სამხრეთის ფერდობითაა წარმოდგენილი.

რაოდენობის მიხედვით წამყვანი ადგილი ჩრდილოური (ჩ, ჩდ, და ჩა) ექსპოზიციის მცენარეებს უკავია. შემდეგ მოდის სამხრეთული (ს, სდ, და სა) ექსპოზიციის მცენარეები.

ჩრდილოური ექსპოზიციის მცენარეები უმთავრესად განლაგებულია კავკასიონის შტო ქედებზე, ჩრდილოური ექსპოზიციის მცენარეების ასეთი დიდი რაოდენობა განპირობებულია კავკასიონის შტო ქედების მერიდიანული და სუბგანედური მიმართულებით. მათი მორფომეტრიული და მორფოგრაფიული პირობების გამო, ზოგჯერ მხოლოდ ამ ქედების ჩრდილოეთ ფერდობზეა შესაძლებელი მცირე ზომის მცენარეების არსებობა [5]. ჩრდილოური ექსპოზიციის მცენარეების ფართობები გაცილებით ნაკლებია სამხრეთული ექსპოზიციის მქონე მცენარეების ფართობებზე.

მიუხედავად იმისა, რომ ჩრდილოური ექსპოზიციის მცენარეების რაოდენობა მეტია სამხრეთული ექსპოზიციის მცენარეებზე, ჩრდილოური ექსპოზიციის მცენარეების აუზების მიხედვით ჯამური ფართობები ნაკლებია სამხრეთული ექსპოზიციის მქონე მცენარეების ჯამურ ფართობებზე.

აღსანიშნავია, რომ მსგავსად მცენარეებისა, სამივე ვადაზე კლიმატის ცვლილებით განპირობებული მცენარეების დეგრადაციის შედეგად წარმოქმნილი თოვლნარებიდან ყველაზე მეტია ჩრდილოური ექსპოზიციის, ხოლო ყველაზე ნაკლებია დასავლეთის ექსპოზიციის თოვლნარები (ცხრილი 7).

ცხრილი 7. აღმოსავლეთ საქართველოს მცენარეული აუზების თოვლნარების განაწილება ზოგადი ექსპოზიციის მიხედვით თდზ 1-ის, თდზ 2-ის, თდზ 3-ის მონაცემებით

მონაცემები	თოვლნარების ზოგადი ექსპოზიცია								
	ჩ	ს	დ	ა	ჩდ	ჩა	სდ	სა	სულ
თდზ 1	1	1	0	5	8	7	5	3	30
თდზ 2	12	3	2	1	10	16	7	6	57
თდზ 3	9	7	3	5	10	22	11	13	80
სულ	22	11	5	11	22	45	23	22	167

დასკვნა

ამგვარად შეიძლება დავასკვნათ, რომ:

- აღმოსავლეთ საქართველოში, კატალოგის მიხედვით, ყველაზე დიდი რაოდენობით გავრცელებულია კარული მცენარეები, სულ 70, ხოლო შემდეგ დაკიდული მცენარეები, სულ 23. 2020 წლისათვის დარჩა 16

კარული მყინვარი და იგივე რაოდენობის დაკიდული მყინვარი. აღმოსავლეთ საქართველოში ყველა მორფოლოგიური ტიპის მყინვარი კატალოგის მონაცემებთან შედარებით 2020 წლისათვის ინტენსიურად იკლებს, როგორც მყინვარების რაოდენობით, ისე დაკავებული ჯამური ფართობის მიხედვით. არღუნის აუზში საერთოდ აღარ არის მყინვარი და მხოლოდ 5 თოვლნარიღაა შემორჩენილი. ყველაზე დიდი რაოდენობით მყინვარებია თერგის აუზში. 68 მყინვარიდან, რომელთაც ეკავათ ფართობი 63,9 კმ² 2020 წელს აღრიცხულია 39 მყინვარი და მათ მიერ დაკავებული ფართობია 36,9 კმ². რაც იმას ნიშნავს, რომ თერგის აუზში მყინვარების რაოდენობა შემცირდა 42,6 %-ით, ხოლო მათ მიერ დაკავებული ფართობი – 42,2 %-ით.

- აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის მიმდინარე ცვლილების გავლენით, კატალოგით აღმოსავლეთ საქართველოში არსებული 132 მყინვარიდან 2020 წლისათვის სულ შემორჩა 52 მყინვარი ანუ მყინვარების რაოდენობა შემცირდა 80 მყინვარით (60,6 %). მყინვარების ჯამური ფართობი 82,4 კმ²-დან გახდა 39,8 კმ² ანუ შემცირდა 52,6 კმ²-ით (63,8 %). ამავე დროს დასავლეთ საქართველოში მყინვარების ჯამური ფართობი (კატალოგით) 465,7 კმ², 2020 წლისათვის გახდა 274,9 კმ² ანუ შემცირდა 190,8 კმ²-ით (41,0 %-ით). რაც შეეხება მყინვარების რაოდენობას იყო 409, ხოლო 2020 წ. – 375, ანუ შემცირდა 8,3 %-ით. ეს ციფრები ადასტურებს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის ცვლილების შედეგად მყინვარების დეგრადაცია გაცილებით სწრაფად მიმდინარეობს ვიდრე დასავლეთ საქართველოში. ეს განპირობებულია საქართველოს ამ ნაწილებს შორის კლიმატის დიდი განსხვავებით, ვინაიდან აღმოსავლეთ საქართველოს კლიმატი იმ ქვერეგიონში სადაც მყინვარები არის განლაგებული, ხასიათდება ნამდვილ ზაფხულს მოკლებული მაღალი მთიანეთის ზომიერად მშრალი ჰავით, ხოლო დასავლეთ საქართველოს ის ქვერეგიონი სადაც მყინვარები არის, ხასიათდება მაღალმთის ნოტიო ჰავით მუდმივი თოვლით და მყინვარებით.

- მყინვარების დეგრადაცია იწვევს თოვლნარების რაოდენობის ზრდას. ყველა თოვლნარი კარული ან დაკიდული მორფოლოგიისაა. აღმოსავლეთ საქართველოში კატალოგით აღრიცხული 132 მყინვარიდან 2010 წლის თანამგზავრული მონაცემებით წარმოიქმნა 30 თოვლნარი და გაქრა 10. 2015 წლისათვის წარმოიქმნა 57 თოვლნარი და გაქრა 34 მყინვარი, ხოლო 2020 წლისათვის წარმოიქმნა 80 თოვლნარი და გაქრა 65 მყინვარი. ასე რომ, 2010 წლიდან თოვლნარების და გამქრალი მყინვარების რაოდენობა ინტენსიურად იზრდება. სულ წარმოიქმნა 167 თოვლნარი და გაქრა 109 მყინვარი.

- აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარებზე კლიმატის მიმდინარე ცვლილების შედეგია, რომ მყინვარების როგორც რაოდენობა, ისე ფართობები ყველა ექსპოზიციის მყინვარისათვის კატალოგის მონაცემებთან შედარებით 2010 წლიდან მოყოლებული თანმიმდევრულად იკლებს.

- აღმოსავლეთ საქართველოს მყინვარების ზოგადი ექსპოზიციის უპირატესი მიმართულება როგორც კატალოგით, ისე თდზ-ის მიხედვით არის ჩრდილო-აღმოსავლეთის, შემდეგ ჩრდილო დასავლეთის. ყველაზე ნაკლებია დასავლეთის ექსპოზიციის მყინვარები, რომლებიც 2020 წლისათვის, საერთოდ ქრება. აღსანიშნავია, რომ მსგავსად მყინვარებისა, სამივე ვადაზე კლიმატის ცვლილებით განპირობებული მყინვარების დეგრადაციის შედეგად წარმოქმნილი თოვლნარებიდან ყველაზე მეტია ჩრდილოური ექსპოზიციის, ხოლო ყველაზე ნაკლებია დასავლეთის ექსპოზიციის თოვლნარები.

- ჩრდილოური ექსპოზიციის მყინვარები უმთავრესად განლაგებულია კავკასიონის შტო ქედებზე და მათი ფართობები გაცილებით ნაკლებია სამხრეთული ექსპოზიციის მქონე მყინვარების ფართობებზე.

- მიუხედავდ იმისა, რომ ჩრდილოური ექსპოზიციის მყინვარების რაოდენობა მეტია სამხრეთული ექსპოზიციის მყინვარებზე, ჩრდილოური ექსპოზიციის მყინვარების ჯამური ფართობები გაცილებით ნაკლებია სამხრეთული ექსპოზიციის მქონე მყინვარების ჯამურ ფართობებზე. ჩრდილოური ექსპოზიციის თოვლნარების რაოდენობაც გაცილებით მეტია სამხრეთული ექსპოზიციის მქონე თოვლნარებზე.

ლიტერატურა - References - Литература

1. V. SH. Tsomaia. Katalog lednikov USSR, V. 9, vip. 3, ch. 1, L: Gidrometeoizdat, 1975, - 95 (in Russian).
2. V. SH. Tsomaia, O. A. Drobishev. Katalog lednikov SSSR, T. 8, ch. 11, L: Gidrometeoizdat, 1977, - 71 (in Russian).
3. V. D. Panov, E. S. Borovik. Katalog lednikov SSSR, T. 8, ch. 12, L: Gidrometeoizdat, 1977, - 51 (in Russian).
4. L. I. Maruashvili, G. M. kurdgelaidze, T. A. Lashkhi, SH. V. Inashvili, T. 9, vip. 1, ch. 2-6, L: Gidrometeoizdat, 1975, - 86 (in Russian).
5. R. Gobejishvili, V. Kotliakov.. Glaciology (Glaciers), 2006, - 292 (in Georgian).

6. Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G., Beridze S. The Results of Satellite Remote Observation on the Morphology and Exposure of Glaciers in the Autonomous Republic of Abkhazia in the Last Decade. Science and Technologies, №3 (740), Tbilisi: Publishing House "Technical University", 2022, pp. 18–28 (in Georgian).
7. George Kordzakhia, Larisa Shengelia, Gennady Tvauri, Guguli Dumbadze. Morphology and Exposure Studies in the Autonomous Republic of Abkhazia (West Georgia) on the Background of Modern Climate Change. 3RD INTERNATIONAL CONGRESS ON ENGINEERING AND LIFE SCIENCE (ICELIS), Proceedings book, 20–22 September 2023, Trabzon/TÜRKİYE. Republic of Türkiye Karadeniz Technical University. 2023, pp. 51–58.
8. Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G. The Research of the Morphology and Exposure of Glaciers and Snowfields of the River Inguri Glacial Based on the Satellite Remote Sensing. Science and Technologies, №3 (746), Tbilisi: Publishing House "Technical University", 2024, pp. 7–13 (in Georgian).
9. Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G., Dzadzamia M. Results of the study of the morphology and exposure of glaciers and snowfields of the glacial basins of western Georgia based on satellite remote sensing. Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. LXXVII, 2024, pp. 43–64 (in Georgian).

UDC: 551.50.501.7

Results of the study of the morphology and exposure of glaciers and snowfields in the glacial basins of eastern Georgia based on satellite remote sensing/ Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliashvili G., Dzadzamia M.

Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.89-101. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The article presents the results of the study of the morphology and exposure of glaciers and snowfields in the glacial basins of eastern Georgia according to the catalogue and satellite remote sensing data for 2010, 2015 and 2020. A modern method for determining the exposure of glaciers has been used, which is tested and accepted worldwide. This method practically eliminates errors when studying the exposure of glaciers. The results of changes in the number and areas of various morphological types and exposed glaciers and snowfields of the glacial basins of eastern Georgia as a result of ongoing climate change are presented.

УДК: 551.50.501.7

Результаты изучения морфологии и экспозиции ледников и снежников ледниковых бассейнов Восточной Грузии на основе спутникового дистанционного зондирования/ Шенгелия Л., Кордзахия Г., Тваური Г., Гулиашвили Г., Дзadzamia М./Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.89-101. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье представлены результаты изучения морфологии и экспозиции ледников и снежников ледниковых бассейнов восточной Грузии по данным каталога и спутникового дистанционного зондирования за 2010, 2015 и 2020 годы. Использован современный метод определения экспозиции ледников, который апробирован и принят в мировой практике, что практически исключает ошибки при изучении экспозиции ледников. Представлены результаты изменения количества и площадей различных морфологических типов и экспонированных ледников и снежников ледниковых бассейнов восточной Грузии в результате современного изменения климата.

Use of Structured Data to Evaluate Natural Hydrometeorological Events in Vulnerable Regions of Georgia

Marika Tatishvili, Inga Samkharadze, Ana Palavandishvili, Nana Nebieridze, Khatuna Elbakidze-Chargazia

Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University

m.tatishvili@gtu.ge

Summary. The location and orographic conditions of Georgia lead to the formation of a variety of climatic and landscape types. These factors are favorable for formation of natural hydrometeorological phenomena (flooding, landslide, hurricane, etc.) of different intensity and frequency. The study of all those phenomena needs the processing of long-term observation series of climatic parameters. The purpose of the presented research is to study the spatial-temporal regularities of basic climatic parameters in the mountain regions of Georgia. The following statistical parameters and climatic indices were calculated: standard deviation, mean absolute error, temperature extremes, extreme precipitation day number, repeatability of strong windy days. Between two 30-year periods, the average annual temperature has been increased almost everywhere, up to 1 degree; the average increase is 0,5°C. It has been established that for second period there is a significant increase in the average max air temperature from 0,3°C to 1,2°C. The precipitation regime changes are unstable in time and are spatially heterogeneous, although they are characterized by some regularity. In particular, the annual rainfall in western Georgia is mainly increased, while in some eastern regions – decreased. The average wind speed change trends seem to be decreased, however maximal velocities are increased. The results may be used in early warning systems.

Keywords: Climate Change, Early Warning, Natural Hazards, Statistical Analysis Structural Data

Introduction. Georgian relief may be characterized by three sharply expressed orographic elements: in north Caucasus, in south – Georgian south uplands and lowland or intermountain depression located between those two risings [1]. This one begins from The Black Sea shore by triangular Colchis Lowland and spreads up to eastern Georgia like narrow strip. Between those two uplands small scaled orographic elements are allocated. Such complicated relief has definite influence on air masses motion in atmosphere lower layers. Mainly west and eastern atmospheric processes prevailed over Georgian territory. Due to complex orographic conditions and influence of the black Sea in Georgia exist most of Earths climatic types, from marine wet subtropical climate in west Georgia and steppe continental climate in east Georgia up to eternal snow and glaciers in high mountain zone of Great Caucasus, and 40% of existed landscapes [2]. Thus those climatic zones uphold the formation of different dangerous hydrometeorological phenomena, namely: hailstone, heavy showers, flooding, thunderstorm, draughts, sea storms. The economical losses and casualties caused by those catastrophic events are too notable [2].

Data and Methods. Based on the 1961-2021 period data of Georgian hydrometeorological observation net the research for mountainous regions of Georgia (Bakhmaro, Bakuriani, Borjomi, Goderdzi, Gudauri, Khaishi, Khulo, Lentekhi, Mestia, Pasanauri, Shovi, Stepantsminda, Tianeti) was conducted to reveal the variable nature of the intensity and recurrence of the mean and extreme values of the meteorological parameters [3].

Extreme values of climate parameters are more sensitive to climate change than their mean values, however, medium values often make it impossible to assess socio-economic impacts on different sectors of climate change.

Results. According to the preliminary analysis for whole Georgian territory the precipitation changing regime is unstable in time and also spatially heterogeneous, although it may be still characterized by some regularity. In particular, the annual rainfall in western Georgia is mainly increased, while in some eastern regions - decreased, although the nature of the change in annual rainfall is mostly unreliable and there are no obvious trends according to the comparison of two 30 year periods.

Tendencies to decrease the number of strong winds (≥ 15 m / s) are predominant in the West, while in Eastern Georgia, their frequency will be observed. It is noteworthy that the number of such days is decreasing in western Georgia - Kutaisi and especially on the western slopes of the Likhi Range (Mta-Sabuetti), where trends were revealed in the summer-autumn seasons, and in the east, in the Mtkvari gorge, a significant increase is observed. Frequency of strong winds in Gori will be observed in all seasons, while in Tbilisi their annual number increases mainly at the expense of March. The trend changes maximum in Mta-. Sabuetti and Gori and are 1.7 days / 10 years. The frequency of extremely strong winds (≥ 25 m / s) changes with a similar regularity. In particular, a significant decrease in such days was observed in Kutaisi and Mta-Sabuetti, while the steady increase is observed in Gori, as well as in Poti and other locations too [2].

Discussion. The mean annual, half year and monthly min and max air temperature (Tmax) data are calculated and range of variability of the mean values of Tmax for the indicated stations is as follows: Mean Year - from 6.6 °C (Goderdzi) to 16.4 °C (Borjomi); Mean Cold - from 0.0 °C (Goderdzi) to 9.7 °C (Khulo); Mean Warm - from 13.3 °C

(Goderdzi) to 23.9 °C (Khaishi); Min - from -11.8 °C (Goderdzi) to -0.5 °C (Borjomi); Max - from 23.4 °C (Goderdzi) to 35.0 °C (Borjomi) [3].

Table 1. The mean min, monthly mean, max and mean seasonal values of Tmax (°C) in thirteen locations of Georgia in 1961-2021

Station	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	8.6	3.0	14.2	-8.2	24.2
Bakuriani	11.3	5.1	17.5	-5.7	27.7
Borjomi	16.4	9.4	23.5	-0.5	35.0
Goderdzi	6.6	0.0	13.3	-11.8	23.4
Gudauri	7.8	2.0	13.7	-8.8	25.4
Khaishi	16.3	8.7	23.9	-1.3	33.7
Khulo	15.8	9.7	22.0	-1.6	31.4
Lentekhi	15.8	7.9	23.7	-1.9	34.5
Mestia	13.4	5.9	20.9	-6.4	30.2
Pasanauri	14.5	7.4	21.6	-2.9	33.0
Shovi	12.6	5.7	19.5	-5.5	30.8
Stepantsminda	10.6	4.5	16.7	-5.7	27.4
Tianeti	14.4	7.6	21.2	-1.7	31.6

The mean monthly annual, half year and monthly min and max P values are presented in Table 2.

Table 2. Monthly min, monthly max and mean monthly seasonal P (mm) values in selected locations of Georgia during 1961-2021

Station	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Min	Max
Bakhmaro	130	154	107	9.8	554
Bakuriani	70	59	82	0.5	283
Borjomi	55	48	62	1.5	181
Goderdzi	110	115	104	7.7	361
Gudauri	128	106	151	0	536
Khaishi	102	108	96	1.0	670
Khulo	117	149	84	0.5	628
Lentekhi	107	110	104	1.3	556
Mestia	82	76	88	1.0	284
Pasanauri	82	59	105	0	353
Shovi	98	85	111	3.4	444
Stepantsminda	62	34	89	0	252
Tianeti	64	42	85	0	277

The variability range of the P mean values for the indicated stations is as follows: Mean Year - from 55 mm (Borjomi) to 130 mm (Bakhmaro); Mean Cold - from 34 mm (Stepantsminda) to 154 mm (Bakhmaro); Mean Warm - from 62 mm (Borjomi) to 151 mm (Gudauri); Min - from 0 mm (Gudauri, Pasanauri, Stepantsminda and Tianeti) to 9.8 mm (Bakhmaro); Max - from 181 mm (Borjomi) to 670 mm (Khaishi). The P smallest values for Stepantsminda are observed (24 mm) during January and the P greatest values for Gudauri (185 mm) are observed in May. The variability of the atmospheric precipitation monthly mean sum is observed for all study stations (except Bakhmaro, and Bakuriani) in 25 cases (including for 12 cases - an increase and for 13 cases - a decrease of ΔP values) [4].

The range of variability of the V mean values for the indicated stations is as follows: Mean Year - from 0.3 m/sec (Lentekhi) to 4.8 m/sec (Goderdzi); Mean Cold - from 0.2 m/sec (Lentekhi) to 5.4 m/sec (Goderdzi); Mean Warm - from 0.4 m/sec (Lentekhi) to 4.2 m/sec (Goderdzi); Min - 0 m/sec (for all stations); Max - from 2.1 m/sec (Lentekhi) to 10.7 m/sec (Goderdzi).

The smallest V values for all points during January and December are observed (0.1 m/sec, Lentekhi). The greatest values of V for Goderdzi (6.1 m/sec) in January are also detected.

Table 3. The monthly mean min, monthly mean max and mean seasonal V (m/s) values in thirteen locations of Georgia in 1961-2021

Station	Mean Year	Mean Cold	Mean Warm	Max
Bakhmaro	1.7	2.2	1.3	5.7
Bakuriani	1.3	1.1	1.5	5.2
Borjomi	0.7	0.5	0.8	2.2
Goderdzi	4.8	5.4	4.2	10.7
Gudauri	1.2	1.1	1.2	3.4
Khaishi	0.9	0.7	1.2	3.7

Khulo	1.9	2.0	1.7	4.0
Lentekhi	0.3	0.2	0.4	2.1
Mestia	0.5	0.3	0.7	2.2
Pasanauri	1.1	1.1	1.2	2.9
Shovi	1.1	1.0	1.1	2.9
Stepantsminda	1.7	1.8	1.6	6.1
Tianeti	1.2	1.2	1.2	4.6

Conclusions. The following may be deduced based on the on the conducted research: The variations of the $\Delta T_{\max}$ values in the separate points are the following: Bakhmaro - increase of the values of $\Delta T_{\max}$ (July, August), decrease (-1.1 °C, December); Bakuriani - increase (February, March, May-October, mean annual, cold and warm seasons mean); Borjomi - increase (February-April, June-October, mean annual and warm season mean); Goderdzi - increase (August), decrease (-1.0 °C, November); Gudauri - increase (March, June-October, mean annual and warm season mean); Khaishi - increase (March, July-October, warm season mean); Khulo increase (July-September); Lentekhi - increase (July-September, warm season mean), decrease (-1.3 °C, November); Mestia - increase (April-September, warm season mean); Pasanauri - increase (March, June-October, warm season mean); Shovi - increase (April-October, mean annual and warm season mean); Stepantsminda - increase (June-September, warm season mean); Tianeti - increase (March, June-October, warm season mean).

Totally, the $\Delta T_{\max}$ values change from -1.3°C (Khulo, November) to 2.6 °C (Bakuriani, August), amplitude - 3.9 °C.

The changeability of the ΔP values in the separate points is the following: Bakhmaro and Bakuriani (no changes); Borjomi - decrease (June and December); Goderdzi - decrease (March, April mean annual and warm season mean); Gudauri - increase (August, October and cold season mean), decrease (September); Khaishi - increase (April and May); Khulo - increase (January, September, mean annual, cold and warm seasons mean); Lentekhi - increase (May and June), decrease (September); Mestia – increase (mean annual and cold season mean); Pasanauri - increase (August, October and cold season mean); Shovi - increase (October); Stepantsminda - decrease (July, September), increase (October); Tianeti - decrease (March, May-July, September, mean annual and warm seasons mean).

The changeability of the ΔV values in the separate points is the following: Bakhmaro – increase (January, March, May and June); all another station, except Shovi – decrease (all months, mean annual, cold and warm seasons mean); Shovi - decrease (all months, except April, June and October, mean annual, cold and warm seasons mean).

ლიტერატურა - References - Литература

1. Tatishvili M., Elizbarashvili E., Meskhia R., Elizbarashvili Sh. Natural hydrometeorological disasters, their causes and prevention measures. The Macrotheme Review. A multidisciplinary journal of global macro trends, 148-154, A Macrotheme Capital Management, LLC Academic Publication, Volume 2, Issue 1, Winter 2013 (January), France
2. M.Tatishvili, L.Megrelidze. A.Palavandishvili. Study of the mean and extreme values, intensity and recurrence variability of meteorological elements based on the 1956-2015 observation data. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma/2021/ v. 24(2)
DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213325>
3. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Kutladze N., Megrelidze L., Tatishvili M. VARIABILITY OF THE MEAN MAX ANNUAL AIR TEMPERATURE IN 39 LOCATIONS OF GEORGIA IN 1956-2015.International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes" Proceedings, Tbilisi, Georgia, , 2023 122-126
4. Amiranashvili, A. G., Kartvelishvili, L. G., Kutladze, N. B. Megrelidze, L. D. Tati[hvili , 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,/2021/24(2).
DOI: <https://doi.org/10.48614/ggs2420213326>

უაგ:551.556

სტრუქტურირებული მონაცემების გამოყენება საქართველოს დაუცველ რეგიონებში ბუნებრივი ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების შესაფასებლად/ მარიკა ტატიშვილი, ინგა სამხარაძე,ანა ფალავანდიშვილი, ნანა ნებიერიძე, ხათუნა ელბაქიძე-ჩარგაზია/სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2025.- ტ.136.-გვ. 102-105. -ქართ., რუზ. ქართ., ინგლ., რუს.

საქართველოს მდებარეობა და ოროგრაფიული პირობები განაპირობებს კლიმატური და ლანდშაფტური ტიპების მრავალფეროვნების ფორმირებას. ეს ფაქტორები ხელს უწყობს სხვადასხვა ინტენსივობისა და სიხშირის ბუნებრივი ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების (წყალდიდობა, მეწყერი, ქარიშხალი და ა.შ.) ფორმირებას. ყველა ამ ფენომენის შესწავლა მოითხოვს კლიმატური პარამეტრების გრძელვადიანი დაკვირვების სერიების დამუშავებას. წარმოდგენილი კვლევის მიზანია საქართველოს მთიან რეგიონებში ძირითადი კლიმატური პარამეტრების სივრცით-დროითი კანონზომიერებების

შესწავლა. გამოთვლილია შემდეგი სტატისტიკური პარამეტრები და კლიმატური ინდექსები: სტანდარტული გადახრა, საშუალო აბსოლუტური შეცდომა, ტემპერატურის ექსტრემალური მაჩვენებლები, ექსტრემალური ნალექიანობის დღეების რაოდენობა, ძლიერი ქარიანი დღეების განმეორებადობა. ორ 30-წლიან პერიოდს შორის საშუალო წლიური ტემპერატურა თითქმის ყველგან გაიზარდა 1 გრადუსამდე; საშუალო მატება $0,5^{\circ}\text{C}$ -ია. დადგინდა, რომ მეორე პერიოდში ჰაერის საშუალო მაქსიმალური ტემპერატურა მნიშვნელოვნად იზრდება $0,3^{\circ}\text{C}$ -დან $1,2^{\circ}\text{C}$ -მდე. ნალექების რეჟიმის ცვლილებები დროში არასტაბილურია და სივრცით ჰეტეროგენულია, თუმცა გარკვეული კანონზომიერებით ხასიათდება. კერძოდ, დასავლეთ საქართველოში წლიური ნალექების რაოდენობა ძირითადად გაზრდილია, ხოლო აღმოსავლეთის ზოგიერთ რეგიონში - შემცირებული. ქარის საშუალო სიჩქარის ცვლილების ტენდენციები, როგორც ჩანს, შემცირებულია, თუმცა მაქსიმალური სიჩქარეები გაზრდილია. შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას ადრეული შეტყობინების სისტემებში.

УДК: 551.556

Использование структурированных данных для оценки природных гидрометеорологических явлений в уязвимых регионах Грузии /Марика Татишвили, Инга Самхарадзе, Ана Палавандишвили, Нана Небиеридзе, Хатуна Элбакидзе-Чаргазия/Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 102-105. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Местоположение и орографические условия Грузии обуславливают формирование разнообразных климатических и ландшафтных типов. Эти факторы благоприятны для формирования стихийных гидрометеорологических явлений (наводнения, оползни, ураганы и т. д.) различной интенсивности и частоты. Изучение всех этих явлений требует обработки многолетних рядов наблюдений за климатическими параметрами. Целью представленного исследования является изучение пространственно-временных закономерностей основных климатических параметров в горных регионах Грузии. Рассчитаны следующие статистические параметры и климатические индексы: стандартное отклонение, средняя абсолютная ошибка, экстремумы температур, число экстремальных дней с осадками, повторяемость дней с сильным ветренным воздухом. Между двумя 30-летними периодами среднегодовая температура повысилась почти повсеместно, до 1 градуса; среднее повышение составляет $0,5^{\circ}\text{C}$. Установлено, что за второй период наблюдается существенное повышение средней максимальной температуры воздуха от $0,3^{\circ}\text{C}$ до $1,2^{\circ}\text{C}$. Изменения режима осадков нестабильны во времени и пространственно неоднородны, хотя и характеризуются некоторой закономерностью. В частности, годовое количество осадков в западной Грузии в основном увеличивается, а в некоторых восточных регионах – уменьшается. Тенденции изменения средней скорости ветра, по-видимому, уменьшаются, однако максимальные скорости увеличиваются. Результаты могут быть использованы в системах раннего оповещения.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-106-116

უკ.111.111

გვალვების უარყოფითი ეკოლოგიური და ეკონომიკური ზეგავლენის შეფასების სირთულეები საქართველოში

მარიამ ციცაგი, ზაზა გულაშვილი, ანა ფალავანდიშვილი, მარიკა ტატიშვილი,
ნანული ზოტიკიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

Mariam.tsitsagi@tsu.ge

რეზიუმე. გვალვა საქართველოს კლიმატური რისკების ერთ-ერთი მთავარი გამოწვევაა, რომლის ინტენსივობა და გავრცელება ბოლო ათწლეულების განმავლობაში კლიმატის ცვლილების ფონზე საგრძნობლად გაიზარდა. კვლევის მიზანია გვალვის ეკოლოგიურ-ეკონომიკური ზემოქმედების შეფასება და სარწყავი მიწების იდენტიფიცირება გვალვის (SPI, SPEI, EDI) და მცენარეულობის ინდექსების (NDVI, NDMI) გამოყენებით. მონაცემთა ანალიზი ეფუძნება 1991-2020 წლების კლიმატურ ინფორმაციას, რომელიც მიღებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს მეტეოროლოგიური სადგურებიდან და SENTINEL2 თანამგზავრულ მონაცემებზე დაფუძნებულ ვიზუალიზაციებს. კვლევაში გამოვლინდა, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვის ინდექსების კორელაცია მცენარეულობის ინდექსებთან დაბალია, განსაკუთრებით ბუნებრივ ლანდშაფტებში, რაც განპირობებულია რეგიონის ტემპერატურის და ნალექის ცვალებადობით. განსხვავებით დასავლეთ საქართველოს ნოტიო კლიმატური პირობებისგან, აღმოსავლეთ საქართველოში ტენდენციაა, რომ SPI და SPEI ინდექსების კორელაცია ნალექის პერიოდების ზრდასთან ერთად მცირდება. ასევე გამოვლინდა, რომ NDVI და NDMI ინდექსები უფრო მგრძნობიარეა აგრარული, ერთწლიანი კულტურებით დაფარული ფართობების შემთხვევაში, რაც მიუთითებს ამ კულტურების გვალვაზე მაღალი რეაქციისკენ. მნიშვნელოვანი აღმოჩენა იყო ის, რომ ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების მნიშვნელოვანი ნაწილი რეალურად მორწყულად შეიძლება ჩაითვალოს ინდექსების მაღალი კორელაციის საფუძველზე. კერძოდ, თელავის მუნიციპალიტეტის არამორწყული ნაკვეთების 48.3%-ს NDVI/NDMI ინდექსები მორწყულ ფართობებთან მაღალ თანხვედრაშია, რაც შესაძლოა მიუთითებდეს არაფორმალურ მორწყვის პრაქტიკაზე. პარალელურად, ინდექსების მკვეთრად დაქვეითებული 43.2% მაჩვენებლები აღინიშნება, რაც მათ მაღალი გვალვაგრძნობადობის მდგომარეობაში აყენებს. კვლევის შედეგად შესაძლებელი გახდა სარწყავი სისტემების ეფექტიანობის შეფასება და არაოფიციალური მორწყვის გამოვლენა, რაც მნიშვნელოვანი საფუძველია წყლის რესურსების უკეთ მართვისა და სოფლის მეურნეობის მდგრადი განვითარებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატის ცვლილება, გვალვის და მცენარეულობის ინდექსები, თანამგზავრული ვიზუალიზაცია, სარწყავი სისტემა

შესავალი. გვალვა მიეკუთვნება იმ ბუნებრივ პროცესებს, რომლებსაც მრავალი (ეკოლოგიური, სოციალური, ეკონომიკური) უარყოფითი შედეგი აქვთ. გვალვის პოლიტიკური და სოციალური ეფექტები, ადამიანური მსხვერპლის და მატერიალური ზარალის გარდა, შეიძლება გამოვლინდეს უშუალოდ გვალვის დროს ანდა მის შემდეგ, განსაკუთრებით იმ ქვეყნებში, რომლებსაც ნაკლები ადაპტაციის პოტენციალი აქვთ [3]. გვალვები ხასიათდება ბუნებრივი წყლის, ატმოსფერული ნალექების, მდინარის ჩამონადენის ან მიწისქვეშა წყლების ხელმისაწვდომობის შემცირებით [2]. ატმოსფერული ნალექების დეფიციტის გარდა, გვალვები დაკავშირებულია აორთქლებასა და აორთქლებადობასთან, ნიადაგის ტენიანობის დეფიციტთან და მიწისქვეშა წყლების დონის შემცირებასთან. გვალვა ასევე კორელაციაშია რეგიონულ გარემო პირობებთან [6]. ამ მრავალფეროვნების გამო, განსხვავებენ მეტეოროლოგიურ, სასოფლო-სამეურნეო, ეკოლოგიურ და სხვა ტიპის გვალვებს. მეტეოროლოგიური გვალვები, სხვა პროცესებთან ერთად, გავლენას ახდენს ჰიდროლოგიურ და სასოფლო-სამეურნეო გვალვებზე. ნალექების ანომალური შემცირება იწვევს სასოფლო-სამეურნეო გვალვას, რომელზეც ძლიერ გავლენას ახდენს მიწის ზედაპირის ტემპერატურა, აორთქლება, ნიადაგის თვისებები და მცენარის ფიზიოლოგიური ან ეკოლოგიური მახასიათებლები [4]. სასოფლო-სამეურნეო გვალვა საკმაოდ რთული ფენომენია და მასზე გავლენას ახდენს მეტეოროლოგიური გვალვები ნიადაგის თვისებების, მიწისქვეშა წყლების არსებობისა და ირიგაციის გამო. სერიოზული შედეგების მიუხედავად, გვალვა ერთ-ერთი ყველაზე ნაკლებად შესწავლილი სტიქიური პროცესია მისი რთული ბუნებრივი გარემოსა და სხვა რთული ფაქტორების სხვადასხვა ზემოქმედების გამო. კლიმატის ცვლილების კონტექსტში გვალვების ინტენსიფიკაცია ზრდის ინტერესს მისი კვლევისა და შეფასების

მიმართ. შექმნილია მრავალი ინდექსი. გვალვის ინდექსებს შეუძლიათ უზრუნველყონ ტერიტორიისთვის გვალვის ხარისხობრივი შეფასება კონკრეტული პერიოდისთვის, რისთვისაც იყენებს კლიმატის მონიტორინგს სხვადასხვა დროითი მასშტაბით მოკლევადიანი და გრძელვადიანი გვალვის ეპიზოდების ამოცნობისთვის [7]. გვალვის არსებული ინდექსების უმეტესობა შემუშავებულია კონკრეტული რეგიონებისთვის და მათი გამოყენება შეზღუდულია სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში გვალვის ფენომენების თანდაყოლილი სირთულის გამო. სამეცნიერო ლიტერატურაში გვალვის შეფასების მრავალრიცხოვან ინდექსებს შორის, ყველაზე გავრცელებულია ატმოსფერული ნალექების სტანდარტული ინდექსი (SPI) და ატმოსფერული ნალექების და აორთქლებადობის სტანდარტული ინდექსი (SPEI) [4], ეფექტური გვალვის ინდექსი (EDI) [4] და სხვა. SPI არის გვალვის ინდექსი, რომელიც დაფუძნებულია ნალექების დაგროვების ალბათობაზე მოცემულ პერიოდში. იგი გამოიყენება როგორც ზოგადი ინდექსი მეტეოროლოგიური გვალვის სიმძიმის შესაფასებლად [8]. მიუხედავად იმისა, რომ SPI წარმოდგენილია მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ (2009), როგორც უნივერსალური ინდექსი, ერთი ინდიკატორი შეიძლება არ იყოს საკმარისი რთული გვალვის დასახასიათებლად. ერთი ინდექსი ვერ იძლევა გვალვის სრულ სურათს. სწორედ ამიტომ გამოიყენება მრავალი ინდექსი გვალვის მოვლენის დასახასიათებლად. SPEI ეფუძნება წყლის ბალანსის ანომალიებს, ნალექების დეფიციტს და აორთქლებადობის ინდექსს [10]. SPI იყენებს ატმოსფერული ნალექების მონაცემებს, ხოლო SPEI იყენებს ნალექების და მაქსიმალური და მინიმალური ტემპერატურის მონაცემებს. SPI და SPEI კარგი ინდიკატორებია გვალვისადმი მიდრეკილი ტერიტორიების რეგიონული მასშტაბით იდენტიფიცირებისთვის. მისი გამოთვლა შესაძლებელია 1-24 თვიანი პერიოდებისთვის. EDI SPI-ის მსგავსად ნალექების მონაცემებს იყენებს. EDI შეიძლება გამოითვალოს როგორც დღიურ, ასევე ყოველთვიურ დროითი მასშტაბით. კლიმატური მონაცემების მიხედვით გვალვის შეფასება ყველაზე გამოყენებადია, მაგრამ ამავე დროს, გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს მცენარეთა ინდექსებსაც. ბუნებრივ პირობებში, ნახევრადმშრალი მცენარეულობა არ უნდა დაზიანდეს ექსტრემალური გვალვის მოვლენებით, რადგან ის მნიშვნელოვნად მდგრადია და შეუძლია აღდგენა. სხვა სოციალურ-ეკონომიკური და ბიოფიზიკური ცვლადების ანალიზთან ერთად, დისტანციური ზონდირების მონაცემებმა შეიძლება ხელი შეუწყოს მიწის დეგრადაციის მექანიზმების და გვალვის ევოლუციისა და სიმძიმის შედეგების უკეთ გაგებას [9]. ზოგადად, გვალვის მონიტორინგი შესაძლებელია როგორც მიწისზედა დაკვირვებით, ასევე დისტანციური ზონდირებით. მიწისზედა დაკვირვება გვალვის მონიტორინგის პირდაპირი და ზუსტი მეთოდია, მაგრამ რეგიონული მონიტორინგისთვის საკმარისი სივრცითი ინფორმაციის მიღება რთულია. ის ასევე საკმაოდ შრომატევადი და ხარჯიანია [9], განსაკუთრებით სასოფლო-სამეურნეო გვალვის შეფასებისას. მეორეს მხრივ, სასოფლო-სამეურნეო გვალვების მხოლოდ მეტეოროლოგიური გვალვის ინდექსებით შეფასება არაეფექტურია. საყოველთაოდ მიღებულია, რომ მშრალი პირობები მხოლოდ ჰიდროლოგიური ციკლის კონკრეტულ ეტაპზე ხდება და ხშირად არ აჩვენებს წყლის დეფიციტს ნიადაგის ტენიანობაში, ნაკადულებში, წყალსაცავებსა და მიწისქვეშა წყლებში. შესაბამისად, დისტანციური ზონდირებაზე დაფუძნებული ინდექსები სასურველია სასოფლო-სამეურნეო გვალვის მონიტორინგისთვის [8]. ეს წარმოადგენს გვალვის მონიტორინგის სწრაფ და ეკონომიურ მეთოდს, მაგრამ საჭიროებს პრაქტიკული მიდგომის შემუშავებას საკვლევი რეგიონისთვის. მიკროტალღური დისტანციური ზონდირების ბოლოდროინდელი მიღწევები მიუთითებს, რომ არსებობს ნიადაგის ზედაპირული ტენიანობის და მცენარეულობის წყლის შემცველობის რადიომეტრიული განსაზღვრის შესაძლებლობები [8]. გვალვის კვლევებისთვის თანამგზავრული სურათების გამოყენებამ, რომლებიც არ საჭიროებენ სხვადასხვა პარამეტრების შეგროვებას გვალვის გამოსათვლელად და არ არიან დამოკიდებული მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემებზე, შეიძლება გაზარდოს სივრცითი სტატისტიკის შედეგების სიზუსტე. ასეთ კვლევებში განსაკუთრებით ინტენსიურად გამოიყენება ნორმალიზებული სხვაობის მცენარეული ინდექსი (NDVI) [9]. 1980-იანი წლებიდან მოყოლებული, ბევრმა მკვლევარმა გამოიყენა ნორმალიზებული სხვაობის მცენარეული ინდექსი (NDVI), როგორც მცენარეულობის ზრდისა და სტატუსის ინდიკატორი და მცენარეულობის სივრცითი სიმკვრივისა და ფენოლოგიის დასადგენად [9]. ამასობაში, გვალვის გავლენა ხმელეთის ეკოსისტემებზე სულ უფრო მწვავე ხდება. მცენარეულობის რეაქცია გვალვაზე კლიმატის კვლევაში მნიშვნელოვანი სამეცნიერო საკითხია. კვლევამ აჩვენა, რომ NDVI-ს კარგი კორელაცია აქვს ნალექებთან და ტემპერატურასთან. წყლის საშუალო წლიური ბალანსი მცენარეულობის ცვლილების მამოძრავებელი ფაქტორია, განსაკუთრებით არიდულ და ნახევრად არიდულ რეგიონებში [11]. გვალვის გენეზისი საქართველოში დამოკიდებულია ციკლონურ და ანტიციკლონურ მოძრაობებზე. პირველ შემთხვევაში ხშირია წვიმიანი დღეები, ხოლო მეორე შემთხვევაში მშრალი პერიოდები, სხვადასხვა

ხანგრძლივობის მაღალი ტემპერატურით და დაბალი ტენიანობით. თუ არქტიკიდან მიმართული ჰაერის მასები მშრალი და ცივია, ისინი ვრცელდება გრძელ ტერიტორიებზე და ევროპის აღმოსავლეთ-სამხრეთ ნაწილებში სტაბილური ანტიციკლონური სისტემა იქმნება. ასეთ სიტუაციაში საქართველოში მშრალი პერიოდია. თუ აღმოსავლეთიდან ჰაერის მასები შემოიჭრებიან, მაღალი ტემპერატურა და დაბალი ტენიანობა მშრალი ამინდია. ასეთი პერიოდები უფრო სასტიკი და საშიშია [6]. ოფიციალური ინფორმაციით, 200 000 ჰექტარზე მეტი ფართობი ამჟამად ძლიერ დაზარალებულია ინტენსიური გვალვებით. გვალვით გამოწვეული ქონებრივი ზიანიც ძალიან მნიშვნელოვანია [8].

საქართველოში მრავალი კლიმატური ზონაა, რომლებიც წარმოდგენილია ორ მნიშვნელოვან რეგიონში - დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს კლიმატურ რაიონებში, რომლებიც გამოყოფილია აჭარა-იმერეთისა და ლიხის ქედებით. დასავლეთ საქართველოს აქვს ზღვის ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატი რბილი ზამთრითა და ცხელი ზაფხულით, რომელიც სიმაღლის მატებასთან ერთად იცვლება მაღალმთის ნოტიო კლიმატად უხვი თოვლითა და მყინვარებით. ქვეყნის ცენტრალური ნაწილიდან ზღვის ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატი იცვლება ზომიერ ნოტიო კონტინენტურში. აღმოსავლეთ საქართველოს აქვს სუბტროპიკული კლიმატური ზონები ცხელი ზაფხულითა და ზომიერად ცივი ზამთრით. ამის საპირისპიროდ, სამხრეთ საქართველოს მთიან რეგიონებში არის გარდამავალი კლიმატური ქვეზონები ზომიერი სუბტროპიკულიდან მაღალმთიან მშრალ სუბტროპიკულამდე. საქართველოში კლიმატის ფორმირებაზე გავლენას ახდენს მზის რადიაცია, ატმოსფერული ცირკულაცია და მიწისქვეშა ბუნების ბუნება. ზოგადად, ქვეყანაში მზის ნათების ხანგრძლივობა მაღალია. მისი მაჩვენებელი საქართველოს თითქმის მთელ ტერიტორიაზე 2000 საათს აღემატება [1]. აქ რადიაციული ბალანსი დადებითია მთელი წლის განმავლობაში. კოლხეთის ვაკის კვლევით ზოლში წლიური ჯამური რადიაცია დაახლოებით 120-130 კკალ/კვ. სმ-ია [2]. მაქსიმალური მაჩვენებელი ფიქსირდება ივნისსა და ივლისში, ხოლო მინიმალური - დეკემბერსა და იანვარში. მაგ., სენაკში მთლიანი რადიაცია მაქსიმუმს ივნისში აღწევს, ხოლო მინიმუმს - დეკემბერში. სანაპირო ზონაში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა 14-15°C-ია [(3)]. ეს მაჩვენებელი ასევე მცირდება ზღვის დონიდან სიმაღლის მატებასთან ერთად. დასავლეთ საქართველოში იანვრის საშუალო ტემპერატურა დაახლოებით +4.6°C-ია. შავი ზღვის სანაპირო ზონაში ის 6.7°C-ია [2], ხოლო ივლისის ტემპერატურა სანაპირო ზოლში შავი ზღვის სიახლოვის გამო 23°C-ის ფარგლებშია. ტემპერატურა ასევე მცირდება ზღვიდან დაშორებისა და ზღვის დონიდან სიმაღლის მატების მიხედვით. კოლხეთის სანაპირო ზოლში შეინიშნება ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის მაღალი მაჩვენებელი, სადაც მისი წლიური მაჩვენებელი 80-82%-ის ტოლია [2]. სანაპირო ზონაში ფარდობითი ტენიანობა მინიმალურია ზამთარში (64-75%), მაქსიმალურია აგვისტოსა და სექტემბერში (75-85%), ზღვიდან მოშორებით მინიმალურია აპრილში (64-72%), ხოლო მაქსიმალური ივლის-აგვისტოში (76-84%) [3]. ნალექები ყველაზე მნიშვნელოვანი კლიმატური ელემენტია, რომელიც განსაზღვრავს წყლის ბალანსს დასავლეთ საქართველოში. სანაპირო ზონაში ნალექების რაოდენობა 1800-1900 მმ-ია და დამოკიდებულია ზღვიდან დაშორებაზე. ის მცირდება 1100-1200 მმ-მდე [3]. თოვლის საფარი ნალექების აუცილებელი ელემენტია. დასავლეთ საქართველოში თოვლის საფარის ხანგრძლივობა ზღვის დონიდან 200-300 მეტრზე 30-35 დღეა. სიმაღლის მატებასთან ერთად, თოვლის საფარის ხანგრძლივობა იზრდება. თოვლის საფარის გამოჩენის დროც განსხვავებულია.

ისტორიული ჩანაწერების საფუძველზე, საქართველოს ტერიტორია გვალვის 60%-იანი განმეორებადობის ქვეშაა [7]. ყველაზე გვალვიანი რეგიონებია ქვემო ქართლის, შირაქისა და ელდარის დაბლობები და საქართველოს აღმოსავლეთ ნაწილების სხვა დაბლობები. ეს რეგიონები ხასიათდება ნიადაგებში პროდუქტიული ტენიანობის დეფიციტით. ამ ადგილებისთვის დამახასიათებელია პროდუქტიული ტენიანობის ორი ტიპი: კაპილარული დატენიანება და სრული გაზაფხულის დასველება. პირველ შემთხვევაში, 1 მეტრის ნიადაგის ფენაში პროდუქტიული ტენიანობის მარაგი 100-200 მმ-ია, ხოლო დანარჩენებში - 50-150 მმ, ხოლო დასავლეთ საქართველოში ტენიანობის მარაგი 400 მმ-ს არ აღემატება. ბუნებრივი ფაქტორების გარდა (ქარიანი ეროზია და ნალექების შემცირება), ანთროპოგენური დატვირთვაც მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს გაუდაბნოების პროცესზე. კერძოდ: ნიადაგის, ტყის და წყლის რესურსების უმართავი გამოყენება, ნიადაგის დამლაშება.

ზოგიერთი ადრეული შეფასებით, გასული საუკუნის 80-იან წლებში ზოგიერთ რაიონში მისი სიხშირე 40%-ს აღემატებოდა. ბოლო ათწლეულების განმავლობაში კლიმატის ცვლილების თანმხლები ხშირი გვალვების შედეგად დაფიქსირდა ბუნებრივი ლანდშაფტების მრავალი სახეობის ტრანსფორმაცია. აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპებისა და ნახევრადუდაბნოების ლანდშაფტის გაუდაბნოების ალბათობა მეოცე საუკუნის ბოლოსთვის 25-30%-ს მიაღწია. ოფიციალური მონაცემებით, ინტენსიური გვალვების

შედეგად ამჟამად 200 000 ჰექტარზე მეტი ფართობი ძლიერ დაზარალებულია [5]. გვალვით გამოწვეული ქონებრივი ზიანი ძალიან მნიშვნელოვანია.

უკანასკნელ ხანებში ჩატარდა არაერთი კვლევა, რომელიც გვალვების ეკოლოგიურ და ეკონომიკურ შედეგებს ეხებოდა. წინამდებარე ნაშრომი წარმოადგენს მცდელობას გაანალიზოს კვლევებში გამოყენებული მეთოდოლოგია, მიღებული შედეგები და ფოკუსირება მოახდინოს იმ გამოწვევებზე, რაც მსგავსი ტიპის კვლევებს ახლავს საქართველოში.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია. კვლევების მეთოდოლოგია უმთავრესად ეფუძნება გვალვის და მცენარეული ინდექსების გამოთვლას. პირველი დაფუძნებულია მეტეოროლოგიურ მონაცემებზე, ხოლო მეორე თანამგზავრულ გამოსახულებებზე. კვლევაში მეტეოროლოგიური გვალვების შესაფასებლად გამოყენებული იქნა სამი ინდექსი: SPI, SPEI და EDI, ხოლო სასოფლო-სამეურნეო გვალვების შესაფასებლად გამოყენებული იქნა ორი Sentinel 2-ზე დაფუძნებული ინდექსი (ნორმალიზებული სხვაობის მცენარეულობის ინდექსი (NDVI) და ნორმალიზებული სხვაობის ტენიანობის ინდექსი (NDMI)). Copernicus Sentinel2-ის მისია დაფუძნებულია ერთსა და იმავე ორბიტაზე განლაგებული ორი იდენტური თანამგზავრის თანავარსკვლავედზე. თითოეული თანამგზავრი შეიცავს ინოვაციურ ფართოზოლოვან მაღალი გარჩევადობის (10მ) მულტისპექტრულ ვიზუალიზატორს 13 სპექტრული ზოლით, რაც ჩვენი მიზნისა და მცენარეულობის ახალ პერსპექტივას უზრუნველყოფს.

ორივე ინდექსის მნიშვნელობა +1.0-დან -1.0-მდე მერყეობს. ფრიალო კლდეების, ქვიშის ან თოვლის ფართობებზე, როგორც წესი, ძალიან დაბალი NDVI მნიშვნელობებია (მაგალითად, 0.1 ან ნაკლები). იშვიათი მცენარეულობა, როგორიცაა ბუჩქები და ბალახოვანი მცენარეები ან დაბერების პროცესში მყოფი კულტურები, შეიძლება გამოიწვიოს ზომიერი NDVI მნიშვნელობები (დაახლოებით 0.2-დან 0.5-მდე). მაღალი NDVI მნიშვნელობები (დაახლოებით 0.6-დან 0.9-მდე) შეესაბამება მკვრივ მცენარეულობას. მაშინ როდესაც NDMI-ის ყველაზე დაბალი მნიშვნელობები მიუთითებს მცენარეულობის დაბალ წყლის შემცველობაზე, ხოლო ყველაზე მაღალი - მაღალ წყლის შემცველობაზე. სარწყავი ტერიტორიებისთვის, ჩვენ გამოვთვალეთ VI-ების საშუალო მნიშვნელობები (აპრილი-აგვისტო, როგორც ვეგეტაციის სეზონი) და შევადარეთ ისინი ოფიციალური არამორწყული ტერიტორიების მნიშვნელობებს. ნაკვეთები, რომელთა პირსონის კორელაცია 0.5 და მეტია, იდენტიფიცირებული იქნა, როგორც სარწყავი (ამ შემთხვევაში არაოფიციალური წყაროებიდან) [14].

ნალექის უწყვეტი მონაცემის მიხედვით საქართველოში შევარჩიეთ შემდეგი პუნქტები: ახალციხე, ამბროლაური, ბოლნისი, გორი, მთა -საბურთე, ფასანაური, ფოთი, ქუთაისი, თბილისი და თელავი. დამუშავდა ტემპერატურისა და ნალექების მონაცემები 1991-2020 წლების პერიოდისთვის. ნალექის საზომები შეირჩა სხვადასხვა კლიმატური პირობების გვალვის შესახებ წარმოდგენის შესაქმნელად.

ორივე ინდექსის შემთხვევაში, გვალვები განაწილებულია შემდეგი კრიტერიუმებით: უკიდურესად ნოტიო (2- <), ძლიერი ნოტიო (1.5-2), ზომიერად ნოტიო (1-1.5), ნორმალთან ახლოს (-1-1), ზომიერად მშრალი (-1.5- -1), ძლიერი მშრალი (-1.5- -2). ქვეყანაში გამოწვევად რჩება სარწყავი წყლით სათანადო მომარაგება და დანაკარგების დადგენა. კვლევის მიზანია აღმოსავლეთ საქართველოს (თელავის მუნიციპალიტეტი) ვენახებში წყლის მდგომარეობის დადგენა გვალვის ინდექსებისა და მცენარეულობის ინდექსების (VI) გამოყენებით არაოფიციალური მორწყვის დასადგენად.

შერჩეული პუნქტები ხასიათდება ზომიერად ცივი ზამთრით და ცხელი ზაფხულით, ნალექების მინიმუმი წელიწადში ორჯერ აღინიშნება. გვალვა ძირითადად გაზაფხულის, ზაფხულის და შემოდგომის სეზონებზეა მოსალოდნელი. ზამთარში, ხშირი ციკლონური და ფრონტალური პერიოდების გამო, მშრალი დღის ხანგრძლივობა უფრო მოკლეა. კვლევის არეალში ვენახების შესახებ მონაცემები მიღებულია ქვეყნის ვენახების კადასტრიდან (2020). მუნიციპალიტეტში ოფიციალური სარწყავი ფართობების შესახებ მონაცემები მიღებულია საქართველოს მელიორაციის (GA) სამსახურიდან. კვლევაში გამოყენებული იქნა საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს (NEA) მიერ მოწოდებული მეტეოროლოგიური სადგურიდან მიღებული დღიური ნალექებისა და ტემპერატურის მონაცემები (1991-2020).

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა. გვალვების კვლევებში უპირველესი საკითხი იყო ინდექსების შორის კორელაციის ცვლილება კლიმატური პირობების მიხედვით. მაგალითად, ახალციხის შემთხვევაში, ყველა პერიოდის კორელაციის კოეფიციენტები შედარებით დაბალია (ცხრ.1) სამივე პერიოდის გათვალისწინებით, ჩანს, რომ კორელაცია შედარებით მაღალია 3 თვიანი პერიოდისთვის (0.92). ამის

საპირისპიროდ, ხანგრძლივი პერიოდების კორელაციის კოეფიციენტი მცირდება 0.90-მდე და 0.87-მდე 6 და 12-თვიანი პერიოდებისთვის.

ამბროლაურის შემთხვევაში, კორელაციის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია. სამივე პერიოდისთვის 0.96 ახალციხის მსგავსად, გორის შემთხვევაში კორელაციის კოეფიციენტი პერიოდების მიხედვით განსხვავდება. ის შედარებით მაღალია (0.90) 3 თვიანი პერიოდისთვის, ხოლო 6 და 12-თვიანი პერიოდებისთვის 0.87-მდე და 0.81-მდე მცირდება. მთა-საბუეთი კორელაციების თვალსაზრისით საინტერესო სურათს გვთავაზობს. აქ სამივე პერიოდის კორელაცია თითქმის იგივეა და 0.98. ფასანაურის შემთხვევაშიც აღმოსავლეთ საქართველოს სხვა წვიმის საზომების მსგავსად, აქაც კორელაციები პერიოდის ზრდასთან ერთად მცირდება. თუ 3 თვის განმავლობაში ის 6 თვის განმავლობაში 0.98 იყო, ხოლო 12-თვიანი პერიოდისთვის ის მცირდება და 0.97-დან 0.95-მდე ეცემა. ფოთი კორელაციების საინტერესო სურათს გვაჩვენებს. ამ შემთხვევაში, სამივე პერიოდის კორელაციის კოეფიციენტი 0.98-დან 0.99-მდე მერყეობს. ქუთაისში დასავლეთ საქართველოში არსებული სხვა წვიმის საზომების მსგავსად, ამ შემთხვევაშიც კორელაციის კოეფიციენტი მსგავსია და სამივე პერიოდისთვის 0.98-ს შეადგენს. თბილისის შემთხვევაში, ტენდენცია მეორდება და კორელაციები პერიოდის ზრდასთან ერთად მცირდება. თუ ის 3-თვიანი პერიოდისთვის 0.93-ია, 6 თვისთვის 0.9-მდე და 12-თვიანი პერიოდისთვის 0.87-მდე მცირდება. თელავი აღმოსავლეთ საქართველოში კიდევ ერთი წვიმის საზომია, სადაც მსგავსი ტენდენცია შეინიშნება. ამ წვიმის საზომის შემთხვევაშიც საქმე გვაქვს კორელაციის კოეფიციენტის შემცირებასთან. 3-თვიანი პერიოდისთვის 0.95, ხოლო 6 და 12-თვიანი პერიოდებისთვის 0.94 და 0.93.

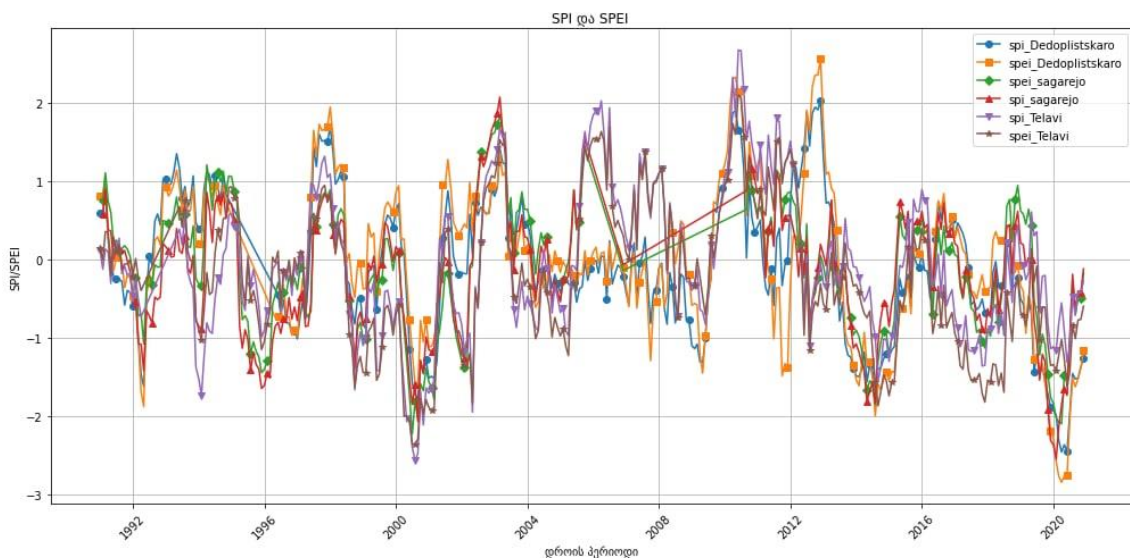
ცხრილი 1. 1991-2020 წლების პერიოდისთვის SPEI-SPI (3, 6, 12 თვე) გვალვის ინდექსების სადგურებსა და ურთიერთ შორის პირსონის კორელაცია

სადგური	Pearson SPI 3- SPEI 3	Pearson SPI 6- SPEI	Pearson SPI 2- SPEI 12
თელავი	0.951749	0.943172	0.928499
ახალციხე	0.921328	0.900248	0.866863
ამბროლაური	0.960683	0.956609	0.960253
გორი	0.898262	0.867283	0.808437
მთა-საბუეთი	0.977971	0.980275	0.979545
ფასანაური	0.97667	0.965895	0.944941
ფოთი	0.982357	0.986272	0.987388
ქუთაისი	0.980448	0.977414	0.978158
თბილისი	0.925437	0.903093	0.873974
თელავი/გორი	0.475601	0.484241	0.53356
ახალციხე/მთა-საბუეთი	0.509075	0.492155	0.503413
თბილისი/ქუთაისი	0.314346	0.337496	0.443787
თბილისი/მთა-საბუეთი	0.300097	0.314582	0.433386
ბოლნისი/ფასანაური	0.242862	0.157741	0.262271
თბილისი/ახალციხე	0.430081	0.389833	0.433268

გვალვის ინდექსები კლიმატის ცვლილების კარგი მაჩვენებლებია, რადგან ისინი მოიცავს ტემპერატურისა და ტენიანობის ვარიაციების ცვლილებას. 1991-2020 წლების შერჩეულ საკვლევი პერიოდის განმავლობაში, სხვადასხვა ნალექის საზომებისთვის გვალვის SPEI და SPI ინდექსები სხვადასხვა ტენდენციას ავლენს. ამ მოკლე დროის მასშტაბისთვის ტენდენციის ხაზების მრუდი ზოგადად უფრო დაბალია. SPEI_3-ის დიდი რყევები მიუთითებს მის მგრძნობელობაზე ხანმოკლე ნალექების მიმართ, ხოლო SPEI_6 მგრძნობიარეა სველ-მშრალი პერიოდების რყევის მიმართ. გვალვის ინდექსების ქცევა შემდეგია: ახალციხის ნალექის საზომზე, ყველა SPEI ინდექსი არ ავლენს კლების/ზრდის ტენდენციას, ხოლო ყველა SPI იზრდება. ამბროლაურში როგორც SPEI, ასევე SPI ინდექსები ავლენენ კლების ტენდენციას. ბოლნისისთვის SPEI მცირდება, ხოლო SPI გაიზარდა. ფასანაურთან, როგორც SPEI, ასევე SPI მცირდება,

გორთან, SPEI ინდექსები შემცირდა, ხოლო SPI-ს ზრდის ტენდენცია აქვს, ხოლო მთა-საბუეთთან ორივე SEI/SPI იზრდება. ფოთის წვიმის საზომისთვის, SPEI_3 და SPEI_6 შემცირდა, ხოლო SPEI_12 გაიზარდა, რადგან ყველა SPI ინდექსი ნალექების შემცირებაზე მიუთითებს. ქუთაისისთვის, გვალვის ყველა ინდექსი მცირდება. თბილისის ტერიტორიაზე, SPI_6-ისა და SPI_12-ის გარდა, ყველა ინდექსი მიუთითებს, რომ ყოველთვიური ნალექები მცირდება, ხოლო წყლის ორთქლის აორთქლება იზრდება. თელავის წვიმის საზომზე ყველა SPEI ინდექსს აქვს კლების ტენდენცია, ხოლო SPI ინდექსები იზრდება, რაც მიუთითებს ნალექების რაოდენობაზე. ამრიგად, SPEI და SPI ინდექსები ასახავს საქართველოს კლიმატის ცვლილების რთულ მოზაიკურ ხასიათს.

საქართველოში ათი შერჩეული ნალექის მაჩვენებლის მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ დასავლეთ საქართველოში, სადაც ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატია, SPI-სა და SPEI-ს შორის კორელაცია მაღალია და სამივე პერიოდის კორელაციის კოეფიციენტები თითქმის ერთნაირია (მაგ. ფოთი, ამბროლაური, ქუთაისი). აღმოსავლეთ საქართველოში არსებული ნალექის მაჩვენებლების შემთხვევაში სურათი იცვლება. პირველ რიგში, განსხვავება ისაა, რომ კორელაციის კოეფიციენტები უფრო დაბალია დასავლეთ საქართველოში არსებულ ნალექის მაჩვენებლებთან შედარებით და მეორე განსხვავება ისაა, რომ კორელაციის კოეფიციენტები მცირდება პერიოდის ზრდასთან ერთად. აღმოსავლეთ საქართველოს ყველა ნალექის მაჩვენებლის შემთხვევაში, კორელაციის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია 3 თვის განმავლობაში, ხოლო ექვსთორმეტთვიანი პერიოდებისთვის მცირდება. მიღებულ შედეგებს ლოგიკური ახსნა აქვს. ამ შემთხვევაში, გადამწყვეტი როლი ტემპერატურას ეკუთვნის. აღმოსავლეთ საქართველოში ტემპერატურის მატება ხელს უწყობს გვალვის გახანგრძლივებას და ნალექებთან ერთად ყველაზე მნიშვნელოვანი ფაქტორია. გარდა ამისა, აღმოსავლეთ საქართველოს აქვს ნალექების განსხვავებული რეჟიმი, რაც გამოიხატება უეცარი კოკისპირული წვიმებითა და ხანგრძლივი გვალვიანი პერიოდებით [4].



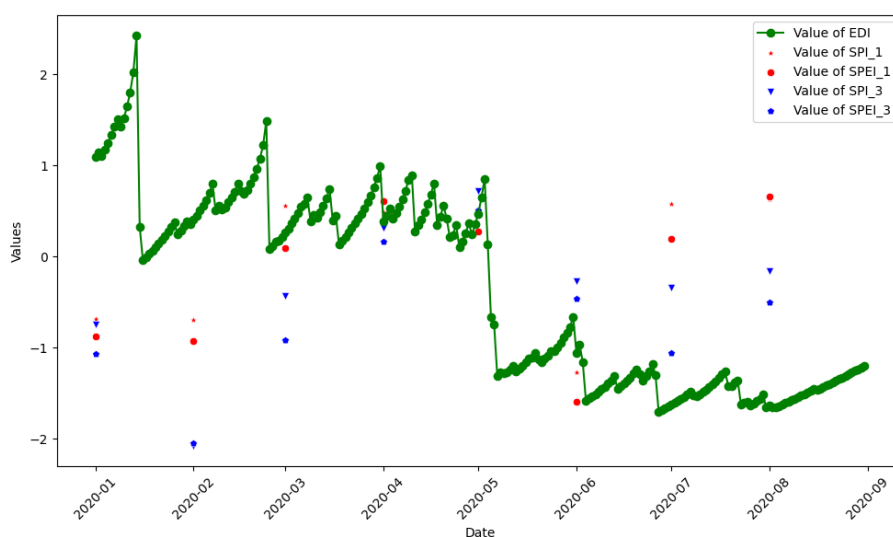
ნახ.1 გვალვის ინდექსები სამი სადგურისთვის კახეთის რეგიონში

კვლევის კიდეც ერთი მიმართულება არის ნალექების, გვალვის ინდექსებისა და NDVI-ის ცვლილებას შორის კავშირის დანახვა. იმის ანალიზი, განსხვავებულად რეაგირებს თუ არა მცენარეულობა ერთსა და იმავე გვალვის პირობებზე და ამ განსხვავებაზე მოქმედი ფაქტორების შეფასება. შედეგები აჩვენებს, რომ ნალექების შემცირება გვალვის მაპროვოცირებელი ფაქტორია. თუმცა, კახეთის შემთხვევაში, მხოლოდ ნალექი გადამწყვეტი არ არის. უნდა აღინიშნოს, რომ ზაფხულში SPEI უფრო ძლიერ გვალვაზე მიუთითებს, განსაკუთრებით დედოფლისწყაროს შემთხვევაში. ასეთ შემთხვევაში მაღალი ტემპერატურა გადამწყვეტია ნახ.1.

ზოგადად, ყველა სადგურის მონაცემები აჩვენებს, რომ ბუნებრივი ლანდშაფტების შემთხვევაში, NDVI-ის მნიშვნელობები უფრო მაღალია, ვიდრე NDVI-ის მნიშვნელობები იმავე სადგურის აგრარულ რაიონებში. საგარეჯოს შემთხვევაში, ორივე ინდექსმა დაადასტურა 2019 წელს ძლიერი გვალვა. ზოგადად, 2019 წელი კახეთის მასშტაბით საკმაოდ ცხელი და მშრალი იყო. თუმცა, იმავე საგარეჯოში, 2019 წლის

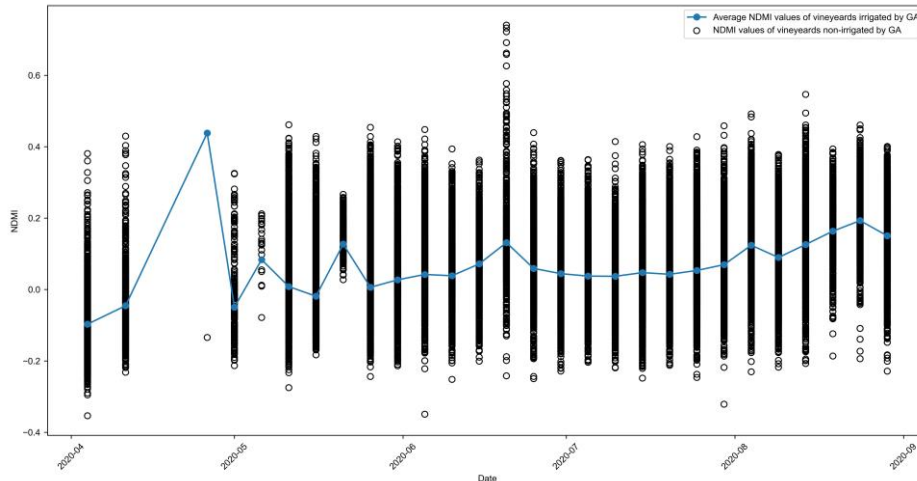
გაზაფხულ-ზაფხულში, როდესაც ორივე ინდექსი ძლიერ გვალვაზე მიუთითებს, ტყეში აღებული GCP-ების NDVI მნიშვნელობები საკმაოდ მაღალია. იგივე სიტუაციაა თელავის შემთხვევაშიც. საგარეჯოს შემთხვევაში, გვალვის ინდექსების კორელაცია NDVI-ის ინდიკატორებთან საკმაოდ დაბალია. ერთი შეხედვით, როგორც ჩანს, დედოფლისწყაროში სურათი განსხვავებულია, სადაც NDVI მნიშვნელობები აღნიშნულ პერიოდში მცირდება. ამ შემთხვევაში, სხვა სადგურებისგან განსხვავებით, NDVI-სა და გვალვის ინდექსებს შორის კორელაცია უფრო მაღალია. იმავე პერიოდში, დედოფლისწყაროში ნალექების შემცირება დაფიქსირდა. ეს ტენდენცია ეხება სასოფლო-სამეურნეო და ბუნებრივ ლანდშაფტებს, ამიტომ NDVI მნიშვნელობების კორელაცია გვალვის ინდექსებთან ძალიან მსგავსია. სამწუხაროდ, ლაგოდეხის კლიმატური მონაცემები არასრული იყო, რაც ზუსტი სურათის აღქმას ართულებდა. თუმცა, არსებული მონაცემები ადასტურებს, რომ ტყეების შემთხვევაში, გვალვის ინდექსებსა და NDVI-ის მნიშვნელობებს შორის კორელაცია თითქმის არ არსებობს.

კვლევა ჩატარდა კახეთის მაგალითზე, სადაც მრავალფეროვანი კლიმატური პირობები და ლანდშაფტები არსებობს. შედეგების საფუძველზე შეგვიძლია გავანალიზოთ NDVI ინდიკატორებს, ნალექებსა და გვალვის ინდექსებს შორის ურთიერთდამოკიდებულება. შედეგები აჩვენებს დაბალ კორელაციას გვალვის ინდექსებსა და NDVI მაჩვენებლებს შორის ყველა სადგურისთვის. ეს განსაკუთრებით შესამჩნევია ბუნებრივი ლანდშაფტების შემთხვევაში. სასოფლო-სამეურნეო ფართობებს შორის კორელაცია შედარებით უკეთესია, თუმცა მაინც დაბალი, რაც შეიძლება აიხსნას იმით, რომ კულტურები უფრო მგრძნობიარეა გვალვის მიმართ. ჩვენს კვლევაში განხილული ტერიტორიის შემთხვევაში, ერთწლიანი კულტურები დიდ ფართობს იკავებს. ეს განსაკუთრებით ეხება დედოფლისწყაროს, სადაც ძირითადად ხორბალი და ქერი მოდის. ამ რეგიონში ივნისის მეორე ნახევარში მოსავალი უკვე აღებულია და შესაბამისად, დაბალ NDVI მნიშვნელობებს იძლევა. იმავე სადგურთან ახლოს მდებარე ტყეები კიდევ უფრო გვალვაგამძლეა და მათი NDVI მნიშვნელობები არ იცვლება ისე სწრაფად. თუმცა, ლაგოდეხთან შედარებით, გვალვის შედეგები უფრო სწრაფად აისახება. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ სასოფლო-სამეურნეო ფართობების შემთხვევაში, NDVI მაჩვენებლები განსხვავდება კულტურების მიხედვით. მაგალითად, NDVI მაჩვენებლები ნაკლებად არის დაკავშირებული გვალვასთან, ვიდრე ერთწლიანი კულტურები ხილისა და ვენახის შემთხვევაში. ასევე მნიშვნელოვანია გავითვალისწინოთ, არის თუ არა ტერიტორია მორწყული [13]. კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება იყო სარწყავი და ურწყავი ფართების იდენტიფიცირება. ოფიციალური წყაროებიდან მიღებული მონაცემების თანახმად, თელავის მუნიციპალიტეტში არსებული 6936 ჰა ვენახიდან მხოლოდ 589 ჰა (8.5%) ირწყვება საქართველოს მელიორაციასთან ოფიციალური შეთანხმების საფუძველზე. კვლევის მიზანი იყო იმ ნაკვეთების დადგენა, რომლებიც არ იღებენ სარწყავ წყალს ოფიციალური წყაროდან (GA) გვალვის ინდექსებისა და VI-ების გამოყენებით. მიუხედავად იმისა, რომ გვალვის ინდექსების გამოსათვლელად გამოვიყენეთ 28-წლიანი მონაცემები, ამ კონკრეტულ კვლევაში მხოლოდ 2020 წლის მდგომარეობაა გათვალისწინებული.



ნახ.2. გვალვის ინდექსები თელავის შემთხვევაში

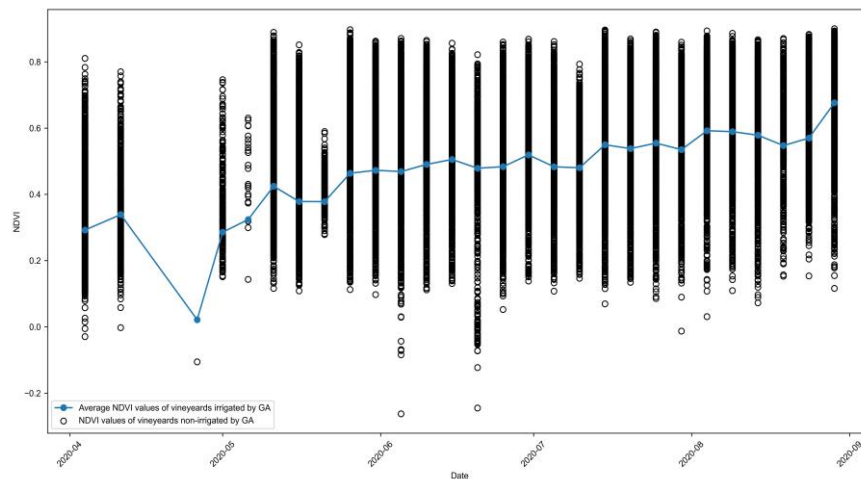
გვალვის ინდექსების ანალიზმა აჩვენა, რომ მიუხედავად იმისა, რომ EDI-ს დღიური მონაცემები აჩვენებს ზომიერად მშრალ პერიოდს შესწავლის ტერიტორიაზე მაისის მეორე დეკადიდან და ივლისში ის გადადის ძლიერ მშრალ მდგომარეობაში, გრძელვადიანი ინდექსები ამას არ ადასტურებს (ნახ. 2). SPI და SPEI (1-თვიანი და 3-თვიანი) მნიშვნელობების საფუძველზე, 2020 წლის ვეგეტაციის სეზონმა თითქმის ნორმასთან (-1-1) ახლოს მდებარე მდგომარეობა განიცადა. ივნისში დაფიქსირდა ზომიერი გვალვა (SPI_1=-1.3, SPEI_1=-1.6), ხოლო ივლისში 3-თვიანი მონაცემებით, SPEI_3-ის მაჩვენებელი -1.1-ია.



ნახ.3. ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების NDVI-ის და NDVMI-ის (სურ. 3ბ) საშუალო მნიშვნელობები ვეგეტაციის პერიოდში.

ნახ. 3 გვიჩვენებს ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების NDVI-ის და NDVMI-ის საშუალო მნიშვნელობებს ვეგეტაციის პერიოდში. ორივე ინდექსი თითქმის ერთნაირად რეაგირებს, კერძოდ, აპრილსა და მაისში NDVI-ის შედარებით დაბალი (0-0.3) მნიშვნელობებია, ხოლო ივნისსა და ივლისში, შედარებით მშრალი პირობების მიუხედავად (ნახ.4), VI-ის მნიშვნელობები მკვეთრად არ მცირდება. NDVMI-ის მნიშვნელობები ასევე მერყეობს 0-0.2-ის ფარგლებში ივნისსა და ივლისში, რაც წყლის დაბალ სტრესზე მიუთითებს. ნახ.3 წარმოადგენს ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების VI-ის მნიშვნელობებს და მათ დამოკიდებულებას მორწყული ნაკვეთების საშუალო მნიშვნელობებთან. ოფიციალურად, ნაკვეთების 6,347.7 ჰა (91.5%) არ არის მორწყული, რაც სულ 14,599 ნაკვეთს შეადგენს.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, პირსონის კორელაციის 0.5 და მეტი მნიშვნელობის მქონე ნაკვეთები არაფორმალურად მორწყულად მიჩნეულ იქნა (ანუ ნაკვეთები, რომლებსაც სარწყავ წყალზე წვდომა აქვთ შპს-სთან კონტრაქტის გარეშე), ხოლო დაბალი კორელაციის მქონე ნაკვეთები - არამორწყულად. ამ შემთხვევაში, გათვალისწინებულია ორივე ინდექსთან კორელაცია, ანუ ის უღელტეხილები, რომლებსაც ორივე ინდექსის შემთხვევაში 0.5 ან მეტი კორელაციის ინდექსი ჰქონდათ. მორწყულ და არამორწყულ ნაკვეთებზე VI-ების კორელაციამ დაადასტურა, რომ ნაკვეთების დაახლოებით 48.3%-ს (ოფიციალურად არამორწყული) (3348 ჰა) აქვს მაღალი კორელაცია მორწყული ნაკვეთების საშუალო მაჩვენებელთან, ხოლო 43.2% (2999 ჰა) განსხვავებულად რეაგირებს გვალვაზე და ორივე ინდექსის მნიშვნელობები მცირდება, ანუ წყლის დეფიციტით იტანჯება [14].



ნახ 4. ოფიციალურად არამორწყული ნაკვეთების NDVI-ის და NDVMI-ის (სურ. 3ბ) საშუალო მნიშვნელობები არავეგეტაციის პერიოდში.

დასკვნა. ბოლო დროს კლიმატის ცვლილების გამო გვალვების სიმძიმე იზრდება. გვალვების მრავალმხრივი ბუნების გამო (მეტეოროლოგიური, ჰიდროლოგიური, ეკონომიკური, ეკოლოგიური და ა.შ.), ის პირდაპირ თუ ირიბად მოქმედებს საზოგადოების ცხოვრების თითქმის ყველა ასპექტზე, როგორც მოკლევადიან, ასევე გრძელვადიან პერსპექტივაში. საქართველოს ახასიათებს მრავალფეროვანი რელიეფი და, შესაბამისად, კლიმატური პირობები. გვალვის კვლევებში გამოყენებული სხვადასხვა ინდექსის სირთულე დამოკიდებულია გამოყენებული მონაცემების ხელმისაწვდომობაზე. ძლიერი გვალვების სიხშირე გაიზარდა მთელი ქვეყნის მასშტაბით, განსაკუთრებით ბოლო ათწლეულების განმავლობაში. ეს ტენდენცია განსაკუთრებით თვალშისაცემია აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობის შემთხვევაში. აღმოსავლეთ საქართველოს ნალექების მონაცემების მაგალითზე კიდევ ერთი ტენდენცია გამოვლინდა. აქ SPI-სა და SPEI-ს კორელაცია შედარებით დაბალი იყო და შემცირდა პერიოდის ზრდასთან ერთად; მაგალითად, 12 და 24-თვიანი პერიოდების კორელაცია უფრო დაბალი იყო, ვიდრე 3 და 6-თვიანი პერიოდების. ეს აჩვენებს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში გვალვების შეფასებისას უმნიშვნელოვანესია ტემპერატურის ცვლილების გათვალისწინება ნალექების ცვლილებასთან ერთად. ამიტომ, დასავლეთ საქართველოში, სადაც ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატია, გვალვების ბუნების შესახებ წარმოდგენის შექმნა მხოლოდ SPI-ის გამოყენებით არის შესაძლებელი. აღმოსავლეთ საქართველოს დაბლობზე, სადაც მხოლოდ ერთი ინდექსით ზუსტი სურათის დანახვა ნაკლებად სავარაუდოა, უმჯობესია გამოიყენოთ მრავალცვლადიანი ინდექსები, სადაც ნალექებთან ერთად გათვალისწინებული იქნება ტემპერატურა და სხვა მონაცემები [8]. PCC (3 თვე), რომელიც აჩვენებს SPI-SPEI-ს შორის წრფივ კავშირს, საკმაოდ მაღალია და RMSE (SPI-SPEI) დაბალია ყველა სადგურისთვის, განსაკუთრებით ხაშურისა და თელავისთვის. (ცხრილი 1). SPI-SPEI-სთვის (12 თვე) PCC (12 თვე) მაღალია. R2 დაბალია ყველა სადგურისთვის. RMSE (SPI (12)-SPEI (12)) დაბალია, რაც იდეალურ შესაბამისობას ნიშნავს. ყველაზე ძლიერი კავშირი დაფიქსირდა თანაბარი დროის პერიოდების გამოყენებით ინდექსებს შორის. დროის ჩამორჩენის ზრდასთან ერთად, ცვლადებს შორის კავშირი სუსტდება. სადგურების შიგნით SPI-SPEI ურთიერთობების PCC ძალიან მაღალია, ხოლო სადგურებს შორის - შედარებით დაბალი. ეს შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მეტეოროლოგიური პარამეტრების - ტემპერატურის და განსაკუთრებით ნალექების სივრცულ-დროითი განაწილება მრავალფეროვანია სხვადასხვა ადგილისთვის, სხვადასხვა სიმაღლეზე და სადგურები განლაგებულია სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში. სადგურებს შორის მანძილი ასევე მნიშვნელოვანი ფაქტორია [10].

კვლევა აჩვენა, რომ ნალექებსა და NDVI-ს შორის ურთიერთობა რთულია და მრავალ ფაქტორზე დამოკიდებული. ზოგადად, ტყეების შემთხვევაში, ეს კავშირი უფრო სუსტია, რაც თავის მხრივ დამოკიდებულია ხის ფესვთა სისტემაზე, რაც ხელს უწყობს მცენარეში ტენიანობის ხანგრძლივ შენარჩუნებას, ხოლო ფოთლოვანი ტერიტორია ამცირებს აორთქლებას. მეორეს მხრივ, NDVI-ს, ნალექებსა და გვალვის ინდექსებს შორის კავშირი უფრო მნიშვნელოვანია სასოფლო-სამეურნეო რაიონებში. შესაბამისად, სხვადასხვა ტიპის მცენარეულობა განსხვავებულად რეაგირებს გვალვაზე ერთი და იგივე კლიმატურ პირობებში. NDVI დროის სერიების გამოყენებით, ჩვენ განსაზღვრავთ საშუალო თვიურ

მნიშვნელობებს თითოეული წერტილისთვის, რასაც მოჰყვება საშუალო თვიური მნიშვნელობები აგრარული და ბუნებრივი ლანდშაფტებისთვის [13]. კვლევის კიდევ ერთი მიმართულება არის სარწყავი წყლის არაგეგმაზომიერი გამოყენების იდენტიფიცირების შესაძლებლობა. განხილული კვლევების მაგალითებმა აჩვენა რომ საქართველოს მასშტაბით გვალვების კვლევისას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება მეტეოროლოგიური მონაცემების ხარისხს და სადგურების სათანადო სიხშირეს. კიდევ ერთ მთავარ გამოწვევად რჩება ქვეყნის მასშტაბით მიწათსარგებლობის შესახებ მწირი მონაცემები. შესაბამისად საქართველოს მასშტაბით გვალვების ეკოლოგიური და ეკონომიკური გავლენები შესაფასებლად საჭიროა დეტალური კვლევები ყველა ხელმისაწვდომი მონაცემის გათვალისწინებით მათ შორის დისტანციურად ზონდირებული მონაცემები.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Mumladze, D., Gagua, G., & Lomidze, N. (2013). Climate. In R. Gobejishvili, Geography of Georgia (pp. 78-97). Tbilisi: Tbilisi University Publishing. (in Georgian)
2. Davitaia, E.. Climate. In Georgian. Tbilisi. 1999
3. Gagua, G., Mumladze, D., & Javakhishvili, Sh. (2000). Climate. In Z. Tatashidze, K. Kharadze, J. Kekelia, & R. Khazaradze, Geography of Georgia, Part 1 (pp. 91-103). Tbilisi: Metsniereba. (in Georgian)
4. Tsitsagi, M., Berdenishvili, A., & Gugeshashvili, M. (2018). Spatial and temporal variations of rainfall-runoff erosivity (R) factor in Kakheti, Georgia. Annals of Agrarian Science, 16(2), 226-235. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2018.03.010>
5. Janelidze Z. On some Reasons of Desertification and Climate Aridization of Iori Valley. Transactions of the Institute of Hydrometeorology, v. 115, Tbilisi, Georgia, 2008, pp. 51-56.
6. Papinashvili L. Drought in Georgia. Transactions of the Institute of Hydrometeorology, v. 107, Tbilisi, Georgia, 2002, pp. 28-33.
7. Tatishvili, M. R. ., Palavandishvili, A. M. ., Tsitsagi, M. B. ., & Suknidze, N. E. . (2022). The Use of Structured Data for Drought Evaluation in Georgia. Journals of Georgian Geophysical Society, 25(1). <https://doi.org/10.48614/jggs2520224806>
8. Tsitsagi, M., Gulashvili, Z., Bolashvili, N., and Leuchner, M.: Comparison of Meteorological Drought Indices in Georgia (1931-2020), EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24-28 Apr 2023, EGU23-8917, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-8917>, 2023
9. L Kartvelishvili, M Tatishvili, A Amiranashvili L Megrelidze, N Kutaladze Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia Monograph, Publishing House "UNIVERSALI", Tbilisi, 2023 doi.org/10.52340/mng.9789941334658
10. Tatishvili, M., Palavandishvili, A., Tsitsagi, M., Suknidze, N. (2023). The Big Data for Drought Monitoring in Georgia. In: Geibel, R.C., Machavariani, S. (eds) Chances and Challenges of Digital Management. ISPC 2023. Springer Proceedings in Business and Economics. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-45601-5_13
11. Meladze, M., & Meladze, G. (2017). Climate change: A trend of increasingly frequent droughts in Kakheti Region (East Georgia). Annals of Agrarian Science, 15(1), 96-102. <https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.02.011>
12. Zhang, Q., Kong, D., Singh, V. P., & Shi, P. (2017). Response of vegetation to different time-scales drought across China: Spatiotemporal patterns, causes and implications. Global and Planetary Change, 152, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.02.008>
13. Tsitsagi, M., Gulashvili, Z., Bolashvili, N., Tatishvili, M., & Suknidze, N. (2022). RELATIONSHIP BETWEEN NORMALISED DIFFERENCE VEGETATION INDEX, PRECIPITATION AND DROUGHT INDICES (CASE OF KAKHETI, GEORGIA). International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM . . ., 2022, 357-364. <https://doi.org/10.5593/sgem2022/4.1/s19.46>
14. Tsitsagi, M., Palavandishvili, A., & Gulashvili, Z. (2024). DROUGHT INDICES AND VIS-BASED CANOPY STATUS OF VINEYARDS. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2024, 83-90. <https://doi.org/10.5593/sgem2024/3.1/s12.11>

UDC:111.111

Difficulties in Estimating the Negative Ecological and Economic Impacts of Droughts in Georgia/Mariam Tsitsagi, Zaza Gulashvili, Ana Palavandishvili, Marika Tatishvili, Nanuli Zotikishvili/ Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.106-116. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

Drought is one of the main challenges of climate risks in Georgia, the intensity and spread of which have increased significantly in recent decades due to climate change. The aim of the study is to assess the ecological and economic impact of drought and identify irrigated lands using drought (SPI, SPEI, EDI) and vegetation indices (NDVI, NDMI). The data analysis is based on climate information for 1991-2020, obtained from meteorological stations of the National Environment Agency and visualizations based on SENTINEL2 satellite data. The study revealed that the correlation of drought indices with vegetation indices in Eastern Georgia is low, especially in natural landscapes, which is due to the variability of temperature and precipitation in the region. In contrast to the humid climatic conditions of Western Georgia, in Eastern Georgia there is a tendency for the correlation of SPI and SPEI indices to decrease with increasing rainfall periods. It was also revealed that NDVI and NDMI indices are more sensitive in the case of areas covered with agrarian, annual crops, which indicates a high response of these crops to drought. An important finding was that a significant part of officially non-irrigated plots can actually be considered irrigated based on the high correlation of the indices. In particular, 48.3% of non-irrigated plots in Telavi Municipality have NDVI/NDMI indices in high agreement with irrigated areas, which may indicate informal irrigation practices. At the same time, 43.2% of the indices show a sharp decrease, which puts them in a state of high drought sensitivity. The research made it possible to assess the efficiency of irrigation systems and identify informal irrigation, which is an important basis for better management of water resources and sustainable development of agriculture.

УДК: 111.111

Трудности оценки негативных экологических и экономических последствий засух в Грузии/Мариам Цицаги, Заза Гулашвили, Ана Палавандишвили, Марика Татишвили, Нанули Зотикишвили/Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 106-116. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Засуха является одним из основных климатических рисков Грузии, интенсивность и распространение которого значительно возросли за последние десятилетия из-за изменения климата. Целью исследования является оценка эколого-экономического воздействия засухи и выявление орошаемых земель с использованием индексов засухи (SPI, SPEI, EDI) и вегетационного индекса (NDVI, NDMI). Анализ данных основан на климатической информации за 1991–2020 годы, полученной с метеорологических станций Национального агентства по охране окружающей среды, и визуализациях на основе спутниковых данных SENTINEL2. Исследование показало, что корреляция индексов засухи с индексами растительности в Восточной Грузии низкая, особенно в природных ландшафтах, что обусловлено изменчивостью температуры и осадков в регионе. В отличие от влажных климатических условий Западной Грузии, в Восточной Грузии наблюдается тенденция к снижению корреляции индексов SPI и SPEI с увеличением периодов осадков. Также было выявлено, что индексы NDVI и NDMI более чувствительны в случае территорий, занятых сельскохозяйственными однолетними культурами, что свидетельствует о более высокой реакции этих культур на засуху. Важным выводом стало то, что значительную часть официально неорошаемых участков фактически можно считать орошаемыми на основании высокой корреляции индексов. В частности, 48,3% неорошаемых участков в муниципалитете Телави имеют индексы NDVI/NDMI, находящиеся в высокой степени соответствия с орошаемыми площадями, что может указывать на неформальную практику орошения. При этом наблюдается резкое снижение индексов на 43,2%, что ставит их в состояние высокой засухоустойчивости. Исследование позволило оценить эффективность систем орошения и выявить неформальное орошение, что является важной основой для более эффективного управления водными ресурсами и устойчивого развития сельского хозяйства.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-117-124

UDC: 628.3; 579.841; 502.174

Harnessing Purple Phototrophic Bacteria (PPB) for Circular Bioeconomy and Wastewater Valorization in Georgia

Natela Dzebisashvili, Darejan Dughashvili

Institute of Hydrometeorology at Georgian Technical University

e.mail: n.dvalishvili@gtu.ge

The work was prepared within CA21146 - Fundamentals and applications of purple bacteria biotechnology for resource recovery from waste (PURPLEGAIN)

Summary. Purple phototrophic bacteria (PPB), a metabolically versatile group within Proteobacteria, offer promising solutions for circular bioeconomy through bioresource recovery and wastewater treatment. The paper examines the potential of PPB-based biotechnology in the context of Georgia. The aim of the study was to find out how PPB systems adapted to local realities can be effectively implemented. The paper reflects the latest international innovations and best practices in the development and implementation of PPB systems. The ways of integrating PPB technologies into the sustainable waste management and renewable energy sectors in Georgia are also discussed.

Key words: Purple phototrophic bacteria (PPB), circular bioeconomy, wastewater treatment, resource recovery, photobioreactors

Introduction. Purple phototrophic bacteria (PPB), particularly the two main subgroups—purple sulfur bacteria (PSB) and purple non-sulfur bacteria (PNSB)—are known for their remarkable metabolic plasticity and ecological adaptability. These microorganisms can flourish in a wide range of environmental niches, including anaerobic aquatic systems, sediments, and wastewater environments, due to their ability to perform multiple modes of metabolism depending on the availability of light, carbon, and electron donors (Capson-Tojo et al., 2020; Sakarika et al., 2019). They are capable of phototrophic growth under anaerobic light conditions, as well as chemotrophic growth in dark environments using organic compounds. This metabolic versatility allows them to utilize various carbon sources such as volatile fatty acids, alcohols, and organic acids, and to employ diverse electron donors including hydrogen sulfide, molecular hydrogen, and ferrous iron.

Because of these capabilities, PPB are emerging as ideal microbial platforms for advanced biotechnological applications. Their roles in processes such as biological hydrogen production, bioplastic synthesis through accumulation of polyhydroxyalkanoates (PHAs), and efficient treatment of organic-rich wastewaters have been demonstrated in both lab-scale and pilot-scale systems (Guzman et al., 2019; Semenov et al., 2011). They not only contribute to pollution mitigation but also enable recovery of high-value bioresources from waste, aligning well with principles of the circular bioeconomy.

Georgia, as a country with a rapidly expanding agro-industrial sector and persistent challenges in wastewater management infrastructure, provides an excellent case for the application of PPB-based technologies. Sectors such as winemaking, dairy production, and livestock farming generate substantial amounts of organic waste, much of which is currently underutilized or improperly treated. PPB can serve as a biological bridge between waste management and value-added production. Despite global progress - especially in countries like Spain, China, and India, where integrated PPB technologies have been tested and optimized (Capson-Tojo et al., 2020)—the South Caucasus region, including Georgia, remains underrepresented in applied PPB research and deployment.

This research aims to fill that gap by assessing the technical feasibility, economic viability, and environmental benefits of implementing PPB-based systems in Georgia. In particular, it explores how PPB can contribute to organic waste valorization, renewable energy generation, and the development of a more circular and sustainable economy. Additionally, we propose pathways for adapting international best practices to local conditions, fostering innovation, and building research capacity within the Georgian context.

Biology and Metabolism of PPB. PPB are able to thrive and grow in anaerobic or microaerobic conditions, utilizing light as their primary energy source. Under these conditions, they can harness a variety of organic and inorganic compounds as electron donors, which further enhances their adaptability to diverse environments (Fukuzumi et al., 2018). Their highly efficient photosynthetic apparatus is considered one of the most advanced in nature, with

quantum yields that reach 100% in their reaction centers and over 80% in light-harvesting complexes. This makes them exceptionally efficient at converting light energy into chemical energy, far surpassing many other microbial systems (Semenov et al., 2011). Additionally, PPB are capable of performing a wide range of metabolic processes, including photoheterotrophy, where they use light to oxidize organic carbon sources, and photoautotrophy, where they convert carbon dioxide into organic carbon through photosynthesis. This metabolic flexibility also extends to fermentation and respiration, allowing them to maintain energy production even in the absence of light, further enhancing their survival in fluctuating environmental conditions (Csiki et al., 2018).

This metabolic versatility enables PPB to degrade a wide array of organic pollutants commonly found in both domestic and industrial wastewater, including volatile fatty acids, amino acids, alcohols, and other complex organic compounds (Puyol et al., 2017). Their ability to process these diverse pollutants makes them particularly effective in decentralized treatment systems, where wastewater is often heterogeneous and challenging to treat using conventional methods. Furthermore, PPB thrive in mixed-culture bioreactors, where they can coexist with other microorganisms, allowing for a more efficient and cost-effective treatment process. The ability to use mixed cultures without the need for sterilization further reduces operational costs and makes them a more sustainable alternative to traditional wastewater treatment methods.

Technological Applications of PPB. PPB have been extensively utilized in biotechnological processes for the production of various valuable bioresources, including biohydrogen (Capson-Tojo et al., 2020), polyhydroxyalkanoates (PHAs) (Sakarika et al., 2019), and microbial proteins (Cao et al., 2020). Biohydrogen production, for instance, is one of the most promising applications of PPB, as these microorganisms can convert organic substrates into hydrogen gas under anaerobic conditions. This process not only generates hydrogen, a clean fuel, but also helps in the recovery of organic carbon from waste streams, making it a dual-purpose technology for both energy production and waste treatment. Similarly, polyhydroxyalkanoates (PHAs) are biodegradable plastics produced by PPB through the accumulation of carbon sources, particularly fatty acids and alcohols, which are abundant in organic waste. These bioplastics offer a sustainable alternative to conventional petroleum-based plastics, as they decompose naturally in the environment. Furthermore, PPB can produce microbial proteins, which have various applications in animal feed, food products, and even as a source of alternative proteins for human consumption. The microbial protein production is particularly important in the context of food security, as it provides a protein-rich alternative to traditional sources like soy and animal-based products, all while utilizing organic waste as a substrate.

Mixed-culture biotechnologies, which involve the use of diverse microbial communities, have shown significant advantages in optimizing PPB-based systems for treating complex waste streams. These biotechnologies allow for the treatment of mixed waste without the need for sterilization, significantly reducing operating costs. The use of mixed cultures not only reduces the financial burden of maintaining axenic (pure) cultures but also enhances the robustness of the treatment process, as microbial communities are often more resilient to environmental fluctuations. By fostering synergistic interactions among different microorganisms, mixed-culture systems can improve the efficiency of pollutant degradation, nutrient cycling, and the overall stability of the bioreactor (Winans et al., 2017). These technologies are particularly useful in regions with variable waste compositions and in decentralized systems, where the cost of maintaining a sterile environment would be prohibitively high.

In terms of reactor design, innovations in photobioreactor systems, such as tubular and raceway configurations, have greatly advanced the performance of PPB-based processes. Tubular photobioreactors, with their elongated, cylindrical design, allow for better light distribution and enhanced exposure of the bacteria to sunlight, which is crucial for maximizing photosynthetic activity. Raceway ponds, which are shallow, open-channel systems designed for the large-scale cultivation of microalgae and phototrophic bacteria, have been particularly effective in maximizing biomass productivity. These open-pond systems allow for optimal mixing and circulation of the culture, ensuring uniform distribution of nutrients and light. Studies have shown that in pilot-scale applications, raceway ponds with volumes ranging from 10 to 35 m³ have been successful in treating agro-industrial waste, such as winery effluents and dairy waste, while simultaneously recovering valuable products like PHAs and microbial proteins (Capson-Tojo et al., 2020). The integration of these advanced bioreactor designs with PPB-based systems not only improves the overall productivity and efficiency of the process but also makes it more scalable and adaptable to different types of organic waste.

Relevance for Georgia. Georgia's agricultural and food-processing industries are among the leading contributors to organic waste generation in the country, producing large amounts of biomass, food residues, wastewater, and other organic by-products. However, much of this organic waste remains either untreated or is underutilized, leading to environmental pollution and the loss of valuable resources (Mario Martin-Gamboa et al., 2023). These waste streams include materials like fruit and vegetable scraps, whey from dairy production, and animal manure from livestock operations, all of which have the potential to be converted into valuable bioresources. The agricultural and food-processing industries in Georgia, particularly in Kakheti and Samtskhe-Javakheti, produce significant quantities of organic waste as part of their regular operations. Kakheti, known for its extensive vineyards and wineries, generates large amounts of organic waste, including grape pomace, skins, and seeds, which often remain unused or improperly disposed of. Similarly, Samtskhe-Javakheti, with its rich history in dairy farming and livestock production, generates considerable volumes of effluents and organic by-products from these industries. In many cases, this waste is either dumped into the environment or used inefficiently, contributing to pollution and missed opportunities for resource recovery.

Purple phototrophic bacteria (PPB) present an innovative and sustainable alternative for converting these organic wastes into valuable bioresources. PPB-based technologies can be utilized to treat and valorize agro-industrial wastes in a variety of ways, making them ideal candidates for waste-to-resource applications. For example, PPB can be deployed in small-scale bioreactors designed to treat organic waste effluents from the winery, dairy, and livestock industries. By utilizing the metabolic flexibility of PPB, these industries can treat their wastewater in a way that not only reduces the environmental impact of their operations but also recovers valuable products such as biohydrogen, microbial proteins, and bioplastics. The use of bioreactors offers a decentralized, cost-effective solution that can be implemented locally to avoid the high costs associated with transporting waste to central treatment plants. In regions like Kakheti, where wine production is a key industry, PPB can effectively break down the complex organic compounds in winery wastewater and produce renewable bioresources that can be reintegrated into the production cycle (Srivastava, P. et al., 2024).

Additionally, the relatively high annual solar irradiance in both Eastern and Western Georgia makes the deployment of photobiological processes especially favorable. The combination of abundant sunlight and the phototrophic capabilities of PPB creates an energetically viable system for waste treatment and resource recovery. PPB, being photosynthetic organisms, can utilize light as an energy source, which reduces the need for external energy inputs. This characteristic makes them particularly well-suited for regions with high solar exposure, such as Georgia, where the climate provides ample sunlight for photobiological processes. As a result, PPB-based technologies not only offer environmental benefits but also provide an energy-efficient alternative to conventional waste treatment methods, reducing operational costs and increasing overall sustainability (Ciani, M. et al., 2024).

Furthermore, Georgia's existing wastewater treatment infrastructure offers a strategic advantage for implementing PPB-based systems. Many of Georgia's municipalities face challenges related to nitrogen and carbon removal in wastewater treatment plants. Existing infrastructure could be retrofitted with PPB systems to address these challenges, improving the efficiency of nutrient removal while also enabling the recovery of valuable bioresources. Nitrogen and carbon compounds are often difficult to remove from wastewater using conventional treatment methods, but PPB have the ability to degrade these pollutants efficiently while simultaneously producing valuable products. By integrating PPB into the existing infrastructure of wastewater treatment plants, municipalities can not only meet regulatory requirements for wastewater quality but also contribute to the development of a circular economy, where waste is transformed into valuable resources that can be reused within the local economy (Manikanta M. Doki et al., 2024). This retrofitting approach reduces the cost and complexity of implementing new technologies, making it a more feasible solution for municipalities struggling with outdated or overburdened treatment systems.

Isolation and Adaptation of Local Strains. To ensure effective bioreactor performance, the local adaptation of PPB strains is a key factor in optimizing their efficiency for specific applications. In Georgia, various natural sources such as sludge, ponds, and riverbanks have been identified as rich habitats for phototrophic microbial communities, which could serve as a source for the isolation of PPB strains. These environments, often abundant in organic matter, provide ideal conditions for the growth of diverse microbial populations, including those capable of performing phototrophic processes. Natural sources like riverbanks and ponds, where organic waste and nutrients accumulate, create a suitable environment for the proliferation of phototrophic microorganisms. Studies have shown that such microbial communities are not only diverse but also highly adapted to local environmental conditions, making them valuable

for the isolation of native PPB strains that can thrive in Georgia's specific climate and agricultural context (J.R. Almeida et al., 2023). In the context of Georgia's rural regions, where agro-industrial waste is prevalent, these natural habitats are particularly abundant and accessible, providing an invaluable resource for local biotechnological applications.

Isolation techniques play a critical role in selecting the most effective strains for bioreactor systems. Traditional methods of isolation include selective anaerobic culturing under infrared light, which helps to promote the growth of PPB strains that are adapted to anaerobic environments, commonly found in agricultural and industrial waste streams. Additionally, the enrichment of samples with organic acids or sulfides has proven effective in stimulating the growth of PPB species, as these organisms are known to metabolize a wide range of organic compounds. This selective culturing process ensures the enrichment of highly efficient and robust strains capable of thriving in the nutrient-rich but often complex and contaminated waste environments typical of agro-industrial effluents. The use of selective enrichment techniques also improves the likelihood of isolating strains that possess superior metabolic capabilities, enabling them to degrade pollutants while producing valuable by-products such as biohydrogen or bioplastics. These methods not only enhance strain performance but also make the isolation process more efficient and cost-effective for large-scale applications (Ali Moradvandi et al., 2024).

Furthermore, genomic and proteomic profiling of native strains offers an advanced approach for identifying and selecting high-performing isolates suited for specific biotechnological applications. By analyzing the genetic makeup of PPB strains, researchers can pinpoint key traits and metabolic pathways that contribute to the bacteria's ability to efficiently degrade pollutants, recover bioresources, and produce valuable compounds. Proteomic profiling, which involves analyzing the proteins expressed by these strains under various conditions, further aids in understanding the mechanisms of metabolism, pollutant degradation, and energy production within the bioreactor systems. These advanced molecular techniques allow for a more targeted selection process, ensuring that only the most effective strains are used in bioreactor systems, thereby optimizing overall system performance. The integration of these methods has the potential to significantly enhance the efficiency and sustainability of PPB-based biotechnologies (Sara Díaz-Rullo Edreira et al., 2024).

In addition, the use of mixed-culture systems has been shown to be particularly effective in optimizing PPB performance in bioreactors. In such systems, PPB can be combined with other microbial species to create a more robust and resilient microbial community capable of treating a wider range of waste substrates. Mixed-culture systems are especially advantageous for handling complex waste streams, as they allow for the synergistic interaction between different microbial species. The optimization of these systems involves the promotion of PPB dominance by adjusting factors such as light regimes, feedstock pre-treatment, and nutrient control. By fine-tuning these environmental parameters, researchers can enhance the growth and activity of PPB while suppressing competing microorganisms that may not be as effective at degrading pollutants or producing valuable by-products. Furthermore, the flexibility of mixed-culture systems allows for their adaptation to different waste streams, enabling the treatment of a variety of organic and inorganic pollutants. As such, the optimization of mixed-culture systems is a crucial step in the development of sustainable PPB-based waste treatment and bioresource recovery technologies (Abbas Alloul et al., 2023).

Environmental and Economic Assessment. While laboratory and pilot studies have shown that PPB-based systems hold great potential, the large-scale application of such technologies in Georgia requires a comprehensive life cycle assessment (LCA) and techno-economic analysis (TEA) to evaluate their viability. These studies are crucial in determining whether the advantages observed in small-scale studies can be replicated at larger scales, taking into account local conditions such as climate, waste characteristics, and existing infrastructure. Preliminary LCA results have suggested that PPB systems have favorable energy balances and carbon footprints when compared to conventional wastewater treatment methods, highlighting the potential of PPB for sustainable waste management. In particular, PPB-based technologies offer an energy-efficient alternative to traditional treatment, with a reduced reliance on chemical inputs and a lower overall environmental impact. LCA also reveals the potential for PPB systems to contribute to the circular bioeconomy by recovering valuable by-products such as bioplastics, biohydrogen, and biofertilizers while treating agro-industrial waste. Such systems could significantly reduce the environmental burden associated with conventional treatment methods, making them an attractive option for Georgia's green development agenda (Sakarika et al., 2019; Hassan Azaizah et al., 2022).

For Georgia, implementing a modular rollout of PPB-based waste valorization units at municipal or industrial nodes presents an exciting opportunity to stimulate green jobs and significantly reduce pollution. These small-scale

units could be deployed at various locations, including agricultural hubs and food-processing centers, where waste generation is high. Such localized solutions would not only reduce transportation costs but also ensure that the technologies are directly aligned with the regions' waste characteristics. Additionally, the modular nature of the systems means they can be scaled up gradually, minimizing the financial risk and making them adaptable to varying operational needs. The integration of these systems would align with EU-aligned environmental policies, supporting the country's commitment to sustainability and climate goals. Moreover, PPB-based technologies could create new avenues for economic growth, particularly in rural areas, by generating local employment opportunities in bioreactor operation, maintenance, and waste management. As a result, these systems would contribute to the economic development of rural communities, promoting sustainable agricultural practices and reducing environmental degradation in line with EU standards (María del Rosario et al., 2024).

The techno-economic analysis (TEA) of PPB-based systems in Georgia should consider a range of factors to evaluate their long-term economic feasibility. One of the key elements in this analysis is the cost of photobioreactors, which can vary significantly depending on the design, size, and materials used. Additionally, seasonal light variability plays a crucial role in the efficiency of photobioreactors, especially in Georgia, where sunlight intensity and duration fluctuate throughout the year. These variations can impact the overall biomass productivity and the economic viability of the systems, requiring adjustments to operational strategies and possibly additional energy inputs during the winter months. Another important aspect of the TEA is the potential revenue from the valuable by-products that PPB can produce, including bioplastics, hydrogen, and biofertilizers. These by-products not only provide a sustainable source of income but also have high demand in the global market, enhancing the profitability of PPB-based technologies. Therefore, a detailed TEA will help optimize operational parameters and ensure that the implementation of PPB systems can be both economically viable and aligned with environmental objectives (Moia I. C. et al., 2024).

Challenges and Future Directions. Key barriers to the large-scale implementation of PPB-based biotechnologies include challenges such as low awareness among stakeholders, lack of standardized measurement protocols, and various technical difficulties associated with scaling up bioreactors. Despite the clear advantages that PPB technologies offer for waste valorization and sustainable development, there remains a gap in understanding and acceptance in certain sectors. Low awareness limits the allocation of resources and development of supportive frameworks. The lack of standardized measurement protocols complicates the assessment and comparison of PPB systems across different regions and applications, creating a barrier to the widespread adoption of these technologies. Without standardized frameworks, it becomes difficult to ensure consistency in performance evaluations, which can deter stakeholders from supporting large-scale deployments. Furthermore, technical difficulties in scaling up bioreactors present a challenge for moving from laboratory studies and small pilot projects to commercial-scale operations. The complexities of bioreactor design, light distribution, and nutrient control must be optimized for larger systems to achieve consistent and efficient results at scale. Addressing these challenges requires collaboration between researchers, engineers, and industry leaders to develop cost-effective and scalable solutions (Luciano Bosso et al., 2024).

However, despite these obstacles, there has been significant progress in overcoming some of the barriers through global collaboration. Global networks like PurpleGain have played a pivotal role in harmonizing metrics and fostering interdisciplinary collaboration among researchers, industry experts, and practitioners. Through platforms like PurpleGain, information exchange, research collaboration, and joint initiatives have enabled standardization of key performance indicators for PPB-based technologies, facilitating more accurate and comparable data across studies. These efforts have also helped raise awareness about the potential of PPB for wastewater treatment, bioremediation, and the circular bioeconomy, especially in countries with emerging interest in these technologies. By promoting interdisciplinary collaboration, PurpleGain has ensured that experts from different fields—such as biotechnology, environmental engineering, and industry—work together to advance PPB research and commercial application. This collaboration is crucial for overcoming the technical and practical challenges that have thus far slowed down the implementation of PPB-based solutions (Marta Cerruti et al., 2023).

For Georgia, the establishment of a national research program focused on PPB technologies could serve as a catalyst for innovation. With support from EU and local grants, such a program could help accelerate research and development, ensuring that Georgia stays at the forefront of green biotechnology. This initiative could also address the barriers related to awareness and standardization, bringing together researchers, and industry stakeholders to create a cohesive framework for PPB application in the country. Furthermore, cross-sector collaborations between universities, municipalities, and industries are vital to unlocking the full potential of PPB biotechnologies. Universities

can lead in terms of research, strain isolation, and bioreactor optimization, while municipalities can provide real-world applications and serve as pilot sites for testing these technologies. Industries, particularly those in the agro-industrial and waste management sectors, can help scale up the technology and bring it to market. By working together, these sectors can ensure that PPB-based solutions are developed in a way that is both scientifically sound and economically viable, contributing to Georgia's sustainable future and circular economy goals.

Conclusion. Purple phototrophic bacteria (PPB) represent a transformative and highly promising technology that could significantly drive Georgia's sustainable development agenda forward. These bacteria, due to their remarkable metabolic flexibility, can be applied in various waste-to-resource systems, offering potential solutions to environmental problems that are currently facing the country. Their application can reduce environmental burdens by efficiently treating agro-industrial wastewater, converting organic waste into valuable bioresources such as bioplastics, biohydrogen, and microbial proteins. By integrating PPB into waste management systems, Georgia could lower its reliance on traditional, energy-intensive waste treatment methods, thus reducing the environmental impact of industries, especially in agriculture, food processing, and energy production.

Furthermore, the widespread adoption of PPB-based technologies could have profound socio-economic benefits for Georgia's rural economies. These technologies can support rural development by providing new income streams through waste valorization and the creation of green jobs in bioreactor operations, waste management, and the emerging bioeconomy sectors. Rural areas, where agro-industrial waste is often underutilized, could greatly benefit from PPB systems that offer a sustainable method to convert organic waste into valuable products. This would enhance local economies by creating new industries, fostering entrepreneurship, and improving the livelihoods of rural populations. Additionally, as PPB technologies are scalable, they could be deployed in small- to medium-sized operations, making them accessible even to smaller municipalities and agricultural businesses.

By adopting PPB technologies and integrating them into a circular bioeconomy framework, Georgia would not only be addressing its environmental and economic challenges but also aligning with global climate goals. The technologies could contribute to the reduction of greenhouse gas emissions, improvement of carbon and nutrient cycles, and promotion of renewable energy. This approach is particularly aligned with the broader goals of global sustainability that aim for reduced waste, enhanced resource recovery, and minimized environmental degradation. As climate change mitigation becomes increasingly important on the global stage, Georgia's early adoption of such transformative technologies would position it as a forward-thinking leader in the region.

However, realizing the full potential of PPB in Georgia requires strategic investment in key areas, such as local strain isolation to ensure the adaptation of PPB to Georgia's unique environmental conditions, the deployment of bioreactors that can optimize the performance of these bacteria, and increased public engagement to raise awareness about the benefits of these technologies. By fostering public-private partnerships, supporting research in local academic institutions, and securing EU and international funding, Georgia can accelerate the development of PPB-based solutions. Local research centers can play a key role in leading the development of PPB strains and bioreactor optimization, while industry collaboration will be critical for scaling up these technologies.

ლიტერატურა - References - Литература

1. Abbas Alloul, Naïm Blansaer, Paloma Cabecas Segura, Ruddy Wattiez, Siegfried E. Vlaeminck, Baptiste Leroy Dehazing redox homeostasis to foster purple bacteria biotechnology, Trends in Biotechnology, Volume 41, Issue 1, 2023, Pp 106-119, <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2022.06.010>
2. Ali Moradvandi, Edo Abraham, Abdelhak Goudjil, Bart De Schutter, Ralph E.F., Lindeboom An identification algorithm of switched Box-Jenkins systems in the presence of bounded disturbances: An approach for approximating complex biological wastewater treatment models, Journal of Water Process Engineering, Volume 60, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105202>
3. Cao, Y., Xu, H., Han, Y., & Wang, D. (2020). Production of microbial protein by purple non-sulfur bacteria using wastewater: A review. *Bioresource Technology*, 319, 124164. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124164>
4. Capson-Tojo, G., Ruiz, D., Moscoviz, R., Santa-Catalina, G., Bernet, N., & Trably, E. (2020). Purple phototrophic bacteria for resource recovery: Challenges and opportunities. *Biotechnology Advances*, 43, 107567. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107567>

5. Ciani, M., Vargas-Estrada, L., Adessi, A., Muñoz, R., Influence of Digestate Dilution on Carbohydrate and Pigment Content During Biogas Upgrading Coupled with Nutrients Recovery by *Parachlorella Hussii* N9 and *Cyanospora* Sp. Ce4, 2024, https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=5043375
6. Csiki, Z., Balázs, M., Tóth, A., & Varga, L. (2018). Metabolic pathways in purple phototrophic bacteria: An overview. *Hungarian Agricultural Engineering*, 34, 5–10. <https://doi.org/10.17676/HAE.2018.34.5>
7. Fukuzumi, S., Kotani, H., Ohkubo, K., Ogo, S., Tokunaga, M., & Kasuga, K. (2018). Mechanisms of photosynthetic electron transfer in purple bacteria. *Coordination Chemistry Reviews*, 355, 54–73. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.10.007>
8. Guzman, M. S., Rengasamy, K., & Bose, A. (2019). Biological production of hydrogen by purple non-sulfur bacteria: Process optimization and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109246. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109246>
9. Hassan Azaizeh, Hiba Nazmi Abu Tayeh, Roland Schneider, Joachim Venus, Pilot Scale for Production and Purification of Lactic Acid from *Ceratonia siliqua* L. (Carob) Bagasse, *Fermentation* 2022, 8(9), 424; <https://doi.org/10.3390/fermentation8090424>
10. J.R. Almeida, E. Serrano León, E. Lara Corona, J.C. Fradinho, A. Oehmen, M.A.M. Reis, Ammonia impact on the selection of a phototrophic - chemotrophic consortium for polyhydroxyalkanoates production under light-feast / dark-aerated-famine conditions, *Water Research*, Volume 244, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120450>
11. Luciano Bosso, Melisa Olave, Maeva Gabrielli, Multidimensional conservation gaps and indications in seahorses, Conference: Biodiversity positive by 2030 At: Bologna, DOI: 10.6092/unibo/amsacta/7995, 2024, https://www.researchgate.net/publication/386376039_Multidimensional_conservation_gaps_and_indications_in_seahorses#fullTextFileContent
12. Manikanta M. Doki, Arun Kumar Mehta, Deb Kumar Chakraborty, Makarand M. Ghangrekar, Brajesh K. Dubey, Abbas Alloul, Ali Moradvandi, Siegfried E. Vlaeminck, Ralph E.F., Lindeboom Recovery of purple non-sulfur bacteria-mediated single-cell protein from domestic wastewater in two-stage treatment using high rate digester and raceway pond, *Bioresource Technology*, Volume 413, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131467>
13. María del Rosario, Jose Antonio Magdalena, Jean-Philippe Steyer, Renaud Escudié, Gabriel Capson-Tojo, Potential of enriched phototrophic purple bacteria for H₂ bioconversion into single cell protein, *Science of The Total Environment*, Volume 908, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168471>
14. Mario Martin-Gamboa, Luis D. Allegue, Daniel Puyol, Juan Antonio Melero, Javier Dufour, Environmental life cycle assessment of polyhydroxyalkanoates production by purple phototrophic bacteria mixed cultures. *Journal of Cleaner Production* Volume 428, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.13942>
15. Marta Cerruti, Guillaume Crosset-Perrotin, Mythili Ananth, Julius Laurens Rombouts, David G. Weissbrodt, Syntrophy between fermentative and purple phototrophic bacteria to treat and valorize carbohydrate-rich wastewaters, *Bioresource Technology Reports*, Volume 22, 2023 <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101348>
16. Moia I. C., Kanaropoulou A., Ghanotakis, D, Carlozzi P., Touloupakis E., Photofermentative hydrogen production by immobilized *Rhodospseudomonas* sp. S16-VOGS3 cells in photobioreactors, *Energy Reviews*, Volume 3, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.enrev.2023.100055>
17. Puyol, D., Batstone, D. J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., & Krömer, J. O. (2017). Resource recovery from wastewater by biological technologies: Opportunities, challenges, and prospects. *Frontiers in Microbiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>
18. Sakarika, M., Angelidaki, I., & Fotidis, I. A. (2019). Purple phototrophic bacteria and photosynthetic systems for resource recovery from wastewater. *Bioresource Technology*, 274, 268–278. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.063>
19. Sara Díaz-Rullo Edreira, Ioanna A Vasiliadou, Amanda Prado, Juan José Espada, Ruddy Wattiez, Baptiste Leroy, Fernando Martínez, Daniel Puyol, Elucidating metabolic tuning of mixed purple phototrophic bacteria biofilms in photoheterotrophic conditions through microbial photo-electrosynthesis, *Commun Biol.*, 2024, 18;7(1):1526. <https://doi.org/10.1038/s42003-024-07188-0>
20. Semenov, A. Y., Melkozernov, A. N., & Blankenship, R. E. (2011). Light-harvesting in photosynthetic bacteria: Efficiency, regulation, and adaptation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1807(9), 1030–1039. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2011.03.010>

21. Srivastava, P., Villamil, J.A., Melero, J.A. et al. Using inorganic acids to stop purple phototrophic bacteria metabolism improves PHA recovery at a large scale. *Biomass Conv. Bioref.* 14, 17693–17703 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03810-z>
22. Winans, K., Kendall, A., & Deng, H. (2017). The use of mixed microbial cultures in bioprocessing: Advantages, challenges, and applications. *Journal of Industrial Ecology*, 21(5), 1093–1106. <https://doi.org/10.1111/jiec.12571>

უდკ: 628.3; 579.841; 502.174

იისფერი ფოტოტროფული ბაქტერიების (PPB) გამოყენება ცირკულარული ბიოეკონომიკისა და ჩამდინარე წყლების ვალიორიზაციისთვის საქართველოში / ნათელა ძეზბისაშვილი, დარეჯან დულაშვილი/ სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული-2025.-ტ.136.-გვ.117-124. - ინგ., რეზ. ქართ., ინგლ/

პროტეობაქტერიების შემადგენლობაში შემავალი მეტაბოლურად მრავალმხრივი ჯგუფი - იისფერი ფოტოტროფული ბაქტერიები (PPB) წარმოადგენენ ბიორესურსების აღდგენის, ჩამდინარე წყლების გაწმენდის და შესაბამისად წრიული ბიოეკონომიკის პერსპექტიულ გადაწყვეტას. ნაშრომში განხილულია PPB-ზე დაფუძნებული ბიოტექნოლოგიების გამოყენების შესაძლებლობები საქართველოს პირობებში. შესწავლის ობიექტს წარმოადგენდა ის, თუ როგორ შეიძლება ადგილობრივ რეალობაზე მორგებული PPB სისტემების ეფექტური დანერგვა. ნაშრომში ასახულია უახლესი საერთაშორისო ინოვაციები და საუკეთესო პრაქტიკა PPB სისტემების განვითარებისა და დანერგვის კუთხით. აგრეთვე განხილულია PPB ტექნოლოგიების ინტეგრირების გზები ნარჩენების მდგრადი მართვისა და განახლებადი ენერგიის სექტორებში საქართველოში.

УДК: 628.3; 579.841; 502.174

Использование пурпурных фототрофных бактерий (PPB) для круговой биоэкономики и валоризации сточных вод в Грузии/Натела Дзебисашвили, Дареджан Дугашвили/ Труды ИИМ, GTU. -2025. -т.136. -стр.117-124. - Eng., Summ. Georg., Eng.

Пурпурные фототрофные бактерии (PPB), метаболически универсальная группа в составе Proteobacteria, предлагают перспективные решения для циркулярной биоэкономики посредством восстановления биоресурсов и очистки сточных вод. В статье рассматривается потенциал биотехнологии на основе PPB в контексте Грузии. Целью исследования было выяснить, как можно эффективно внедрить системы PPB, адаптированные к местным реалиям. В статье отражены последние международные инновации и передовой опыт в разработке и внедрении систем PPB. Также обсуждаются пути интеграции технологий PPB в секторы устойчивого управления отходами и возобновляемой энергетики в Грузии.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-125-129

UDC 502.174; 551.583; 553.4

The Impact of Restoration Work and Climate Change on the State of the Barakoni Cathedral

Natela Dzebisashvili¹, Nugzari Buachidze¹, Darejan Dughashvili¹,
Nodar Poporadze², Vera Maisuradze³, Lela Ninoshvili⁴

¹Institute of Hydrometeorology at Georgian Technical University

²Faculty of Mining Geology of Georgian Technical University

³Caucasian Alexander Tvalchrelidze Institute of Mineral Resources at TSU

⁴Georgian National Committee of the International Council on Monuments and Sites (ICOMOS)

E.mail: n.dvalishvili@gtu.ge

This work was supported by Shota Rustaveli National Scientific Foundation of Georgia (SRNSFN)
[grant # FR-23-8279]

Summary. The Barakoni Cathedral, built in 1753 in the Racha region of Georgia, stands as a distinguished monument of Georgian ecclesiastical architecture. Recent observations have identified chemical and biological deterioration on its walls, including surface greening and cracking. This paper analyzes how restoration interventions, particularly, the replacement of the original roofing with copper and ongoing climate change (e.g., increased humidity, rain, and thermal stress) contribute to the degradation of the building stone. Emphasis is placed on the material's mineralogical composition and associated chemical weathering mechanisms to offer science-based recommendations for conservation.

Keywords: Barakoni, Heritage, Erosion, Climate Change, Negative Impact

Introduction. The Barakoni Cathedral of the Mother of God, commissioned in 1753 by Duke Rostom of Racha, is a distinguished representation of Georgia's late medieval ecclesiastical architecture. Located in the village of Tsesi, the cathedral is uniquely situated on a steep rocky promontory overlooking the confluence of the Rioni and Lukhuni rivers. This setting, while visually striking, subjects the structure to a range of natural and anthropogenic stressors including hydrological exposure, seismic activity, and fluctuating microclimatic conditions.

Constructed from locally sourced, finely hewn stone blocks, the cathedral features a domed cruciform design enriched with intricate decorative reliefs.

The cathedral's location in a geomorphologically active zone subjects it to frequent humidity fluctuations, capillary water movement, and periodic freeze-thaw events. These processes promote salt crystallization and microcracking within the stone matrix, which are further amplified by the structure's exposure to prevailing winds and seasonal rainfall. Barakoni also sustained minor structural damage during the 1991 Racha earthquake, which was followed by a series of rapid and, in some cases, ecologically insensitive restoration efforts. For example, the replacement of the original stone-compatible roofing with copper sheets—although intended to improve weather resistance has introduced new chemical dynamics.

Furthermore, incompatible modern mortars were used during the restoration work, resulting in differential weathering, where the original and restored materials deteriorate at different rates. These mismatches have accelerated mechanical stresses at stone-mortar interfaces and caused further microstructural deterioration.

In ecological terms, the Barakoni Cathedral exists within a sensitive transitional zone between riverine and montane ecosystems. Microclimatic shifts due to climate change—such as increased rainfall intensity, humidity variation, and temperature extremes—are now actively influencing the biodeterioration of the façade through lichens, mosses, and microbial biofilms that release organic acids capable of degrading carbonate stone.

To preserve the monument within this dynamic natural environment, it is critical that future conservation interventions adopt a material-science-informed, eco-sensitive approach. This includes the use of compatible mortars, non-invasive biological cleaning, breathable surface treatments, and hydrological engineering to prevent water retention. Without such scientifically guided action, both the cultural and ecological integrity of the Barakoni Cathedral may continue to erode.

Aim and Objectives. Our research began in January 2024. The research is aimed at development of a methodology for the mechanisms of long-term protection of historical and architectural heritage in some regions of Georgia in the face of climate change. Barakoni Cathedral, as one of the monuments under investigation, serves as a case study representative of rural heritage sites subjected to natural forces such as precipitation, temperature fluctuations, freeze-thaw cycles, and slope instability, as well as post-restoration impacts such as the introduction of copper roofing. These factors have led to observable damage patterns including surface erosion, bio-colonization, salt efflorescence, and structural microcracking.

The objectives of this study is to evaluate the impact of meteorological parameters and restoration interventions—particularly the installation of a copper roof on the material integrity of Barakoni Cathedral. To achieve this, the study integrates mineralogical characterization of building materials with on-site visual inspection and historical meteorological data analysis.

The methodology includes:

- X-ray Powder Diffraction (XRD): Employed to determine the mineralogical composition of building stone samples taken from visibly deteriorated upper wall sections;
- Visual assessment: Used to correlate surface decay patterns with structural modifications and environmental exposure;
- Meteorological data assessment: Performed to understand the influence of weather variability on decay mechanisms.

XRD analysis was conducted in 2024, using Cu $K\alpha_1$ radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$). Samples were carefully collected to avoid damage to the historic fabric and to maintain compliance with conservation ethics.

Experimental Results and Discussion. The aim of our research was to evaluate the influence of meteorological factors and the recently conducted roofing interventions on the structural integrity of the Barakoni Cathedral. Particular attention was paid to the upper wall sections, where visible deterioration has become evident following restoration activities.

As a first step, a X-ray powder diffraction (XRD) analysis was performed on samples collected from the cathedral's building stone. This non-destructive analytical technique enabled the identification of the mineralogical composition of the materials. The resulting diffractogram revealed pronounced peaks corresponding to the crystalline phases of calcite (CaCO_3) and dolomite ($(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$), which are the primary constituents of the stone (Fig.1).

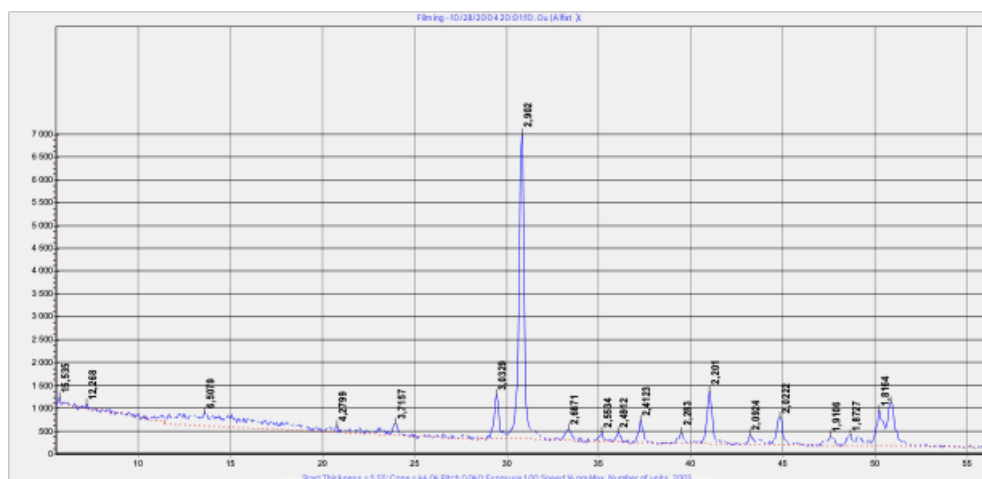


Figure 1. X-ray diffraction (XRD) pattern of the stone sample from Barakoni Cathedral obtained using Cu $K\alpha_1$ radiation ($\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$), 2024.

The most intense diffraction peak, located at approximately $2\theta = 29.02^\circ$, is characteristic of calcite, confirming its dominance in the stone matrix. Additional peaks at $2\theta = 30.29^\circ$, $2\theta = 50.79^\circ$, and $2\theta = 12.86^\circ$ support the presence of dolomite and minor accessory phases, indicating a mixed carbonate composition typical of local sedimentary rock formations.

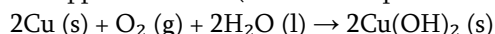
The carbonate minerals are well-documented for their high porosity and reactivity with acidic environments, making them particularly vulnerable to chemical weathering. Calcite, being the thermodynamically less stable phase, readily undergoes dissolution when exposed to slightly acidic precipitation ($\text{pH} < 5.6$), particularly in the presence of sulfuric or nitric acids products of anthropogenic air pollution (Doehne & Price, 2010, Steiger M. & Charola A. E., 2011).

Furthermore, dolomite's relative resistance to dissolution is offset by its susceptibility to mechanical stress and salt crystallization in fluctuating humidity environments (Steiger M. & Charola A. E., 2011). The dual presence of calcite and dolomite in the Barakoni stone indicates a material that is both chemically reactive and mechanically

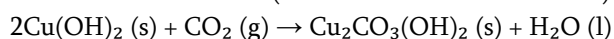
vulnerable, particularly in the context of climate change-induced variability in precipitation and temperature, which exacerbates crystallization pressure and microcrack propagation (Smith et al., 2004).

Importantly, the mineralogical composition of the stone significantly influences its long-term interaction with restoration materials, particularly in the presence of metal components exposed to environmental conditions. In the case of the Barakoni Cathedral, the copper roof, which was installed in 2021 (inaccurate information) - though effective in protecting the interior from direct precipitation—may have introduced new deterioration pathways for the underlying carbonate stone. Under the influence of rainwater and atmospheric CO₂, copper undergoes oxidative weathering, releasing Cu²⁺ ions, which react in the presence of moisture and carbonate substrates to form basic copper salts such as copper hydroxide [Cu(OH)₂], malachite [Cu₂CO₃(OH)₂], or azurite [Cu₃(CO₃)₂(OH)₂] (chemical reactions 1-5) (Rodriguez-Navarro & Sebastian, 1996).

1. Copper oxidation (under atmospheric conditions):



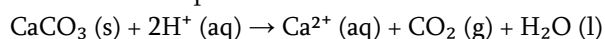
2. Malachite formation (reaction with carbon dioxide):



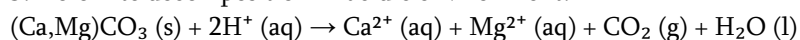
3. Azurite formation:



4. Calcite decomposition in acidic environment:



5. Dolomite decomposition in acidic environment:



These secondary copper compounds can accumulate on stone surfaces, forming greenish patinas that not only alter the aesthetic appearance but also reduce the stone's permeability, trapping moisture and promoting subflorescence of salts. Additionally, the slightly acidic nature of copper runoff, especially in polluted atmospheres where frequent rain is prevalent, enhances the dissolution of calcite and dolomite phases, accelerating surface recession and granular disintegration. This is particularly critical in stones with high porosity or pre-existing microcracks, where capillary absorption facilitates deeper infiltration of aggressive agents.

Furthermore, galvanic interactions between copper elements and embedded iron or steel (often used in anchors or structural supports) can lead to electrochemical corrosion, indirectly affecting adjacent stone materials through the formation of expansive corrosion products (Benavente et al., 2007). These combined effects underline the importance of selecting chemically compatible restoration materials that account for the geochemical sensitivity of the host stone.

The importance of this study is further heightened by the ongoing climatic changes documented in the Ambrolauri region, where Barakoni Cathedral is located. Recent meteorological data reveal a consistent rise in the annual average temperature by 0.3°C per decade, suggesting intensified thermal stress on building materials and accelerated physical weathering. This temperature increase, when combined with freeze-thaw cycles typical for mountainous regions, enhances the risk of microcracking and exfoliation of stone surfaces (Fig.2).

Furthermore, precipitation variability with fluctuations of up to ±300 mm annually indicates growing instability in the region's water supply. Such irregularities affect both surface runoff and subsurface moisture dynamics, leading to non-uniform moisture exposure of exterior walls. This enhances erosion, salt transport, and bio-colonization, especially in areas where drainage systems are inadequate or surface protection has been compromised (Fig.2).

Wind speed increases, averaging an additional 0.200.5 m/s over recent decades, contribute to higher risk of mechanical erosion through abrasive particles and enhanced drying effects. These impacts are particularly noticeable in elevated locations such as the Nikortsinda area, where wind exposure is more severe and direct .

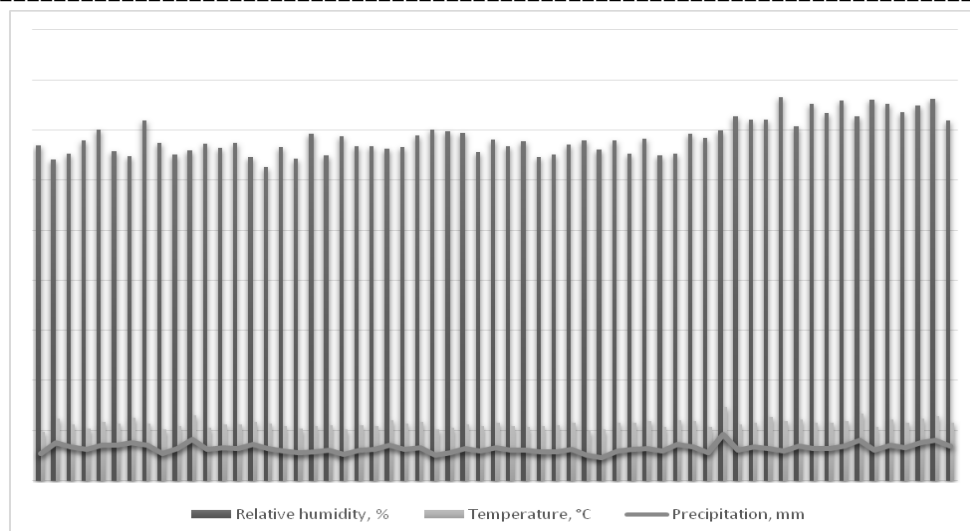


Figure 2. Some meteorological parameters (Ambrolauri weather-station data 1956-2016)

An important anthropogenic factor contributing to the alteration of meteorological and microclimatic conditions in the Racha-Lechkhumi region is the Shaori Reservoir, which was put into operation in 1954 (Kandelaki N., 2020). The creation of this artificial water body led to notable changes in local meteorological parameters and contributed to the formation of a distinct microclimate in the surrounding area, including zones near the Barakoni Cathedral.

The presence of a large water surface affects air humidity, temperature fluctuations, wind circulation, and precipitation patterns. After the reservoir's commissioning, long-term observations indicate:

- Increased relative humidity, particularly during the warmer months, due to constant evaporation from the reservoir surface.
- More frequent fog formation and cloud cover in adjacent areas, which reduces solar radiation exposure on monument surfaces, potentially decreasing thermal stress, but at the same time increasing moisture retention, which fosters material degradation through biological growth and salt crystallization.
- Local wind pattern alterations, where lake-land breeze cycles formed, modifying the dominant wind direction and speed in nearby valleys.
- Slight temperature moderation, especially in nighttime values, due to the thermal inertia of the water body.

These microclimatic shifts have negative impact on the state of cultural heritage monuments like Barakoni. Increased moisture levels and altered airflow enhance physical, chemical, and biological weathering processes on stone and mortar.

Conclusion. The results of this study underscore the complex interplay between restoration interventions and evolving climatic conditions in shaping the long-term stability of the Barakoni Cathedral. The XRD analysis confirmed that the cathedral's building stone is primarily composed of calcite and dolomite—minerals known for their chemical reactivity and mechanical vulnerability under acidic and fluctuating environmental conditions. Restoration efforts, particularly the installation of copper roofing, have introduced new chemical interactions leading to the formation of copper-derived patinas and increased moisture retention. These processes accelerate both chemical and physical weathering.

Additionally, climate change has intensified stressors such as thermal expansion, freeze-thaw cycles, increased precipitation, and biological colonization, all of which compound the rate of deterioration. The rising average temperatures, precipitation variability, and wind intensification in the Racha region highlight the need for adaptive and scientifically grounded conservation strategies.

To mitigate further degradation, it is essential to adopt restoration materials and methods that are mineralogically and chemically compatible with the original stone. This includes avoiding metals that can promote secondary reactions, using breathable and reversible treatments, and implementing environmental control measures such as improved drainage and vegetative buffers.

Overall, the Barakoni Cathedral serves as a critical case study illustrating the need for interdisciplinary approaches combining material science, environmental monitoring, and architectural conservation to preserve Georgia's historic monuments under changing climatic and anthropogenic pressures.

ლიტერატურა - References-Литература

1. Benavente, D., García del Cura, M. A., Fort, R., & Ordóñez, S. (2007). Durability estimation of porous building stones from pore structure and strength. *Engineering Geology*, 74(1–2), 113–127, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.03.005>
2. Doehne, E., & Price, C. A. (2010). *Stone Conservation: An Overview of Current Research*. Getty Conservation Institute <https://www.getty.edu/publications/virtuallibrary/9781606060469.html>;
3. Kandelaki N. (2020). Research on sedimentary-abrasion processes of Georgian mountain reservoirs, dissertation, for the academic degree of Doctor, Doctoral Program – Construction, Georgian Technical University, <https://dspace.nplg.gov.ge/bitstream/1234/374402/1/Dissertacia%20K.N..pdf>
4. Rodriguez-Navarro, C., & Sebastian, E. (1996). Role of particulate matter from vehicle exhaust on porous building stones: Nature of carbonaceous deposits and mechanisms of decay. *Science of the Total Environment*, 187(2), 79–91 [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(96\)05124-8](https://doi.org/10.1016/0048-9697(96)05124-8).
5. Smith, B. J., Warke, P. A., Curran, J. M., Implications of climate change and increased 'time-of-wetness' for the soiling and decay of sandstone structures in Belfast, Northern Ireland. In *Dimension Stone*; Prikryl, R., Ed.; Taylor & Francis Group: London, UK, 2004; pp. 9–14 <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=242193>
6. Steiger M. & Charola A. E. (2011), Sect. 4.5 by Katja Sterflinger Chapter 4 Weathering and Deterio Stone-built heritage inventory and 'performance in use' condition assessment of stoneworkration, https://repository.si.edu/bitstream/handle/10088/78835/4%20SIA%20Steiger%20et%20al.%20Chap.%204-Deterioration%20SIA_2011.pdf

უდკ 502.174; 551.583; 553.4

სარესტავრაციო სამუშაოებისა და კლიმატის ცვლილების გავლენა ბარაკონის ტაძრის მდგომარეობაზე/

ნათელა ძეგისაშვილი, ნუგზარი ბუაჩიძე, დარეჯან დუღაშვილი, ნოდარ ფოფორაძე, ვერა მაისურაძე, ლელა ნინოშვილი/სტუდენტური კონფერენციის შრომათა კრებული-2025.-ტ.136.-გვ.125-129. - ინგ., რეზ. ინგლ., ქართ., რუს.

ბარაკონის ტაძარი, რომელიც 1753 წელს აშენდა რაჭის რეგიონში, წარმოადგენს ქართული საეკლესიო არქიტექტურის გამორჩეულ ძეგლს. ბოლო პერიოდში ჩატარებულმა დაკვირვებებმა ტაძრის კედლებზე ქიმიური და ბიოლოგიური დეგრადაციის ნიშნები გამოავლინა, მათ შორის ზედაპირის გამწვანება და ბზარების წარმოქმნა. ნაშრომი აანალიზებს, თუ როგორ განაპირობებს შენობის ქვის დეგრადაციას რესტავრაციის პროცესები — განსაკუთრებით თავდაპირველი გადახურვის შეცვლა სპილენძის სახურავით — და კლიმატური ცვლილებები, როგორიცაა ტენიანობის ზრდა, უხვი ატმოსფერული ნალექი და თერმული სტრესი. განსაკუთრებული ყურადღება ეთმობა სამშენებლო ქვის მინერალურ შემადგენლობას და მასთან დაკავშირებულ ქიმიური დაშლის მექანიზმებს, რათა შემუშავდეს კონსერვაციის სამეცნიერო რეკომენდაციები.

УДК 502.174; 551.583; 553.4 Влияние реставрационных работ и изменения климата на состояние собора Баракони/Натела Дзегисашвили, Нугзари Буачидзе, Дареджан Дугашвили, Нодар Попорадзе, Вера Маисурадзе, Лела Ниношвили/ Науч. Труды ИГМ, ГТУ. -2025. -том 136. - стр.125-129.. - Англ., Резюме. Груз., Англ., Русск.

Собор Баракони, построенный в 1753 году в регионе Рача, является выдающимся памятником грузинской церковной архитектуры. Недавние наблюдения выявили химическое и биологическое разрушение его стен, включая позеленение поверхности и появление трещин. В данной работе анализируется, как реставрационные вмешательства — особенно замена первоначальной кровли на медную — и продолжающиеся климатические изменения (повышенная влажность, обильные атмосферные осадки и термический стресс) способствуют деградации строительного камня. Особое внимание уделяется минеральному составу материала и связанным с ним механизмам химического выветривания с целью разработки научно обоснованных рекомендаций по сохранению памятника архитектуры.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-130-134

უკ. 551.510.42

ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაცია - კულტურული ტურიზმის გარემოს ეკოლოგიური დატვირთვის ინდიკატორი

გარი გუნია *, ზიზი სვანიძე **

*სტუდენტური კონფერენციის ინსტიტუტი, თბილისი, garrygunia@yahoo.com

**საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე. ბოლო ათწლეულების განმავლობაში გეოფიზიკის მეცნიერებაში ახალი მიმართულება – ატმოსფეროს ქიმია ჩამოყალიბდა. მის კვლევის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საგანს, ანთროპოგენური წარმოშობის, აეროზოლური შემადგენლით ატმოსფეროს დაბინძურების შესწავლა წარმოადგენს.

ნაშრომში, კულტურული ტურიზმის არეალების ბუნებრივი გარემოს დაბინძურების შეფასების საკითხებია გაშუქებული. მოცემული მასალის დახმარებით, მავნე მინარევთა ფართომასშტაბური გადატანის შედეგად, განსახილველი რაიონების ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასების შესახებ შეიძლება მსჯელობა.

ზემოთქმულთან დაკავშირებით აღსანიშნავია, რომ ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაცია იმ აეროზოლების კონცენტრაციითა და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით არის განპირობებული, რომლებშიც იგულისხმება, როგორც, ჰაერის მასათა ურთიერთშერევის პროცესში, ღრუბლის წვეთების მიერ მიტაცებული, ისე მათი კონდენსაციის ბირთვებად წარდგენილი ნაწილაკები.

შესრულებული კვლევის შედეგები საშუალებას იძლევა დასკვნის გაკეთებისა იმის შესახებ, რომ ატმოსფერული ნალექები მნიშვნელოვნად უწყობენ ხელს ნივთიერებათა მიმოქცევას ბუნებაში და ატმოსფეროს თვითგასუფთავების ძირითად მექანიზმს წარმოადგენს. გარდა ამისა, ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლა გარემოს ფართომასშტაბური – ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების მონიტორინგის ერთ-ერთ უმთავრეს საგანს წარმოადგენს. ამასთან, შესაძლებელია გამოყენება ინფორმაციისა, როგორც მათი მინერალიზაციისა, ისე ლითონური და რადიოაქტიური მინარევების შემცველობის შესახებ.

საკვანძო სიტყვები: ნალექების მინერალიზაცია, ეკოლოგიური დატვირთვა

შესავალი. საერთაშორისო ტურისტულ ტერმინოლოგიაში დამკვიდრებული ტერმინი „კულტურული ტურიზმი“ ქართული მენტალიტეტისათვის რამდენადმე უცხოა. უახლოეს წარშუქებაში იგი აღინიშნება – და ტერმინით – „შემეცნებითი ტურიზმი“. მაგრამ, ეს მნიშვნელოვანი საერთაშორისო ტერმინი „კულტურული ტურიზმი“ უფრო ფართო დიაპაზონის მომცველია, უფრო საგნობრივია და ტურიზმის ერთ-ერთ ძირითად მიმართულებას განსაზღვრავს.

საქართველო, კავკასიის ერთ-ერთი ულამაზესი და ღირსშესანიშნავი რეგიონი, ტრადიციულად იყო მნიშვნელოვანი ტურისტული ცენტრი და დღესაც ერთ-ერთ პოპულარულ ტურისტულ სივრცეს წარმოადგენს. ზღვის და მთის კურორტების სიახლოვე, ბუნების მრავალფეროვნება, მდიდარი ფლორა და ფაუნა, უძველესი კულტურა და ტრადიციები მეტად მნიშვნელოვან უპირატესობას ანიჭებენ ამ რეგიონს.

მიუხედავად ამისა, ქვეყანაში ტურიზმის განვითარების ერთ-ერთ თანამედროვე აქტუალურ პრობლემას, ანთროპოგენური ზემოქმედებით გამოწვეული, რეკრეაციული არეალების ბუნებრივი გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შესახებ ხელმისაწვდომი, ადეკვატური ინფორმაციის უქონლობა წარმოადგენს.

როგორც კვლევებმა გვიჩვენა [1], ჰაერის ნაკადით მიტაცებულ და მაკრომასშტაბურ გადატანაში მოხვედრილ სამრეწველო და ბუნებრივი წარმოშობის მინარევებს ატმოსფეროში შეზღუდული სიცოცხლის უნარიანობა გააჩნიათ. დროის განმავლობაში ისინი, ნალექებით ჩამორეცხვის ან გრავიტაციული დალექვის შედეგად, თავის წარმოშობის ადგილებიდან სხვადასხვა მანძილზე ილექებიან დედამიწის ქვეყნილ ზედაპირზე, რაც ამ რაიონების დაბინძურებას იწვევს, მათ შორის – ტრანსსასაზღვრო გადატანების შედეგად.

ატმოსფეროს ტრანსსასაზღვრო დაბინძურება ღირსშესანიშნავ ისტორიულ-კულტურულ ძეგლთა და სხვადასხვა დანიშნულების შენობა-ნაგებობათა რღვევას აჩქარებს. აღნიშნულის შედეგად საფრთხე ექმნება ჩვენი ქვეყნის უძველეს და უმდიდრეს არქიტექტურას, მის ფრესკულ მხატვრობასა და უნიკალურ ჩუქურთმებს. ცნობილია, რომ ატმოსფეროს ტრანსსასაზღვრო დაბინძურებით მიყენებული ზარალი,

რომელსაც ქვეყანა განიცდის, ძნელად გამოისახება რაოდენობრივად, მაგრამ ექვს არ იწვევს, რომ იგი ძალზე დიდია. ამის გამო, დღის წესრიგში დგება: - 1. რეკრეაციულ ზონებში და მნიშვნელოვანი ისტორიულ-კულტურული ნაგებობათა მიმდებარე გარემოს, კომპლექსური ეკოლოგიური მონიტორინგის მონაცემთა ბაზის ორგანიზება; - 2. ამ მონაცემთა დამუშავების საფუძველზე, საკვლევი გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შეფასება და შედეგების ხელმისაწვდომობის უზრუნველყოფა.

ძირითადი ნაწილი. გარემოს ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების მონიტორინგის ერთ-ერთ მთავარ შემადგენელ ნაწილს ატმოსფერული ნალექების (წვიმის წყლის და თოვლის) მინერალიზაციის კვლევა წარმოადგენს.

ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაცია იმ აეროზოლების კონცენტრაციითა და ფიზიკურ-ქიმიური თვისებებით არის განპირობებული, რომლებიც ჰაერის მასათა ურთიერთშერევის პროცესში ან ღრუბლის წვეთების მიერ მიტაცებით მიიღებიან. როგორც ირკვევა, ატმოსფერული ნალექები მნიშვნელოვნად უწყობენ ხელს ნივთიერებათა მიმოქცევას ბუნებაში და ატმოსფეროს მინარევების შორ მანძილზე გადატანით გარემოს ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების ძირითად მექანიზმს წარმოადგენენ.

სამრეწველო წარმოშობის კონდენსაციის ბირთვების საუკეთესო მაგალითს ქლორის, გოგირდის, ბრომისა და ლითონური მინარევების შემცველი აეროზოლები წარმოადგენენ. გარდა ამისა, ამ ელემენტების მიერთებით, ინერტული მინერალური მტერის ნაწილაკები აქტიურ კონდენსაციის ბირთვებად გარდაიქმნებიან. ამ ნაწილაკების კონცენტრაციების ცვლილებები ატმოსფეროში მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ ღრუბლების ჩამოყალიბების პროცესებზე და ნალექების რეჟიმზე. ამასთან, არა მარტო, აიტკენისა და მსხვილი ბირთვების სახით წარმოადგენილ, ნაწილაკთა ზომების სპექტრის მაღალდისპერსულ აეროზოლთა ნაწილს უკავია დიდი როლი, არამედ 10-30 და 31-200მკმ დიამეტრის მქონე, გიგანტურ და ზეგიგანტურ ნაწილაკებსაც ენიჭება მაღალი მნიშვნელობა. ასეთ ნაწილაკთა რაოდენობა ატმოსფეროში ფართო დიაპაზონში იცვლება და მათი რიცხვობრივი კონცენტრაციები ჰაერში 0,1 - 30 ნ/ლ ფარგლებში მერყეობს, რაც დამოკიდებულია მიწისპირა საფარზე, აეროზოლების წყაროებზე და მიწის ზედაპირიდან ატმოსფეროს ზონდირების სიმაღლეზე. ამ ნაწილაკთა კონცენტრაცია, რომელთა შორის ორგანული წარმოშობის ნაწილაკები, დაახლოებით, 30% შეადგენენ, ღრუბლებს ზევით გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე მათ ქვემო ნაწილში, რაც, ძირითადად, ჩამორეცხვის მექანიზმის მოქმედებითაა განპირობებული [2].

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლა ატმოსფეროს დაბინძურების მონიტორინგის ერთ-ერთ უმთავრეს საგანს წარმოადგენს. ამასთან, შესაძლებელია გამოყენება ინფორმაციისა, როგორც მათი მინერალიზაციის, ისე ლითონური მიკრომინარევების შემცველობის შესახებ. მაგალითად, ამერიკის შეერთებული შტატებისა და წყნარი ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში მოსულ ნალექებში ლითონური მიკრომინარევების შემცველობის კვლევებით გამოვლინდა სამრეწველო აეროზოლების გადატანა მთებში და ღია ოკეანეში შორ მანძილზე, რაც სამრეწველო ნარჩენებით დაბინძურებული ჰაერის საერთო ფონის შექმნას უწყობს ხელს (ცხრ.1.).

ცხრილი 1. ლითონური მიკრომინარევების შემცველობა აშშ-სა და წყნარი ოკეანის დასავლეთ ნაწილში მოსულ ატმოსფერულ ნალექებში

რაიონები	მინარევები, (მკგ/ლ)							
	Cu	Pb	Zn	Cd	Al	Ti	Mn	Fe
1.	2,6	12,7	-	-	50,0	3,7	7,8	77,0
2.	5,5	17,0	2,5	-	47,0	1,2	5,0	67,0
3.	31,0	323,0	248,0	33,0	158,0	23,0	127,0	152,0

განსახილველ ცხრილში მოცემულია საკვლევ რაიონებში მოსულ ნალექებში მიკროელემენტების გასაშუალოებული კონცენტრაციები. ამასთან, 1 რაიონი ფიჯის, ტონგას, ნიუესა და კუკის კუნძულებთან, ეკვატორის სამხრეთით მდებარეობს. მე 2-რე – ციმბირის ანტიციკლონის სამხრეთ - აღმოსავლეთის პერიფერიის რაიონებს მოიცავს, ხოლო მე 3-მე – კონტინენტის ჩრდილო – დასავლეთის იმ ნაწილს, რომელიც აზიური კონტინენტის სანაპიროსა და იაპონიის კუნძულებისკენ განიცდის მიზიდულობას.

მიუხედავად იმისა, რომ მე 3-ე სტრიქონის სინჯები მე 2-სთან გენეტიკურ მთლიან ერთობლიობას ქმნიან, როგორც ვხედავთ, მასში მოტანილი კონცენტრაციები მაღალი მნიშვნელობებით განსხვავდებიან,

რაც, ტექნოგენური ნარჩენების დიდი რაოდენობით შემცველ, კონტინენტალური აეროზოლების ფართო-მასშტაბურ გადატანასთან არის დაკავშირებული.

გარდა ამისა, როგორც რიგი კვლევის შედეგები გვიჩვენებენ, აშშ-ს ტერიტორიის ზღვისა და მთაგორიან რაიონებში მოსული წვიმის წყლისა და თოვლის სინჯებში ლითონური მიკრომინარეების შემცველობაზე მიღებული ცნობები, საკვლევი რაიონების ატმოსფეროს აუზის, სამრეწველო გამონაბოლქვების გადატანის შედეგად, დაბინძურების შეფასების საშუალებას იძლევა.

მიუხედავად იმისა, რომ ცნობები ნალექებში ლითონური მინარეების შემცველობაზე ატმოსფეროს დაბინძურების ფართო სპექტრის ასპექტებზე მსჯელობის საშუალებას იძლევა, რაც მკვლევართა დიდ ინტერესს განაპირობებს, საქართველოში ასეთი სახის კვლევებმა განვითარება ვერ ჰპოვა და მათ მხოლოდ ეპიზოდური ხასიათი გააჩნია [1,2].

ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის შეფასებისას მკვლევარები რიგი მახასიათებლებით სარგებლობენ, რომლებიც ჩვენს მიერ ნალექებში შემავალი მინერალური ნივთიერებათა წარმოშობის დასადგენად გამოიყენება.

მაგალითად, ცხრ.2-ში მოტანილი პარამეტრების საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები მათი გენეტიკურად დაყოფის შესაძლებლობას ქმნიან, მათ შორის: ქალაქის, მთის და ზღვისპირული.

ცხრილი 2. საქართველოს ტერიტორიის რეგიონებში და ოკეანეების ზედაპირზე მოსული ნალექებისა და ოკეანეების წყლის მინერალიზაციის მახასიათებლების მნიშვნელობები, ($\Sigma i, \text{მგ/ლ; } \kappa, \text{მკომი}^{-1} \text{ სმ}^{-1}$)

მახასიათებლები	რეგიონები				
	ქალაქის	მთის	ზღვისპირა	ოკეანეზე მოსული ნალექები	ოკეანის წყალი
$\text{SO}_4^{2-}/\text{Na}^+$	6,24	5,11	4,27	0,60	0,25
$\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$	4,18	3,29	2,59	0,49	0,14
Cl^-/Na^+	1,47	1,56	1,74	1,22	1,78
Σi	35,84	23,71	19,19		
κ	65,38	38,85	32,18		
pH	6,48	6,38	5,85		
Σi_6	37,50	21,28	19,03		
Σi_{∞}	34,36	26,12	19,30		

როგორც ცხრილიდან ირკვევა, თითქმის ყველა განსახილველი პარამეტრების სიდიდეები კლებულობს ქალაქის, მთისა და ზღვისპირული რეგიონების ჩამონათვალის თანმიმდევრობით. ამასთან, Cl-სა და Na-ს იონთა კონცენტრაციების ფარდობითი სადიდეები ბევრად არ განსხვავდებიან ოკეანეების მონაცემებისაგან, რაც მათი, ძირითადად, ზღვიური წარმომავლობაზე მეტყველებს.

ინტერესს იწვევს საკვლევ რეგიონებში იონების ჯამთა განაწილების შეფასებები თბილისა - Σi_{∞} და ცივ - Σi_6 პერიოდებში. მაგალითად, ზღვისპირულ რაიონებში ნალექების მინერალიზაციის ფორმირება, ძირითადად, ზღვის მარილების ხარჯზე წარმოებს. ამასთან, ატმოსფეროში შემოსული მათი საერთო რაოდენობა ორივე განსახილველ სეზონში, დაახლოებით, ერთნაირი სიდიდისაა. მთიან რაიონებში, ვინაიდან ცივ პერიოდში ქვეფენილი ზედაპირი თოვლითაა დაფარული, ადგილობრივ ნალექთა მინერალიზაციის წყაროდ, უმთავრესად, ჰაერის ნაკადით გადმოტანილი “ტრანზიტული” აეროზოლები გვევლინებიან. ხოლო, თბილ პერიოდში იონთა ჯამის მომატება ეოლური წარმოშობის ბუნებრივი, მიწის ზედაპირის ეროზიის პროდუქტებისაგან შემდგარი, აეროზოლების ხარჯზე მოდის. ქალაქების გარემოში ნალექების მინერალიზაცია, ძირითადად, სამრეწველო აეროზოლების წილით არის განპირობებული. მას, როგორც ვიცით, წელიწადის ცივ პერიოდში გათბობის სისტემების გამონაბოლქვი მინარეები ემატება, რაც, როგორც ჩანს, ხელს უწყობს ატმოსფერული ნალექების მინერალიზაციის მატებას.

კულტურული ტურიზმის გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის ასპექტების კვლევისას, ატმოსფეროში დანაწევრებულ მინარევთა დედამიწის ზედაპირზე დალექვის შედეგად, ქვეფენილი ზედაპირის შედგენილობის ცვლილებების შეფასებები იწვევენ მზარდ ინტერესს. ამასთან დაკავშირებით, მეტად აქტუალურია დედამიწის ზედაპირზე ჩამორეცხილ მინერალურ ნივთიერებათა რაოდენობის

შეფასების შედეგების განხილვა. ამასთან, აღსანიშნავია, რომ ასეთი ინფორმაციის მიღება სიმძლევებთან იყო დაკავშირებული, ვინაიდან ის ძვირადღირებულ, სპეციალურ კვლევებს მოითხოვდა. აღნიშნული საკითხის გადასაჭრელად, მოსული ატმოსფერული ნალექების რაოდენობისა და მასში გახსნილ მინარევ ნივთიერებათა კონცენტრაციის მნიშვნელობებით, მათი ჩამორეცხილი რაოდენობის გაანგარიშების მიზნით, ჩვენს მიერ იქნა შემოტანილი ქვემოთ მოცემული ფორმულა [3]:

$$M = qH \text{ კგ/კმ}^2\text{წლ}$$

სადაც q , მგ/ლ - ნალექების სინჯებში გახსნილი მინარევთა შენაერთების საშუალო წლიური კონცენტრაციები, H , მმ - ატმოსფერული ნალექების საშუალო წლიური ჯამი, ხოლო M მოცემული ტერიტორიის ქვეყნულ ზედაპირზე მოსული საკვლევ მინარევთა წლიური რაოდენობაა.

მოცემული ფორმულის დახმარებით გაანგარიშებული საკვლევი პარამეტრის მრავალწლიური საშუალო რაოდენობები ცხრ.3-შია მოტანილი.

ცხრილი 3. საქართველოს კულტურული ტურიზმის საკვლევი პუნქტებში ქვეყნულ ზედაპირზე ჩამორეცხილი მინერალური ნივთიერებათა რაოდენობა

პუნქტები	H, 10 ⁻³ მ	ნივთიერებები, ტ/კმ ² წლ				
		SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Σi
აბასთუმანი	683.0	4.8	1.4	6.1	1.2	18.2
გუდაური	1396.5	6.9	2.2	11.1	1.2	29.7
სოხუმი	1658.4	11.8	3.0	9.5	2.5	35.2
ბათუმი	2564.9	14.9	6.5	13.0	4.4	50.2
თბილისი	542.2	5.6	1.4	8.2	0.9	22.1

ცხრ.3-ის მონაცემები საშუალებას გვაძლევს დავასკვნათ, რომ განსახილველ რეგიონებში მნიშვნელოვანი ეკოლოგიური ზიანის მომტანი მინერალური ნივთიერება ჩამორეცხება. ყველა პირობა არსებობს ვიფიქროთ, რომ ამ ნივთიერებათა წარმოშობის წყარო, შესაძლოა, ტრანსსასაზღვრო გადატანების შედეგად, მეზობელ ქვეყნებში უნდა ვეძებოთ.

აღსანიშნავია, რომ საკვლევი რეგიონის ბიოსფეროზე ამ მოვლენის ნეგატიური ზემოქმედების სრული სურათი და ხასიათი ჯერ კიდევ არ არის ბოლომდე გაცნობიერებული, მაგრამ უკვე ნათელია, რომ მის რიგშია ისეთი მოვლენები, როგორიცაა: ქვეყნული ზედაპირის დაჟანგვა და გამლაშვანება; ნიადაგიდან მცენარეულობისათვის საჭირო საკვები ნივთიერებათა გამოტუტვა და მისი მასტაბილიზირებული აგენტების გამოყვანა; მძიმე ლითონების შემცველობის ტოქსიკურ დონემდე მომატება; გაუდაბნოება და სხ.

დაბოლოს, აღსანიშნავია, რომ საკვლევი რეგიონის ბიოსფეროზე ამ მოვლენის ნეგატიური ზემოქმედების სრული სურათი და ხასიათი ჯერ კიდევ არ არის ბოლომდე გაცნობიერებული, მაგრამ უკვე ნათელია, რომ მის რიგშია ისეთი მოვლენები, როგორიცაა: ქვეყნული ზედაპირის დაჟანგვა და გამლაშვანება; ნიადაგიდან მცენარეულობისათვის საჭირო საკვები ნივთიერებათა გამოტუტვა და მისი მასტაბილიზირებული აგენტების გამოყვანა; მძიმე ლითონების შემცველობის ტოქსიკურ დონემდე მომატება; გაუდაბნოება და სხ.

დასკვნა. შესრულებული კვლევის შედეგები საშუალებას იძლევა დავასკვნის გაკეთებისა იმის შესახებ, რომ ატმოსფერული ნალექები მნიშვნელოვნად უწყობენ ხელს ნივთიერებათა მიმოქცევას ბუნებაში და ატმოსფეროს თვითგასუფთავების ძირითად მექანიზმს წარმოადგენენ [4]. გარდა ამისა, ატმოსფერული ნალექების ქიმიური შემადგენლობის შესწავლა გარემოს ფართომასშტაბური – ტრანსსასაზღვრო დაბინძურების მონიტორინგის ერთ-ერთ უმთავრეს საგანს წარმოადგენს. ამასთან, შესაძლებელია გამოყენება ინფორმაციისა, როგორც მათი მინერალიზაციისა, ისე ლითონური და რადიოაქტიური მინარევების შემცველობის შესახებ.

ლიტერატურა - References-Литература

1. Gunia Garry. Environmental monitoring. Tbilisi, HMI, 2019, 244 p. ISBN 978-9941-8-1490-7 (Geo.).
2. Gunia G, Svanidze Z. Evaluations of the ecological - economic efficiency of the construction of artificial reservoirs in mountainous regions. Ivane Javakhishvili TSU Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, International Scientific Conference: "Current Problems of Geography", 7-8 /11/2019, pp.71-75. (Engl.) ISBN 978-9941-13-885-0
3. Gunia G., Tsintsadze T. Estimation of Statistical Relationship between Precipitation Amount and its Mineralization. Bull.Georg.Acad.Sci., 2005, v.172, N.2 , pp.344-346. ISSN - 0132 - 1447
4. Gunia G., Svanidze Z., Svanidze L. Changes in Chemical Composition of The Atmosphere under Anthropogenic Influence. – Bull.Georg. Acad.Sci., 1998, v.157, N.1, p.50-52. ISSN - 0132 – 1447

UDC: 551.510.42

Mineralization of Atmospheric Precipitation - an Indicator of the Ecological Load of Cultural Tourism Environment /Gunia Garry, Svanidze Zizi/ Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.130-134. - Georg., Summ.: Georg., Eng., Rus.

The paper covers the issues of assessing the pollution of the natural environment of cultural tourism areas. With the help of this material, one can discuss the assessment of the ecological state of the regions under consideration as a result of the large-scale transfer of harmful impurities.

In connection with the above, it is worth noting that the mineralization of atmospheric precipitation is determined by the concentration and physicochemical properties of those aerosols, which include both particles captured by cloud droplets in the process of mixing air masses and particles presented as their condensation nuclei.

The results of the research allow us to conclude that atmospheric precipitation significantly contributes to the circulation of substances in nature and is the main mechanism of self-cleaning of the atmosphere.

In addition, the study of the chemical composition of atmospheric precipitation is one of the main objects of monitoring large-scale transboundary environmental pollution. In this case, it is possible to use information about both their mineralization and the content of metallic and radioactive impurities.

УДК: 551.510.42

Минерализация атмосферных осадков - индикатор экологической нагрузки среды культурного туризма /Гуния Г.С., Сванидзе З.С./ Труды ИГМ, ГТУ. -2025. -т.136. - стр. 130-134. - Груз., Рез.: груз., англ., рус.

В статье рассматриваются вопросы оценки загрязнения природной среды территорий культурного туризма. С помощью данного материала можно обсудить оценку экологического состояния рассматриваемых регионов в результате масштабного переноса вредных примесей.

В связи с вышеизложенным стоит отметить, что минерализация атмосферных осадков определяется концентрацией и физико-химическими свойствами тех аэрозолей, к которым относятся как частицы, захваченные облачными каплями в процессе перемешивания воздушных масс, так и частицы, представленные в качестве их ядер конденсаций.

Результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что атмосферные осадки вносят существенный вклад в круговорот веществ в природе и являются основным механизмом самоочищения атмосферы.

Кроме того, изучение химического состава атмосферных осадков является одним из основных объектов мониторинга масштабного трансграничного загрязнения окружающей среды. При этом возможно использование информации как об их минерализации, так и о содержании металлических и радиоактивных примесей.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-135-141

უკ.504.5.054.

ქ. ქუთაისის ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შეფასება ექსპერიმენტული გაზომვებით

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

*საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

aasurmava@yahoo.com

**ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდიაშვილის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

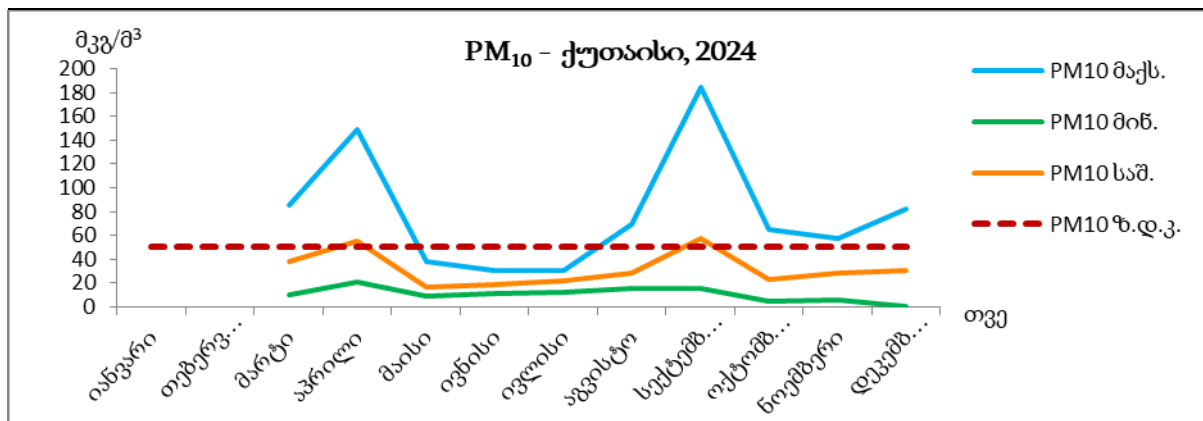
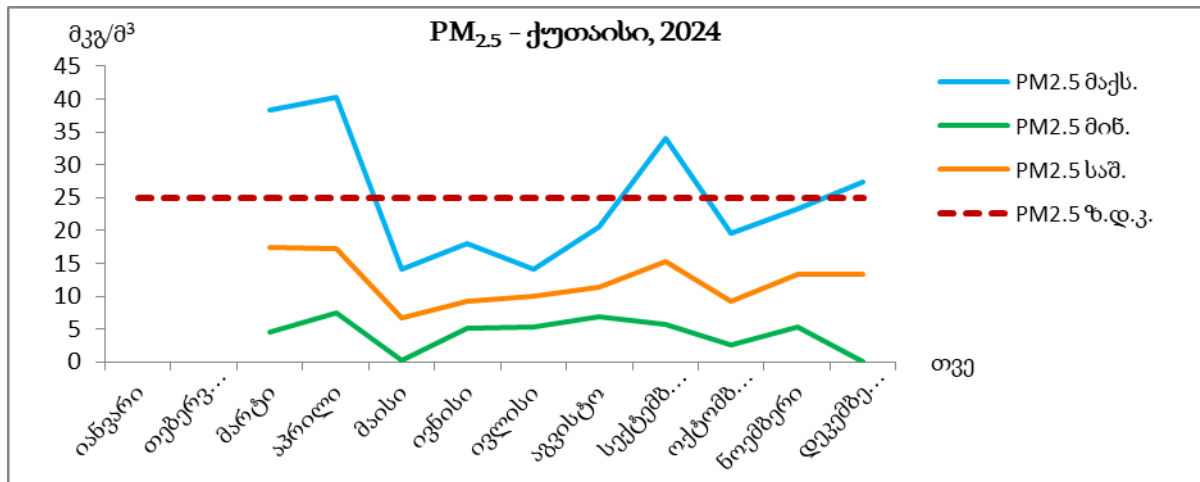
*** საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

რეზიუმე. წარმოდგენილ ნაშრომში განსაზღვრულია ქ. ქუთაისისა და მის შემოგარენში ატმოსფეროში არსებული მიკროაეროზოლების (PM_{2.5} და PM₁₀) კონცენტრაციები, ზამთრისა და ზაფხულის პერიოდში ექსპერიმენტული გაზომვების საფუძველზე. გაანალიზებულია მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო მნიშვნელობები ქალაქის სხვადასხვა ადმინისტრაციულ ერთეულში. აგრეთვე, მონიტორინგის მონაცემების საფუძველზე შეფასებულია კონცენტრაციების საათობრივი ცვლილების ხასიათი და დღე-ღამური მნიშვნელობები. მონიტორინგის მონაცემები შედარებულია ექსპერიმენტულ გაზომვებთან.

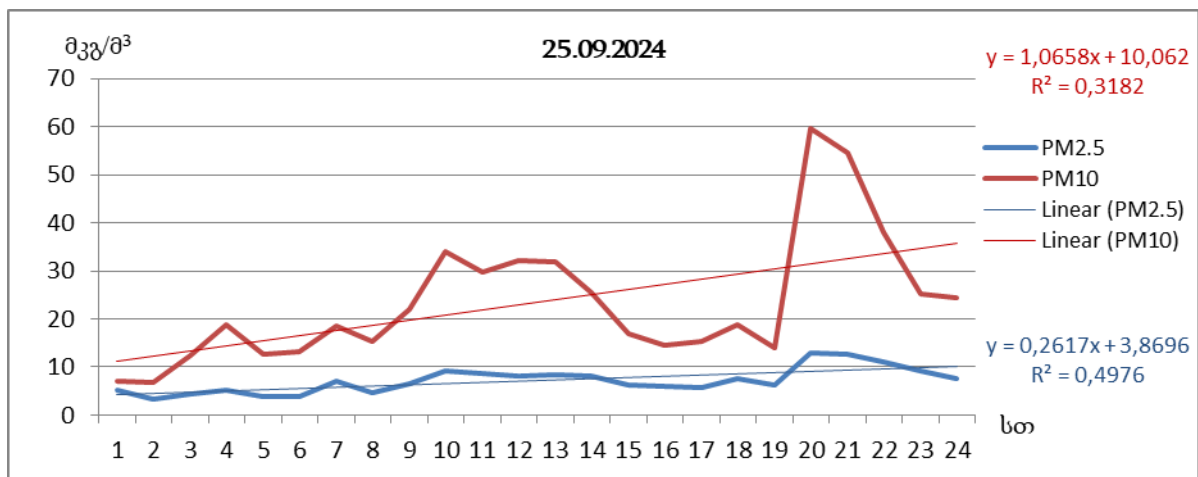
საკვანძო სიტყვები: ატმოსფეროს დაბინძურება, კონცენტრაცია, ქ. ქუთაისი, PM_{2.5}, PM₁₀.

შესავალი. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურება თანამედროვეობის აქტუალური თემაა. დიდ ყურადღებას იმსახურებს ატმოსფეროში გაბნეული მიკროაეროზოლები, მათ შორის განსაკუთრებით საშიშია PM_{2.5} და PM₁₀. ისინი სიმცირის გამო ადვილად ხვდებიან ადამიანის ორგანიზმში და იწვევენ სხვადასხვა სახის დაავადებებს [1]. საქართველო არ მიეკუთვნება ძლიერად დაბინძურებულ ქვეყნებს, თუმცა ატმოსფეროში მიკრონაწილაკთა კონცენტრაციები, ხშირად მაინც სცილდება ზღვრულად დასაშვებ ნორმებს. ამ კუთხით, მნიშვნელოვანია საქართველოს დიდი ქალაქების ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების შეფასება [2-4]. ერთ-ერთი ასეთი საყურადღებო ქალაქია ქუთაისი, რომელიც არის სამხრეთ კავკასიის მნიშვნელოვანი სამედიცინო-გამაჯანსაღებელი და ტურისტული ცენტრი. მის მახლობლად მდებარეობენ ცნობილი რეკრეაციული ცენტრები, აქედან გამომდინარე, ქალაქში ყოველწლიურად ჩამოდის ასეულ ათასობით დამსვენებელი მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონიდან. ამიტომ, ქალაქის გარემოს ეკოლოგიური მდგომარეობის შესწავლას და შეფასებას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება.

მონიტორინგის მონაცემების შედეგები. ქ. ქუთაისის ატმოსფერულ ჰაერში მიკრონაწილაკთა კონცენტრაციების შესაფასებლად გამოყენებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემები [5]. გაანალიზებულია 2020-2024 წლების მონაცემები (2023 წელს ქ.ქუთაისში ავტომატური სადგური არ მუშაობდა). ნახ.1-ზე მაგალითის სახით წარმოდგენილია ქ. ქუთაისის ატმოსფეროში PM ნაწილაკთა 2024 წლის ყოველთვიური კონცენტრაციები, საიდანაც ჩანს, რომ მაქსიმალური მნიშვნელობები ძირითადად, მხოლოდ ზაფხულის პერიოდში არ აღემატება ზდკ-ს, საშუალო მნიშვნელობები კი მხოლოდ PM₁₀-თვის აღემატება შესაბამის ზდკ-ს აპრილისა და სექტემბრის თვეებში, მინიმალური კონცენტრაციები ყველა შემთხვევაში დაბალია ზდკ-ზე. რაც შეეხება კონცენტრაციათა ყოველდღიურ მსვლელობას, წირი ზოგადად არაფრისმთქმელია, რადგანაც დამოკიდებულია კონკრეტულ მომენტში ავტომატური სადგურის გამონაბოლქვზე და კონკრეტული დღის ამინდზე. როგორც წესი, ღრუბლიან და ნისლიან ამინდებში უფრო მაღალი კონცენტრაციები ფიქსირდება, ვინაიდან მარტივად არ ხდება გამონაბოლქვის დიფუზია ატმოსფეროს ზედა ფენებში. კონცენტრაციათა საათობრივი ხასიათი კი მკვეთრად გამოხატული, დღის განმავლობაში აღინიშნება კონცენტრაციათა მატების ტენდენცია, ძირითად შემთხვევაში ტრენდი დადებითია და მაქსიმალური მნიშვნელობები 20 სთ-ის შემდგომ ფიქსირდება, რაც აიხსნება პიკის საათით.

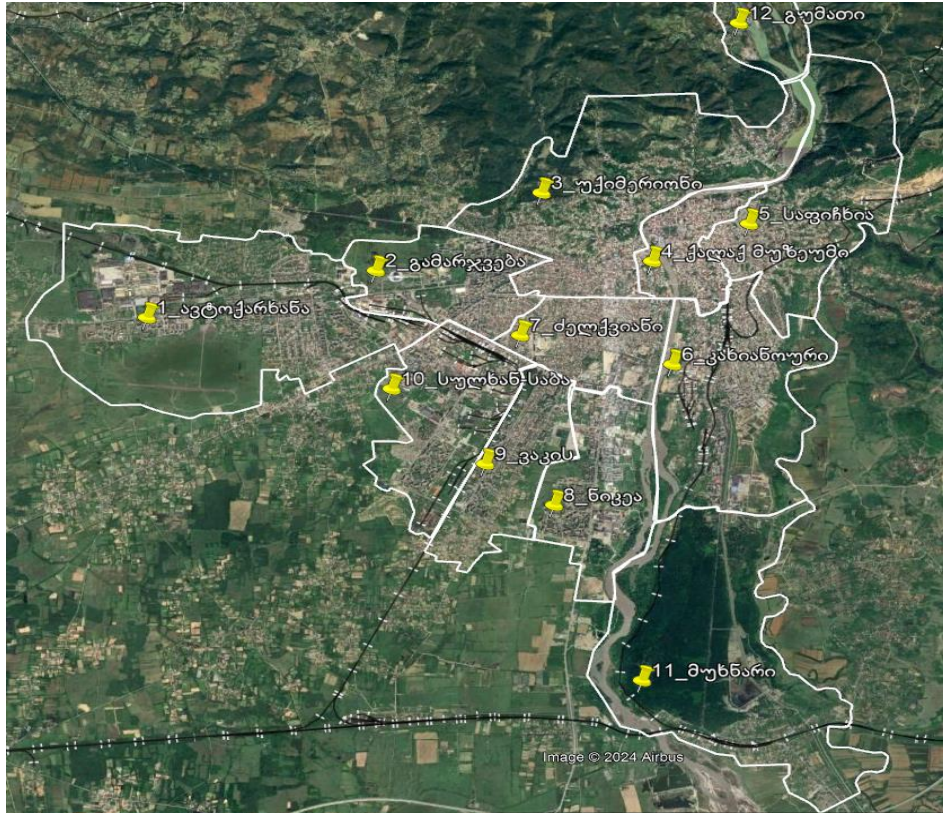


ნახ. 1. PM2.5 და PM10-ის ყოველთვიური კონცენტრაციები, 2024 წელი



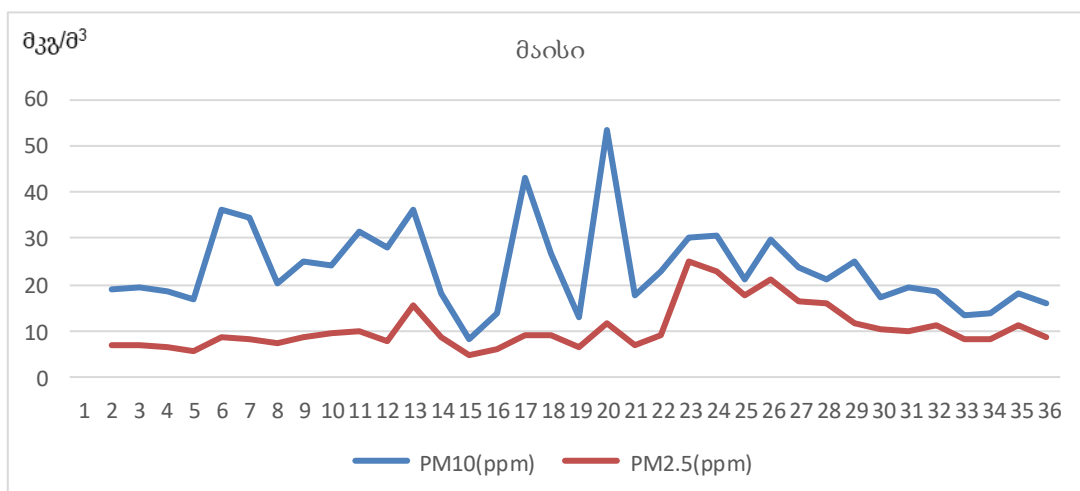
ნახ. 2. PM2.5 და PM10-ის დღე-ღამური კონცენტრაციები, 25.09.2024

ექსპერიმენტული გაზომვის შედეგები. ექსპერიმენტული ნატურული გაზომვებით შესწავლილია ქ. ქუთაისსა და მის მიმდებარე ტერიტორიაზე ატმოსფერულ ჰაერში PM2.5 და PM10 კონცენტრაციები. გაზომვები ჩატარებულია პორტატული გამზომი მოწყობილობით Aeroqual Series 500. ქ.ქუთაისი დაყოფილია 12 ადმინისტრაციულ ერთეულად (ნახ. 3). თითოეულ ერთეულში განსაზღვრულია შედარებით მაღალი და დაბალი კონცენტრაციების ზონები.

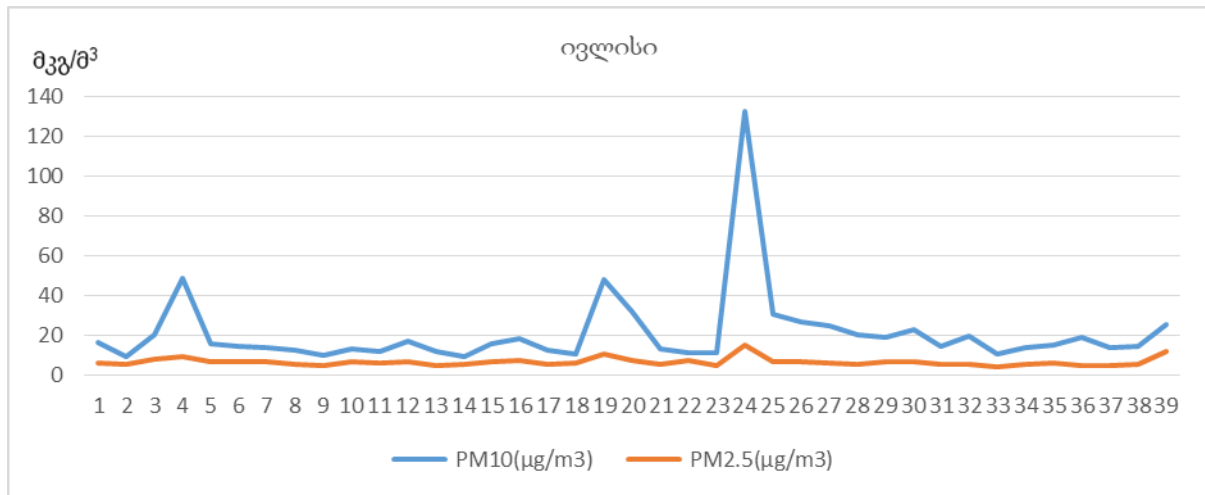


ნახ. 3. ქ. ქუთაისის ადმინისტრაციული ერთეულები

ნახ.4-6-ზე მოცემულია გაზომვების საშუალო მნიშვნელობები წელიწადის სხვადასხვა დროს, გაზაფხულზე, ზაფხულსა და შემოდგომაზე. PM_{2.5} და PM₁₀-ის კონცენტრაციათა მნიშვნელობები დაკვირვების პუნქტებში არ არის პროპორციულ დამოკიდებულებაში. გაზაფხულზე და ზაფხულში PM₁₀-ის კონცენტრაციები იცვლება 8,4 - 132,5 მკგ/მ³, PM_{2.5}-ის კი 4,6 - 25,1 მკგ/მ³ ინტერვალის ფარგლებში. PM₁₀-ის ექსტრემალურად მაღალი კონცენტრაცია (>2,6 ზდკ; ზდკ=50 მკგ/მ³) მიღებულია ავტომშენებლის ქუჩის მიმდებარე ტერიტორიაზე. მაღალი კონცენტრაციები (>ზდკ) დაკვირვებულია ქალაქის ცენტრში, ქუთაისის გარსშემოვლით გზასა და თაბუკაშვილის ქუჩის გადაკვეთასთან. მაღალი კონცენტრაციების არსებობა ძირითადად დაკავშირებულია ქუჩის სარემონტო სამუშაოებთან, საწარმოო საქმიანობასთან, ინტენსიურ სატრანსპორტო მოძრაობასთან.

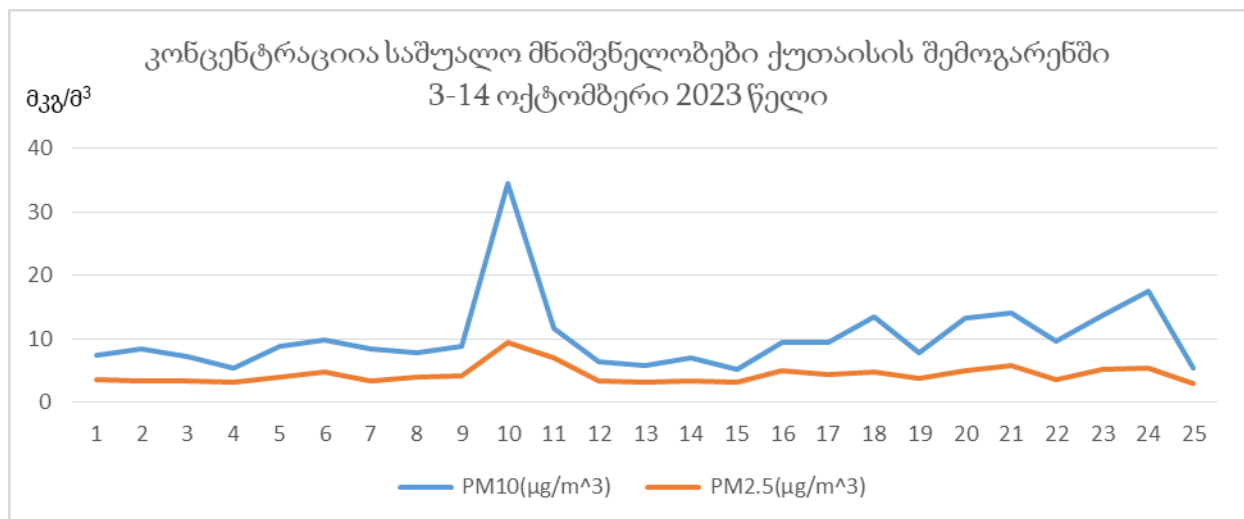


ნახ. 4. PM_{2.5} და PM₁₀-ის კონცენტრაციები, მაისის ექსპედიცია



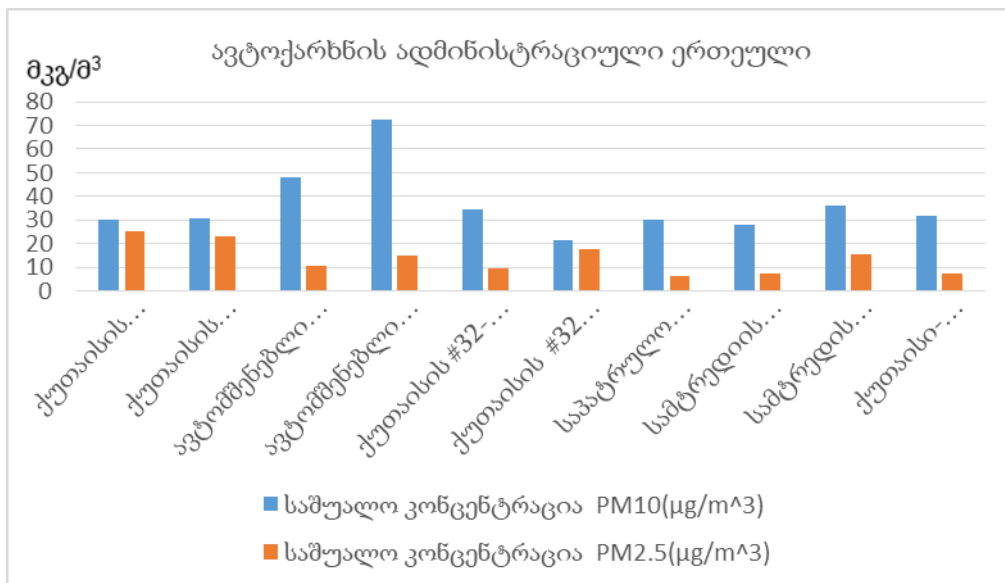
ნახ. 5. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები, ივლისის ექსპედიცია

დაბალი კონცენტრაციის ზონა მიღებულია ქ. ქუთაისის მიმდებარედ არსებულ დასახლებულ პუნქტებში. მათი კონცენტრაციების სიდიდეები ტოლია: სოფ. ქვიტირი - 6 მკგ/მ³, 12 მკგ/მ³; სოფ. ფარცხანაყანები - 4,6 მკგ/მ³, 8,4 მკგ/მ³; სოფ. გეგუთი - 6,2 მკგ/მ³, 13,9 მკგ/მ³, ონის რაიონი- 8 მკგ/მ³, 16 მკგ/მ³, მარტვილის რაიონი - 19 მკგ/მ³, 23 მკგ/მ³ (ნისლიანი ამინდი) (ნახ. 6).

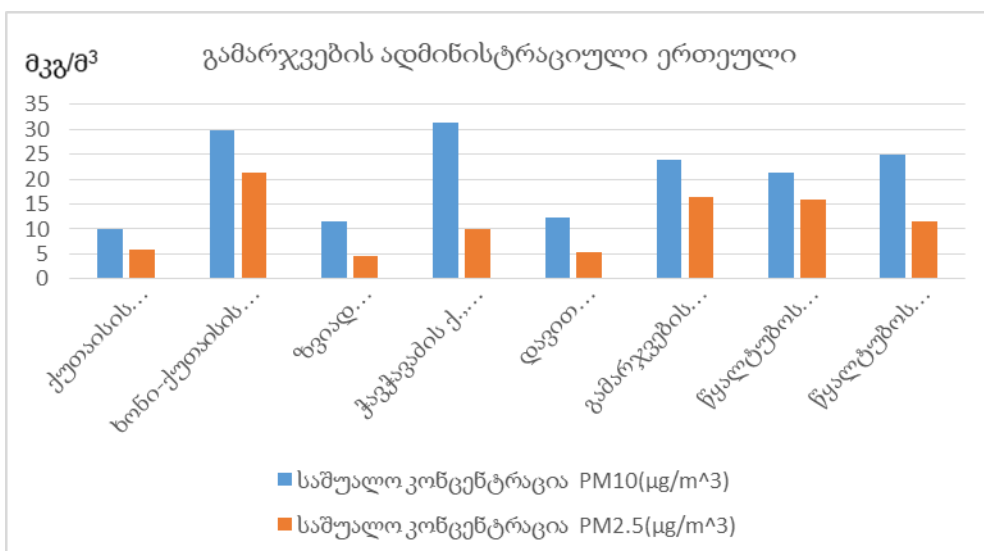


ნახ. 6. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები, ოქტომბრის ექსპედიცია

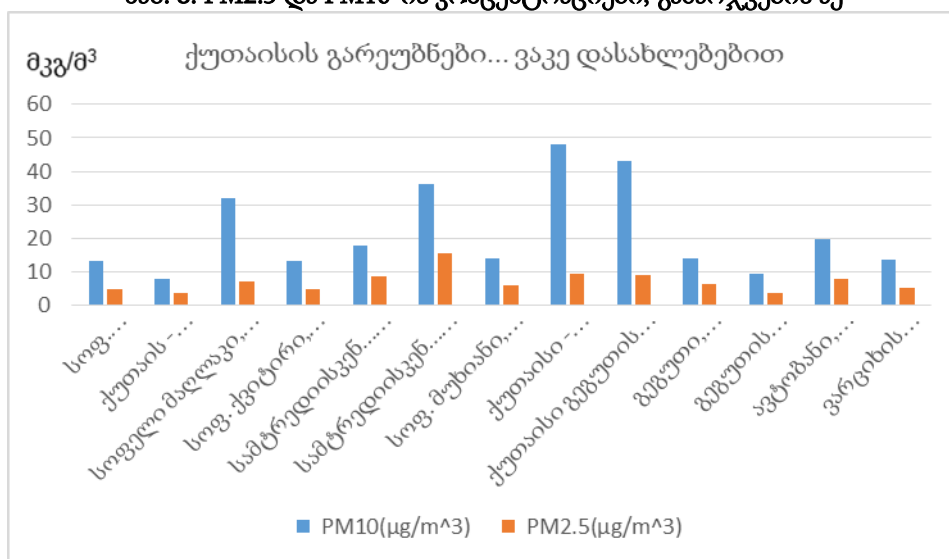
აგრეთვე, შეფასებულია კონცენტრაციათა მნიშვნელობები ქ. ქუთაისის ადმინისტრაციული ერთეულების მიხედვით. მაგალითისათვის, ნახ.7-ზე ნაჩვენებია ავტოქარხნის ადმინისტრაციული ერთეულის კონცენტრაციები. ზღვ-ს მნიშვნელობას PM10-ის კონცენტრაცია აჭარბებს მხოლოდ ავტომშენებლის ქუჩაზე და ტოლია 72.5 მკგ/მ³, დანარჩენ შემთხვევებში ნორმის ფარგლებშია. გამარჯვების ადმინისტრაციულ ერთეულში ყველა კონცენტრაცია ზღვ-ს ფარგლებშია (ნახ. 8). რაც შეეხება ქ. ქუთაისის გარეუბნებს, ვაკე და დაბლობ ადგილებში რამდენიმე ადგილას უახლოვდება ზღვ-ს მნიშვნელობას PM10-ის კონცენტრაცია, მაგალითად ქუთაისი - გეგუთის გზაზე, სადაც არის კარიერის საამქრო და კამაზის ცენტრი (ნახ. 9). მთიან ადგილებში კი დაბალი კონცენტრაციები ფიქსირდება, მათგან ყველაზე მაღალია 25 მკგ/მ³ წყალტუბოს გზაზე სასაფლაოებთან (ნახ. 10).



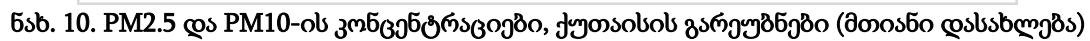
ნახ. 7. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები, ავტოქარხნის აე



ნახ. 8. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები, გამარჯვების აე



ნახ. 9. PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციები, ქუთაისის გარეუბნები (ვაკე დასახლება)



მონიტორინგისა და ექსპერიმენტული გაზომვების შედეგად მიღებული მონაცემები თვისობრივად ემთხვევა ერთმანეთს.

ლიტერატურა - References-Литература

- 140

UDC: 504.5.054.

Assessment of atmospheric air pollution in Kutaisi using experimental measurements/Surmava A., Kukhalashvili V., Intskirveli L., Gigauri N., Sesadze V. / Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.135-141. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

Based on data from the National Environmental Protection Agency and experimental measurements, the content of PM particles in the atmosphere of c. Kutaisi was estimated. Concentrations of microaerosols (PM2.5 and PM10) in the atmosphere of c.Kutaisi and its environs in winter and summer were determined. The maximum, minimum and average values in various administrative units of the city are analyzed. Also, based on the monitoring data, the nature of hourly changes in concentrations and daily values is assessed. It is accepted that maximum concentrations in spring and winter often exceed the corresponding MAC, average values exceed PM10 only in April and September, and minimum concentrations are below the MAC in all cases. The hourly variation of the content of microaerosols in the atmosphere shows that their concentration is directly proportional to the intensity of traffic, and the maximum values are recorded during rush hours. The data obtained as a result of monitoring and experimental measurements are qualitatively consistent with each other.

УДК: 504.5.054.

Оценка загрязнения атмосферного воздуха г.Кутаиси с помощью экспериментальных измерений/Сурмава А., Кухалашвили В., Инцкирвели Л., Гигаури Н., Сесадзе В. /Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с. 135-141. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На основании данных Национального агентства по охране окружающей среды и экспериментальных измерений оценена содержание РМ частиц в атмосфере г.Кутаиси. Определены Концентрации микроаэрозолей (PM2,5 и PM10) в атмосфере г. Кутаиси и его окрестностей зимой и летом. Анализируются максимальные, минимальные и средние значения в различных административных единицах города. Также на основе данных мониторинга оценен характер почасовых изменений концентраций и суточных значений. Принято, что максимальные концентрации весной и зимой часто превышают соответствующие ПДК, средние значения превышают РМ10 только в апреле и сентябре, а минимальные концентрации во всех случаях ниже ПДК. Почасовой ход содержания микроаэрозолей в атмосфере показывает, что их концентрация прямо пропорциональна интенсивности движения транспортных средств, а максимальные значения регистрируются в часы пик. Данные, полученные в результате мониторинга и экспериментальных измерений, качественно согласуются друг с другом.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-142-149

უკ: 551.510.41:628.54

მდ. მტკვრის და მისი ზოგიერთი მცირე შენაკადის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის მინიჭება და შედარებითი ანალიზის საფუძველზე მათი ეკოლოგიური მდგომარეობის ცვლილების შეფასება (20015-20016, 2023-2024წწ.)

სოფიო მდივანი, ნუგზარ ბუაჩიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

sopo.hm@gmail.com

რეზიუმე. კვლევის ფარგლებში მოხდა წყლის ხარისხის დადგენა და შესაბამისად მათი კლასიფიკაციის მინიჭება მდინარე მტკვრის შემდეგ პუნქტებში: ხერთვისი, ბორჯომი, ზაპესი, ვახუშტის ხიდი (თბილისი), გაჩიანი, რუსთავი, და თბილისის ტერიტორიაზე მისი ზოგიერთი შენაკადის: გლდანისხევი, დიდმისწყალი, ვერე, ლოჭინი, მათი ჰიდროქიმიური ინდიკატორების მეშვეობით. გამოყენებული იქნა 8 ინდიკატორი ევროკავშირის ქვეყნების წყლის ჩარჩო დირექტივების რეკომენდაციების მიხედვით (2000/60/EC), რომელთა საშუალებით მოხდა წყლის ხარისხის განსაზღვრა მდ. მტკვრის ზემოთ აღნიშნულ პუნქტებსა და მის მცირე შენაკადებში. ასევე, შედარებითი ანალიზის საფუძველზე შეფასდა 2015-2016 და 2023-2024 წლების საკვლევი მდინარეების ეკოლოგიური მდგომარეობის ცვლილება. [4]

საკვანძო სიტყვები: ჰიდროლოგია, ჰიდროქიმია, ჰიდროქიმიური ინდიკატორი, დაბინძურების ინდექსი.

შესავალი. მდინარე მტკვრის შესწავლა ძალზე საინტერესო საკითხია, რომელიც დროთა განმავლობაში არ კარგავს თავის აქტუალობას მრავალი ფაქტორიდან გამომდინარე, რომელთაგან უმთავრესია მისი ტრანსსასაზღვრო მდინარის სტატუსი. მიუხედავად იმისა, რომ მდინარე მტკვრის მონიტორინგი და შესწავლა, შეიძლება ითქვას, უწყვეტად და მრავალმხრივად მიმდინარეობს, საინტერესოდ მივიჩნიეთ მდ. მტკვრის და ქ. თბილისის ტერიტორიაზე მისი მცირე შენაკადების წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის მინიჭება მათი ჰიდროქიმიური ინდიკატორების მეშვეობით. ზოგადად ითვლება რომ მდ. მტკვრის წყლის ხარისხი დამაკმაყოფილებელია, მაგრამ საინტერესო იქნება იმის დადგენა თუ როგორ იცვლება იგი დინების მიხედვით და რა გავლენას ახდენენ ქ. თბილისის მცირე შენაკადები მდ. მტკვრის წყლის ხარისხზე.

წყლის ხარისხი, გულისხმობს მის შემადგენლობაში მყოფი მახასიათებლების და მათი თავისებურებების ერთობლიობას, რომელიც განსაზღვრავს წყლის ვარგისიანობას ამა თუ იმ სახის წყალმომარებისათვის. ამასთან ხარისხის კრიტერიუმები წარმოადგენენ ნიშნებს, რომელთა საშუალებითაც წყლის ხარისხის შეფასება ხდება.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია.

მდ. მტკვარი წარმოადგენს ამიერკავკასიის სამხრეთ ნაწილის ერთერთ ყველაზე მსხვილ წყლის არტერიას. მდინარის სათავედ ითვლება ყიზილ-გაიდის ჩრდილო-აღმოსავლეთ კალთებზე არსებული წყაროების ჯგუფი, 2720 მ-ის სიმაღლეზე. მისი სიგრძე 1364 კმ-ია, საშუალო წლიური ხარჯი საქართველოს ტერიტორიაზე დაახლოებით 242 მ³/წმ წყალშემკრები აუზის ფართობი 188000 კმ². მდინარის სათავედან 185 კმ-ის სიგრძის მონაკვეთი მოქცეულია თურქეთის სახელმწიფო საზღვრებში, რომლის წყალშემკრები აუზის ფართობი 5040 კმ²-ია. საქართველოს სახელმწიფო საზღვრიდან მინგეჩაურის წყალსაცავამდე მტკვრის სიგრძე 513 კმ-ს შეადგენს ხოლო წყალშემკრები აუზი 42 615 კმ². ამ მონაკვეთზე მდინარე მტკვრის ჰიდრო-გრაფიული ქსელი შედგება 12 211 მდინარისგან რომელთა საერთო სიგრძე 35465 კმ-ს შეადგენს. ხოლო მისი დარჩენილი, უდიდესი ნაწილი კი აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე მიედინება. იგი მიეკუთვნება ჰიდრო-კარბონატულ მდინარეებს.

ვერე-მდინარე ვერე სათავეს იღებს თრიალეთის ქედის აღმოსავლეთ კალთებზე, დიდგორის მთის მიდამოებში. წარმოადგენს მდ. მტკვრის მარჯვენა შენაკადს. მისი სიგრძე 45 კმ-ია, აუზის ფართობი 194 კმ², საშუალო წლიური ხარჯი 0.97 მ³/წმ-ია. საზრდოობს თოვლის ნადნობი მიწისქვეშა და წვიმის წყლით აგრეთვე აქვს შენაკადებიც: ბეთნიისწყალი, ლასტისციხისხევი, ვანახევისხევი. ახასიათებს ზამთრისა და ზაფხულის წყალმცირობები, გაზაფხულის წყალმოვარდნები და შემოდგომის წყალდიდობები. მდინარე ვერეს შუა და ქვემო წელის წყალს იყენებენ სარწყავად.

დიდმისწყალი-მდინარე დიდმისწყალი სათავეს იღებს სათოვლე-საწვეპელას ქედის აღმოსავლეთ კალთებზე ქ. მცხეთის მიდამოებში. წარმოადგენს მდინარე მტკვრის მარჯვენა შენაკადს. მისი სიგრძე 22 კმ-ია, აუზის ფართობი 85მ², საშუალო წლიური ხარჯი - 0,25მ³/წმ. საზრდოობს უპირატესად თოვლის ნადნობი და წვიმის წყლით. ახასიათებს გაზაფხულის წყალდიდობა, შემოდგომა - ზაფხულის წყალმოვარდნა და ზამთრ - ზაფხულის წყალმცირობა.

გლდანისხევი-მდინარე გლდანისხევი სათავეს იღებს საგურამოს ქედის სამხრეთ კალთებზე, ზღვის დონიდან 1162 მ-ზე. მისი სიგრძე 17 კმ-ია, აუზის ფართობი 63მ², საშუალო წლიური ხარჯი 0,21მ³/წმ-ში რაც აიხსნება მისი წყლის სარწყავად გამოყენებით. საზრდოობს ძირითადად თოვლის, წვიმის და მიწისქვეშა წყლებით, თუმცა აგრეთვე გააჩნია 9 მცირე შენაკადი. ახასიათებს გაზაფხულის წყალდიდობა, ზაფხულისა და შემოდგომის წყალმოვარდნა და ზამთრის წყალმცირობა. არის მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადი.

ლოჭინი-მდინარე ლოჭინი სათავეს იღებს იალონის ქედის სამხრეთ კალთებზე 1085 მ-ზე ზღვის დონიდან, მიედინება ივრის ზეგანზე. მისი სიგრძე 30 კმ-ია, აუზის ფართობი 207 კმ² საშუალო მრავალწლიური ხარჯი 0,79მ³/წმ-ში. იგი საზრდოობს თოვლის, წვიმის და მიწისქვეშა წყლით, გააჩნია აგრეთვე შენაკადები ნორიოსხევი და ალიასხევი. ახასიათებს ზამთრის წყალმცირობა, გაზაფხულის წყალდიდობა და ზაფხულისა და შემოდგომის წყალმოვარდნა. არის მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადი.[1]

იმისათვის რომ შეგვეფასებინა კვლევებში წარმოდგენილი მდინარეების ეკოლოგიური მდგომარეობა და შესაბამისად თითოეული მათგანისათვის მიგვენიჭებინა წყლის ხარისხის კლასიფიკაცია ევროკავშირის ქვეყნების წყლის ჩარჩო დირექტივების რეკომენდაციების მიხედვით, საჭირო გახდა გარკვეული წლების მანძილზე მიღებული ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების გასაშუალოებული სიდიდეების თავმოყრა და მათი ანალიზი.

ცხრილებში 1-2, მოცემულია მდ. მტკვრის ზოგიერთი მისთვის დამახასიათებელი ჰიდროქიმიური მაჩვენებლის შემცველობები წყალში განსაზღვრული ეროვნული სააგენტოს მიერ 2015-2016 და 2023 2024 წლების განმავლობაში.

ცხრ.1 მდინარე მტკვრის 2015-2016 წლების გასაშუალოებული ჰიდროქიმიური მახასიათებლები

	2015-2016 გასაშუალოებული	ხერთვისი საშ	ბორჯომი საშ	ზაჰესი საშ	ვახუშტის ხიდი საშ	გაჩიანი საშ	რუსთვი საშ	ზღვ
	მახასიათებელი							
1	ტემპერატურა, °C	10.79	11.59	12.77	13.02	13.99	13.75	
2	pH	8.38	8.25	8.20	8.08	8.18	8.11	6.5-8.5
3	გაბნეილი ქანგბადი, მგ/ლ	9.44	9.38	8.81	8.85	8.61	8.81	
4	ჟმზ, მგ/ლ	1.35	1.43	1.55	2.61	2.34	2.15	6
5	ნიტრატის აზოტი, მგ/ლ	0.039	0.041	0.043	0.084	0.088	0.092	3.3
6	ნიტრატის აზოტი, მგ/ლ	0.870	0.832	0.643	0.635	0.817	0.814	45
7	ამონიუმის აზოტი, მგ/ლ	0.233	0.256	0.261	0.468	0.405	0.353	0.39
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.293	0.068	0.104	0.100	0.082	0.103	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	6.30	11.84	25.02	35.91	64.24	76.06	500
10	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	131.92	137.16	170.00	179.80	194.90	200.59	
11	მინერალიზაცია, მგ/ლ	197.16	199.77	264.95	292.11	349.64	377.41	
12	რკინა, მგ/ლ	0.108	0.198	0.153	0.143	0.197	0.176	0.3
13	თუთია, მგ/ლ	0.0250	0.0323	0.0386	0.0276	0.0296	0.0237	1
14	სპილენძი, მგ/ლ	0.1453	0.1952	0.0590	0.0656	0.1504	0.1024	1
15	ტყვია, მგ/ლ	0.0039	0.0099	0.0090	0.0079	0.0100	0.0116	0.03
16	მანგანუმი, მგ/ლ	0.0185	0.0299	0.0265	0.0183	0.0286	0.0304	0.1

ცხრ.1-იდან ვხედავთ, რომ 2015-2016 წლებში მდინარე მტკვრის ეკოლოგიური მდგომარეობა შეიძლება ითქვას დამაკმაყოფილებელია. კვლევისთვის შერჩეული მახასიათებლებიდან ზდკ-ს მნიშვნელობას აღემატება მხოლოდ ამონიუმის იონის შემცველობები (თბილისი-გაჩიანის ტერიტორიასთან). ასევე აღსანიშნავია ის რომ ხერთვისი -რუსთავის მიმართულებით (დინების მიხედვით) აღინიშნება ისეთი მაჩვენებლების კონცენტრაციების მატება წყალში როგორებიცაა - ჟბმ, მინერალიზაცია, ამონიუმის აზოტი, ასევე საშუალო ტემპერატურის ზრდა დინების მიხედვით, რაც ბუნებრივია მორფოლოგიური და ტურბულენტური პირობებიდან გამომდინარე. მძიმე მეტალების კონცენტრაცია მდინარე მტკვარში დამაკმაყოფილებელია და არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს, რაც აიხსნება მდინარის წყლის pH-ის მაღალი მაჩვენებლით, რაც იწვევს მეტალების სედიმენტებში გადასვლას. უნდა აღინიშნოს რომ მდ. მტკვრის წყალი ხასიათდება ჰიდროკარბონატულობით და მკვეთრად გამოხატული კალციუმის იონის შემცველობით.

ცხრ.2-ში კი წარმოდგენილია მდ. მტკვრის 2023-2024 წლების ჰიდროქიმიური მაჩვენებლების გასაშუალოებული სიდიდეები.

ცხრ.2 მდინარე მტკვრის 2023-2024 წლების გასაშუალოებული ჰიდროქიმიური მახასიათებლები

	2023-2024 გასაშუალოებული მახასიათებელი	ხერთვი- სი საშ	ბორჯომი საშ	ზაჰესი საშ	ვახუშტის ხიდი საშ	გაჩიანი საშ	რუსთავი საშ	ზდკ
1	ტემპერატურა, °C	9.7	11.9	12.5	13.0	14.0	14.3	
2	pH	8.3	8.3	8.4	8.3	8.2	8.2	6.5-8.5
3	გაბნეილი ჟანგბადი, მგ/ლ	9.85	9.76	9.25	9.29	9.38	9.69	
4	ჟბმ, მგ/ლ	1.62	1.81	2.26	2.49	2.44	2.72	6
5	ნიტრიტის აზოტი, მგ/ლ	0.113	0.120	0.159	0.240	0.161	0.129	3.3
6	ნიტრატის აზოტი, მგ/ლ	5.053	5.109	4.963	3.497	4.287	4.006	45
7	ამონიუმის აზოტი, მგ/ლ	0.235	0.248	0.393	0.433	0.407	0.412	0.39
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.127	0.166	0.180	0.169	0.267	0.132	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	5.75	12.72	24.88	35.30	50.66	55.81	500
10	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	147.87	166.07	210.32	222.09	222.62	231.09	
11	მინერალიზაცია, მგ/ლ	209.77	239.87	334.73	347.51	374.80	384.48	
12	რკინა, მგ/ლ	0.1834	0.4752	0.3809	0.3639	0.1307	0.1262	0.3
13	თუთია, მგ/ლ	0.0019	0.0043	0.0141	0.0042	0.0057	0.0052	1
14	სპილენძი, მგ/ლ	0.0020	0.0045	0.0106	0.0054	0.0039	0.0059	1
15	ტყვია, მგ/ლ	0.0028	0.0062	0.0045	0.0024	0.0037	0.0042	0.03
16	მანგანუმი, მგ/ლ	0.0065	0.0137	0.0403	0.0374	0.0167	0.0168	0.1

მდინარე მტკვრის 2023-2024 წლების ანალიზისთვის შერჩეულ იქნა იგივე მახასიათებლები. მათი უმეტესობა აკმაყოფილებს ნორმებს და არ აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას. ზოგადი სურათი დაახლოებით 2015 წლის მონაცემების მსგავსია, თუმცა აღსანიშნავია, რომ ამონიუმის იონის, მძიმე მეტალებიდან რკინის კონცენტრაციის მცირედ გადაჭარბება ზდკ-ს მნიშვნელობებზე პუნქტებში- ბორჯომი, ზაჰესი, ვახუშტის ხიდი (თბილისი) და რუსთავი. ცხრილებში 3-4 წარმოდგენილია მდ. მტკვრის მცირე შენაკადების (ვერე, დიდმისწყალი, გლდანულა, ლოჭინი) ჰიდროქიმიური მაჩვენებლები მიღებული 2015-2016 და 2023-2024 წლებში.

ცხრ.3 მცირე მდინარეების 2015-2016 წლის გასაშუალოებული ჰიდროქიმიური მახასიათებლები

	2015-2016 გასაშუალოებული მახასიათებელი	ვერე საშ	დიდმისწყალი საშ	გლდანისხევი საშ	ლოჭინი საშ	ზდკ
1	ტემპერატურა, °C	14.34	14.15	14.82	13.04	
2	pH	7.98	7.97	7.91	8.04	6.5-8.5
3	გაბსნილი ჟანგბადი, მგ/ლ	8.11	7.64	7.32	7.93	
4	ჟმზ, მგ/ლ	6.57	4.90	5.03	1.16	6
5	ნიტრიტის აზოტი, მგ/ლ	0.18	0.21	0.24	0.03	3.3
6	ნიტრატის აზოტი, მგ/ლ	0.51	1.21	1.09	1.12	45
7	ამონიუმის აზოტი, მგ/ლ	1.54	1.09	0.94	0.69	0.39
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.28	0.08	0.23	0.05	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	267.95	248.33	81.96	639.35	500
10	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	228.75	235.01	222.30	246.82	
11	მინერალიზაცია, მგ/ლ	664.56	646.65	435.72	1113.45	
12	რკინა, მგ/ლ	0.13	0.15	0.14	0.11	0.3
13	თუთია, მგ/ლ	0.03	0.02	0.03	0.01	1
14	სპილენძი, მგ/ლ	0.05	0.12	0.11	0.09	1
15	ტყვია, მგ/ლ	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03
16	მანგანუმი, მგ/ლ	0.06	0.03	0.02	0.03	0.1

2015-2016 წლების მონაცემების მიხედვით ყველა მცირე მდინარეში ჰიდროქიმიური მახასიათებლების უმეტესობა ნორმის ფარგლებშია, გარდა ამონიუმის აზოტისა რომლის მაჩვენებელი საგრძნობლად აღემატება ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას თითოეულ მათგანის წყალში. რაც შეეხება ჟმზ-ის შემცველობას ის აჭარბებს ზდკ-ს მხოლოდ მდ. ვერეს შემთხვევაში.

ცხრ. 4 მცირე მდინარეების 2023-2024 წლის ჰიდროქიმიური მახასიათებლები

	2023-2024 გასაშუალოებული მახასიათებელი	ვერე საშ	დიდმისწყალი საშ	გლდანისხევი საშ	ლოჭინი საშ	ზდკ
1	ტემპერატურა, °C	14.0	14.6	15.2	13.7	
2	pH	8.3	8.1	8.0	8.3	6.5-8.5
3	გაბსნილი ჟანგბადი, მგ/ლ	9.06	8.53	7.97	8.87	
4	ჟმზ, მგ/ლ	4.00	3.80	4.79	3.35	6
5	ნიტრიტის აზოტი, მგ/ლ	0.290	0.344	0.635	0.271	3.3
6	ნიტრატის აზოტი, მგ/ლ	4.979	6.448	7.497	4.127	45
7	ამონიუმის აზოტი, მგ/ლ	0.879	0.828	1.469	0.260	0.39
8	ფოსფატები, მგ/ლ	0.202	0.176	0.227	0.180	3.5
9	სულფატები, მგ/ლ	96.96	192.53	74.51	374.29	500
10	ჰიდროკარბონატები, მგ/ლ	237.87	263.76	253.51	271.65	
11	მინერალიზაცია, მგ/ლ	446.49	659.22	489.01	998.11	
12	რკინა, მგ/ლ	0.2269	0.2253	0.1766	0.1395	0.3
13	თუთია, მგ/ლ	0.0037	0.0092	0.0043	0.0077	1
14	სპილენძი, მგ/ლ	0.0043	0.0072	0.0026	0.0045	1
15	ტყვია, მგ/ლ	0.0034	0.0040	0.0042	0.0056	0.03
16	მანგანუმი, მგ/ლ	0.0235	0.0253	0.0257	0.0123	0.1

თითქმის ანალოგიური ვითარებაა 2024 წელსაც. ოთხიდან სამ მდინარეზე გარდა მდ. ლოჭინისა ამონიუმის აზოტით დაბინძურება კვლავ ფიქსირდება, თუმცა მდ. ვერეზეც და დიღმისწყალზეც შემცირებულია ხოლო გლდანისხეზე მომატებულია 2015 წლის მონაცემებთან შედარებით. აგრეთვე აღსანიშნავია 2024 წელს მდ. ვერეს და დიღმისხევის წყალში რკინის კონცენტრაციის მატება, გადაჭარბება შეადგენს, შესაბამისად (ზდკ 0.3 მგ/ლ) 0,0718 მგ/ლ-ს და 0,0599 მგ/ლ-ს. დანარჩენი ყველა მახასიათებლები არ აჭარბებს ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციებს.

ექსპერიმენტული შედეგები და განსჯა

წყლის კლასიფიკაცია ხარისხის მაჩვენებლის ინტეგრალუბის საშუალებით

წყალსატევებში წყლის დაბინძურების ხარისხისა და მისი კლასის დადგენის გამოსავლენად ყველაზე პოპულარულ და მიღებულ მეთოდად ითვლება დაბინძურების ჰიდროქიმიური ინდიკატორების გამოყენებით მდინარის წყლის ინდექსის გამოთვლა.

წყლის დაბინძურების ინდექსი როგორც წესი გამოითვლება არანაკლებ 6-7 ჰიდროქიმიური მახასიათებლის მიხედვით (ჩვენს შემთხვევაში ავირჩიეთ 8 ჰიდროქიმიური ინდიკატორი). მათი ნაწილი (pH, გახსნილი ჟანგბადი, ჟმპ) ითვლება აუცილებელ მახასიათებლებად.

წყლის დაბინძურების ინდექსი (S) გამოითვლება შემდეგნაირად :

$$s = \sum_{i=1}^N \frac{\frac{C_i}{\text{ზდკ}_i}}{N}$$

სადაც:

C_i -არის მახასიათებლის მაჩვენებელი (საშუალო წლიური, საშუალო თვიური, და ა.შ.), N -მახასიათებლების რიცხვი, ზდკ-შესაბამისი მახასიათებლისათვის დადგენილი ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაცია. დაბინძურების სიდიდიდან გამომდინარე, წყლის დაბინძურების ინდექსს ყოფენ კლასებად. წყლის დაბინძურების ინდექსს იყენებენ დროისა და დინების მიხედვით წყლის ხარისხის ცვლილების გამოსავლენად.

ცხრ. 5-ში მოცემულია იმ ჰიდროქიმიური ინდიკატორების ნუსხა, რომლებიც ჩვენის აზრით, მეტნაკლებად დაახასიათებდნენ მდ. მტკვრისა და მისი ზოგიერთი შენაკადის წყლებს და რომლებიც შემდგომ გამოყენებულ იქნენ შესაბამის გამოთვლებში. [2]

ცხრილი 5. მდ. მტკვრის აუზის და მისი ზოგიერთი შენაკადებისათვის
შერჩეული ხარისხის ინდიკატორები [7]

ინდიკატორი	ზდკ
pH	6.5-8.5
BOD	3 (mg/l)
NO_2^-	1.1 “---
NO_3^-	10 “---
NH_4^+	0.39 “---
PO_4^{3-}	3.5 “---
Fe	0.3
Pb	0.03

მიღებული შედეგების საფუძველზე, მდინარეების კლასიფიკაციები (ანუ დაბინძურების ხარისხის კლასი) შეფასდა ცხრილ 6-ში მოცემულ სიდიდეების მიხედვით.

**ცხრილი 6 დაბინძურების ინდექსიდან გამომდინარე წყლის
ხარისხის კლასიფიკაცია**

წყალი	წყლის დაბინძურების ინდექსის მნიშვნელობა	წყლის ხარისხის კლასი
ძალიან სუფთა	0.2- მდე	1
სუფთა	0.2 - 1.0	2
ზომიერად დაბინძურებული	1.0 - 2.0	3
დაბინძურებული	2.0 – 4.0	4
ჭუჭყიანი	4.0 – 6.0	5
ძალიან ჭუჭყიანი	6.0 – 10.0	6
უკიდურესად ჭუჭყიანი	>10.0	7

აღნიშნული მეთოდის გამოყენებით, და შერჩეული 8 მახასიათებლის გამოყენებით (pH, ჟბმ, ნიტრატის აზოტი NO₂⁻, ნიტრატის აზოტი NO₃⁻, ამონიუმის აზოტი NH₄⁺, ფოსფატები PO₄³⁻, რკინა Fe და ტყვია Pb) მოხდა მდინარე მტკვრისა და თბილისის ტერიტორიაზე მისი მცირე შენაკადების დაბინძურების დონის დადგენა.

მაგ:

მდ. მტკვარი ბორჯომი 2015-2016

$$s = \frac{\frac{8.25^{pH}}{7.5} + \frac{1.43^{BOD_5}}{6} + \frac{0.041^{NO_2}}{3.3} + \frac{0.832^{NO_3}}{45} + \frac{0.256^{NH_4}}{0.39} + \frac{0.068^{PO_4}}{3.5} + \frac{0.198^{Fe}}{0.3} + \frac{0.0099^{Pb}}{0.03}}{8} =$$

$$= \frac{1.100 + 0.238 + 0.012 + 0.018 + 0.656 + 0.019 + 0.659 + 0.329}{8} = 0.3790$$

აღნიშნული მეთოდი გამოვიყენეთ ყველა საკვლევ პუნქტზე და შენაკადზე რომელთა შედეგები წარმოდგენილია შემდეგ ცხრილში:

**ცხრ.7 მდინარე მტკვრისა და თბილისის მცირე შენაკადების დაანგარიშებული
ინდექსი და მინიჭებული კლასი**

მდინარე/პუნქტი	2015-2016	2015-2016	2023-2024	2023-2024
	ინდექსი	კლასი	ინდექსი	კლასი
მტკვარი ხერთვისი	0.2028	2	0.1985	1
მტკვარი ბორჯომი	0.3790	2	0.5049	2
მტკვარი ზაჰესი	0.3610	2	0.5160	2
მტკვარი ვახუშტის ხიდი	0.4406	2	0.5159	2
მტკვარი გაჩიანი	0.4473	2	0.4152	2
მტკვარი რუსთავი	0.5240	2	0.5164	2
ვერე	0.9881	3	0.8442	2
დიღმისწყალი	0.7052	2	0.6280	2
გლდანისხევი	0.6646	2	0.8488	2
ლოჭინი	0.4624	2	0.4010	2

დასკვნა. ჩატარებული კვლევების შედეგად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მდ. მტკვრის წყლის ხარისხი ორივე პერიოდში (2015-2016 და 2023-2024) უარესდება მათი დინების მიმართულების მიხედვით, თუმცა მისი წყლის დაბინძურების კლასი თითქმის ყველა დაკვირვების წერტილებში იდენტიფიცირებულ იქნა როგორც „სუფთა“ (ინდექსი 2). ანუ შეგვიძლია ვთქვათ, რომ მდ. მტკვრის ეკოლოგიური მდგომარეობა 2015წლიდან 2025 წლამდე ჯერჯერობით არ გაუარესებულა (ცხრ.7).

რაც შეეხება მცირე შენაკადებს, მათგან გამოიკვეთა მდინარე ვერე - როგორც „ზომიერად დაბინძურებული“ მდინარე (2015-2016წწ.) - ინდექსი 3, 2023-2024 წლის მაჩვენებლებით კი ის ჯდება სუფთა კლასიფიკაციის ფარგლებში (ინდექსი 2), თუმცა მაჩვენებლების სიდიდე მიგვანიშნებს, რომ მდ. ვერე ამ პერიოდშიც ახლოსაა ინდექს 3-ის მაჩვენებლებთან რაც ყურადსაღებია.

შეგვიძლია ვთქვათ, რომ საქართველოს ძირითადი ტრანსსასაზღვრო მდინარე მტკვრის ეკოქიმიური მდგომარეობა შეესაბამება ნორმის ფარგლებს, თუმცა აუცილებელია მასზე ანთროპოგენული დატვირთვის მკაცრი კონტროლი, რათა არ გაუარესდეს ის მდგომარეობა, რომელიც გააჩნია მას ამჟამად.

რაც შეეხება მცირე მდინარეებს, როგორც ვხედავთ, მათ კიდევ უფრო მეტი ყურადღებით უნდა მოეპყროს მოსახლეობა, რათა ამ ტიპის მდინარეები (წყალმცირობის გამო) ბევრად უფრო სენსიტიურები არიან დაბინძურების მიმართ.

- ჩვენს მიერ წლების დაკვირვების შედეგად შეიძლება ვთქვათ, რომ მდ. მტკვრის წყალი მკვეთრად გამოხატული ჰიდროკარბონატულია Ca-ის შედარებით მაღალი შემცველობით.
- მდ. მტკვრის წყლის ფაზაში ანთროპოგენული დატვირთვით გამოწვეულ ინგრედიენტთა სახით შეიძლება გამოვყოთ აზოტის ფორმები (NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+), განსაკუთრებით ამონიუმის იონები, რომელთა შემცველობა ზოგჯერ (ხშირად კი წყალმცირობის პერიოდში) წყლის ფაზაში აჭარბებს შესაბამის ზღვას მნიშვნელობას. მათი კონცენტრაციები, ისევე როგორც დამაბინძურებელი კომპონენტების უმრავლესობის შემცველობები წყალში იზრდება მდინარის დინების მიმართულებით და თავის მაქსიმუმს აღწევს თბილისი-რუსთავის რეგიონში.
- ჭბმ-ის კონცენტრაციები ყველა შემთხვევაში მდინარის დინების მიმართულებით მკვეთრად იზრდება.
- მდ. მტკვრის წყლის დაბინძურების ინდექსი დაწყებული თურქეთის საზღვრიდან (დ. ხერთვისი) დამთავრებული წითელ ხიდამდე (აზერბაიჯანის საზღვარი) იზრდება თითქმის 2-3 ჯერ.
- განხილული წლების მონაცემების მიხედვით, წყლის კლასიფიკაციიდან გამომდინარე, მდ. მტკვარი რჩება ხარისხით სუფთა (კლასი 1), თუმცა მისი მდგომარეობა ქვედა კვეთში (თბილისი-რუსთავი) უარესდება და შესაბამისად უახლოვდება კლას 3-ს.
- მცირე მდინარეებიდან გამოიკვეთა მდინარე ვერე, რომლის ინდექსის მაჩვენებელმა მიაღწია 3-ს (2015-2016წწ.) რაც შეესაბამება ზომიერად დაბინძურებული მდინარის კლასს.

ლიტერატურა - References-Литература

1. Surface water resources of the USSR, volume 9, Hydrometeoizdat, Leningrad, 1974.
2. Fomin G.S. Water: Control of chemical, bacterial and radiation safety according to international standards. Handbook, "Protector". 2010.
3. Guseva T.V. Hydrochemical indicators of the state of the environment. / - M.: FORUM: INFRA - M, 2010.
4. European Union Water Framework Directive (2000/60/EC).
5. Law of Georgia on Water Resources Management.
6. Tbilisi City Hall Environmental Strategy 2015-2020.
7. Resolution of the Government of Georgia No. 425 "Technical Regulations for the Protection of Surface Waters of Georgia from Pollution".
8. Data was obtained from the National Environmental Agency.

UDC: 551.510.41:628.54

Assigning a water quality classification to the Mtkvari River and some of its small tributaries and assessing changes in their ecological status based on comparative analysis (20015-20016, 2023- 2024)/Mdivani S., Buachidze N. / Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.142-149. - Georg., Summ. Georg., Eng. Rus

Within the framework of the study, the water quality was determined, and accordingly, their classification was assigned in the following points of the Mtkvari River: Khertvisi, Borjomi, Zahesi, Vakhushti Bridge (Tbilisi), Gachiani, Rustavi, and some of its tributaries in the Tbilisi area: Gldaniskhevi, Dighmitskali, Vere, and Lochini, through their hydrochemical indicators. 8 indicators were used according to the recommendations of the Water Framework Directives of the European Union countries (2000/60/EC), through which the water quality was determined in the above-mentioned points of the Mtkvari River and its adjacent tributaries. Also, changes in the ecological status of the study rivers between 2015-2016 and 2023-2024 were assessed based on a comparative analysis.

УДК: 551.510.41:628.54

Присвоение классификации качества воды реке Мтквари и некоторым ее малым притокам и оценка изменений их экологического состояния на основе сравнительного анализа (20015-20016, 2023-2024 гг.)/ Авторы: Мдивани С., Буачидзе Н. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. – том 136. - с.142-149. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В рамках исследования было определено качество воды и соответственно присвоена ее классификация в следующих пунктах реки Мтквари: Хертвиси, Боржоми, Загеси, мост Вахушти (Тбилиси), Гачиани, Рустави и некоторых ее притоках в районе Тбилиси: Глданисхеви, Дигомисцкали, Вере и Лочини по их гидрохимическим показателям. Были использованы 8 показателей согласно рекомендациям Рамочных директив по воде стран Европейского Союза (2000/60/ЕС), по которым определялось качество воды в вышеуказанных пунктах реки Мтквари и ее прилегающих притоках. Также на основе сравнительного анализа оценены изменения экологического состояния исследуемых рек в период 2015–2016 и 2023–2024 годов.

doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-150-154

UDC: 551.510.41:628.54

Determination of Water Quality Classification of Tskhenistskali and Lukhuni Rivers According to Hydrochemical Indicators

Lali Shavliashvili, Gulchina Kuchava, Mariami Tabatadze, Ekaterine Shubladze

Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

shavliashvililali09@gmail.com

Abstract. The paper discusses the physicochemical and hydrochemical characterisation of the waters of the rivers (Lukhuni and Tskhenistskali) in the areas adjacent to the arsenic processing enterprises of the Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti region.

The paper summarises multi-year (2021-2024) data on the studied rivers. Based on the obtained results, the ecological condition of the rivers was assessed. Using the proposed equation and chemical indicators (Water Framework Directive-2000/60/EC), the river pollution index and river water quality were determined. According to the pollution index, both rivers were assigned water quality class 1 and belonged to the "clean" category.

Keywords: Rivers, hydrochemistry, pollution, pollution index, water quality.

Introduction. The region of Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti is one of the mining regions of Georgia, where arsenic ores have been mined, processed, and arsenic-containing compounds produced for decades.

To this day, in the villages of Uravi and Tsana, in the territory of the former factory, large batches of toxic waste (more than 130 thousand tons of waste containing 4-9% white arsenic) left over from the production of arsenic from the Soviet period are stored [1,2]. Currently, both deposits are conserved, and no arsenic is produced.

The main mechanism for the spread of arsenic wastes is related to the leaching and transport of toxic wastes by atmospheric precipitation and flood waters. They accumulate in the soil, where soil contamination with arsenic significantly exceeds the norm [3-5]. In the oxidation zone, after some time, arsenic from waste sulfide ores and incinerators can be converted into a mobile (soluble) form [6,7], which is easily transported to rivers [3,4], plants [8-10] and living organisms.

Tskhenistskali River is a water-rich river of Western Georgia, which originates from the eternal snow on the southern slope of the Svaneti Caucasus and joins the Rioni River. The length of the Tskhenistskali River is 176 km.

The River Lukhuni, in the Ambrolauri municipality, is the right tributary of the river Rioni. It originates on the southern slope of the Lechkhumi ridge at an altitude of 2650 m above sea level, the length of which is 39 km, and the area of the basin is 239 km^2 [11].

Study area and methods. The paper presents the physicochemical and hydrochemical characterisation of the waters of the rivers (Lukhuni and Tskhenistskali) in the areas adjacent to the arsenic processing enterprises of the Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti region. To solve the set tasks, river water sampling points were selected from the background and polluted areas in the Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti region.

1. River Lukhuni - Upper Uravi;
2. River Lukhuni - 100 m below the sarcophagus;
3. River Tskhenistskali - Upper Tsana;
4. River Tskhenistskali - below Lentekhi.

The following physicochemical and hydrochemical parameters were determined in the water samples: pH, electrical conductivity, biogenic substances - NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , major ions, mineralization, a common form of arsenic, copper, zinc, and lead [12].

Analyses were carried out using modern methods and equipment that correspond to European standards:

1. Ion-chromatograph-IC-1000; ISO100304-1:2007
2. Spectrophotometric method - SPECORD 205; ISO 7150-1: 2010;
2. Plasma-emission spectrometer - ICP-OES; EPA method 200.8;
4. Field portable equipment - Hanna Combo pH/EC/TDS/PPM Tester HI98129;
5. pH meter - Milwaukee 150.

Analysis of results. Focusing on the rivers we studied is not accidental, because the Lukhuni and Tskhenistskali rivers are tributaries of the Rioni River, the main source of drinking water for the city of Kutaisi. They are also used for irrigation, so the hydrochemical study of the research rivers of the region is of great importance.

Among the biogenic compounds, it is worth noting the inorganic nitrogen compounds that can be formed in water by the decomposition of nitrogen-containing organic compounds. They can also get into surface waters through atmospheric precipitation, leaching of fertilizers from the soil, and industrial and household wastewater. To ensure a safe environment for

health, it is important to study the distribution of nitrogen-containing substances in river waters and to evaluate the quality of water.

As can be seen from Table 1 and Fig. 1, the average content of ammonium ions in the research rivers changes from 0.322 to 0.391 in the Tskhenistskali River and in the Lukhuni River 0.365-0.576 mg/l. In both rivers, the content of nitrites varies from 0.057 to 0.176, nitrates from 0.480 to 0.583 mg/l, and in no case does it exceed the maximum allowable concentration. However, it should be noted that in some cases their high content was recorded, and in the case of mediation, these indicators decreased.

Of the heavy metals, attention is focused on copper, lead, zinc, and arsenic. Their content in the river water is within the norm, which is due to the dilution and self-cleaning processes of the river water.

Table 1. Tskhenistskali and Lukhuni Rivers' average multi-year data (2021-2024)

N	Ingredient	Rivers			
		Tskhenistskali (Tsana upper)	Tskhenistskali (Tsana below)	Lukhuni (Uravi upper)	Lukhuni (Uravi below)
1	pH	7.5	7.6	7.8	7.7
2	Ammonium, mgN/l	0.322	0.391	0.576	0.365
3	Nitrites, mg/l	0.057	0.060	0.081	0.176
4	Nitrates, mg/l	0.515	0.583	0.480	0.576
5	Phosphates, mg/l	0.020	0.024	0.036	0.038
6	Calcium, mg/l	52.39	49.85	28.63	24.64
7	Magnesium, mg/l	8.98	11.80	6.61	7.39
8	Mineralization, mg/l	300.23	304.58	180.75	169.05
9	Arsenic, mg/l	0.0059	0.0033	0.0028	0.0042
10	Copper, mg/l	0.0084	0.0064	0.0068	0.0085
11	Zinc, mg/l	0.0432	0.0244	0.0118	0.0105
12	Lead, mg/l	0.0040	0.0032	0.0021	0.0037

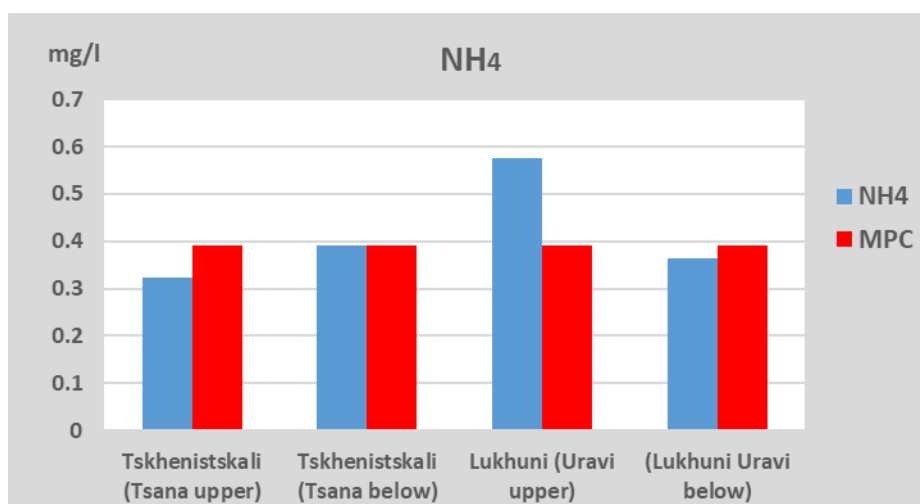


Figure 1. The average content of ammonium ions in the rivers Tskhenistskali and Lukhuni (2021-2024)

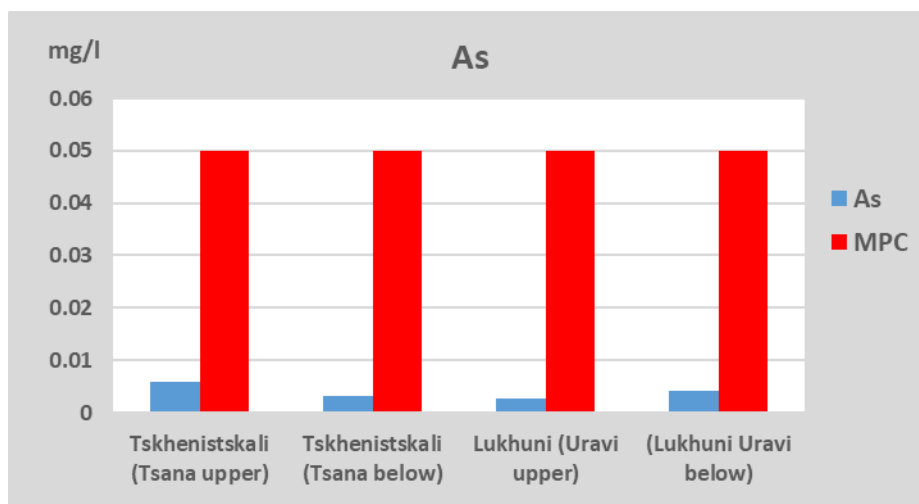


Figure 2. The average content of arsenic in the rivers Tskhenistskali and Lukhuni (2021-2024)

According to the recommendations of the Water Framework Directives of the European Union countries (2000/60/EC), the water pollution index (S) was calculated for assigning the classification of surface waters, for the calculation of which at least 6 or 7 hydrochemical indicators (indicators) are required. In our case, the average multi-year data of 9 hydrochemical and physicochemical indicators were used in the calculations. The pollution index was calculated according to equation 1 [13]:

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{C_i/MAC}{N} \quad (1)$$

C_i is the concentration of the hydrochemical indicator;

MAC - Maximum Allowable Concentration of hydrochemical component;

N is the number of indicators used in calculations.

Table 2 provides a list of hydrochemical and physicochemical indicators, which, in our opinion, more or less characterize the water quality of the selected rivers and which will be used in the subsequent calculations.

Table 2. Tskhenistskali and Lukhuni rivers' water quality indicators

Indicators		MAC*
1	pH	6,5-8,5
2	Ammonium, mgN/l	0.39
3	Nitrites, mg/l	3.3
4	Nitrates, mg/l	45
5	Phosphates, mg/l	3.5
6	Arsenic, mg/l	0.05
7	Copper, mg/l	1.0
8	Zinc, mg/l	1.0
9	Lead, mg/l	0.03

MAC* - The maximum allowable concentration of surface water by the technical regulations (Decree of the Government of Georgia N 425, December 31, 2013, Tbilisi) [14]

Based on the obtained results, river classifications (pollution quality class) were evaluated according to the values given in Table 3, proposed by the European Directive.

Table 3. Water quality classification assessment of pollution using indexes

Surface water	Pollution index	Water quality class
clean	0.2 - 1.0	1
moderately contaminated	1.0 - 2.0	2
contaminated	2.0 - 4.0	3
dirty	4.0 - 6.0	4
very dirty	>6.0	5

As a result of entering the given values from Table 2 into Equation 1, the pollution index of the river itself was obtained (Table 4), based on which they were assigned the appropriate water quality class.

Table 4. Water quality classifications are assigned according to pollution indices Tskhenistskali and Likhuni rivers

River		Pollution index	Water quality class
1	Tskhenistskali (Tsana upper)	0.2	1
2	Tskhenistskali (Tsana below)	0.3	1
3	Likhuni (Uravi upper)	0.3	1
4	Likhuni (Uravi below)	0.3	1

According to the data, the studied rivers - Tskhenistskali and Likhuni were classified according to the pollution index in the "clean" category and belong to the first class of water quality.

Conclusion

1. Tskhenistskali and Likhuni rivers were chosen as research objects since they represent the main water arteries of the Racha-Lechkhumi and Kvemo-Svaneti region, which are under a certain anthropogenic load;
2. The paper summarises the multi-year (2021-2024) results of the environmental assessment of these rivers. Physico-chemical and hydrochemical indicators were determined in the water samples.
3. River pollution rate and river water quality were determined (Water Framework Directive-2000/60/EC);
4. It was established that both rivers were assigned water quality class 1 according to the pollution index and belonged to the "clean" category.

ლიტერატურა - References-Литература

1. G. Aleksidze, R. Lolishvili - the main aspects of environmental pollution in Georgia. - Proceedings of the international scientific conference "Modern technologies for the production of ecologically clean products for the sustainable development of agriculture", Tbilisi, pp. 33-45, 2016;
2. N. Bagrationi "Study of arsenic industrial waste disposal conditions and ecological assessment of their distribution area", auto-abstract, Tbilisi, 2016;
3. G. Avkopashvili, M. Avkopashvili, A. Gongadze, R. Gakhokidze - Eco-Monitoring of Georgia's Contaminated Soil and Water with Heavy Metals - Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences - vol. 12, No. 2, pp. 595-604, 2017;

4. Shavliashvili L., Bakradze E., Arabidze M. and Kuchava G. - Arsenic pollution study of the rivers and soils in some of the regions of Georgia". International Journal of Current Research Vol. 9, Issue, 02, pp.47002-47008, February, 2017;
5. L. Shavliashvili, M. Arabidze, E. Bakradze, G. Kuchava, M. Tabatadze - Chemical research of arsenic content in soils of Ambrolauri municipality - Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the Technical University of Georgia, Vol. 129, pp. 84-90, 2020;
6. N. Bagrationi "Study of arsenic industrial waste disposal conditions and ecological assessment of their distribution area", auto-abstract, Tbilisi, 2016;
7. N. Bagrationi, L. Hvadtsiteli, V. Gvakharia, A. Chirakadze, T. Sharashidze. Description of the environmental conditions of arsenic waste storage and storage facilities. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, #4, 2014;
8. D. Tughashvili - "Distribution of arsenic in vegetable food products of Georgia", auto-abstract, Tbilisi, 2006.
9. Felix-Henningsen P., Steffens D., Urushadze T., Narimanidze E. & Kalandadze B. - Uptake of Heavy metals by food crops from highly polluted kastanozems in an irrigation district south of Tbilisi, Eastern Georgia - In L. King L & Khubua G (Eds.); Georgia in Transition. Zeitschrift f. Internationale Entwicklungs- und Umweltforschung, m 26, 2065-2084, 2009;
10. Gongadze, A., Matchavariani, L., Avkopashvili, M., Avkopashvili, G. - Accumulation and distribution of heavy metals in Soils from the explosions by mining-processing poly-metallic plant - 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM, vol. 18, Issue: 3.2, 11-17, 2018;
11. Maruashvili L. - *Physical geography of Georgia* - "Cidna" publishing house, Tbilisi, 1964;
12. Fomin G.S., Fomin A.G. - Water. Quality control and environmental safety according to international standards. Handbook. Moscow, 2001;
13. Research on the pollution of the ecosystems of Kvemo Kartli and its impact on the safety of food products - monograph - publishing house "Universal", 164 pp., 2022;
14. Maximum permissible concentration by the technical regulation of surface water (Decree of the Government of Georgia N 425, December 31, 2013, Tbilisi).

უაგ: 551.510.41:628.54

მდ. ცხენისწყალი და ლუხუნის წყლის ხარისხის კლასიფიკაციის დადგენა ჰიდროქიმიური ინდიკატორების მიხედვით. შავლიაშვილი ლ., კუჭავა გ., ტაბატაძე მ., შუბლაძე ე. სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2025.-ტ.136.-გვ. 150-154. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ნაშრომში განხილულია რაჭა-ლეჩხუმის და ქვემო სვანეთის რეგიონის დარიშხანის გადამამუშავებელი საწარმოების მიმდებარე ტერიტორიებზე არსებული მდინარეების (ლუხუნი და ცხენისწყალი) წყლების ფიზიკურ-ქიმიური და ჰიდროქიმიური დახასიათება.

ნაშრომში შეჯამებულია საკვლევი მდინარეების მრავალწლიური (2021-2024) მონაცემები. მიღებული შედეგების საფუძველზე შეფასდა მდინარეების ეკოლოგიური მდგომარეობა. შემოთავაზებული განტოლებისა და ქიმიური მაჩვენებლების გამოყენებით განისაზღვრა მდინარეების დაბინძურების ინდექსი და შეფასდა მდინარის წყლის ხარისხი. ორივე მდინარეს დაბინძურების ინდექსის მიხედვით მიენიჭა წყლის ხარისხის 1 კლასი და მიეკუთვნა „სუფთა“ კატეგორიას.

УДК: 551.510.41:628.54

Определение классификации качества воды рек Цхенисцкали и Лухуни по гидрохимическим показателям. Шавлиашвили Л., Кучава Г., Табатадзе М., Шубладзе Е. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. - том 136. - с. 150-154. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье рассматривается физико-химическая и гидрохимическая характеристика вод рек (Лухуни и Цхенисцкали) на территориях, прилегающих к предприятиям по переработке мышьяка региона Рача-Лечхуми и Квемо Сванети.

В статье обобщены многолетние (2021-2024 гг.) данные по исследованным рекам. На основании полученных результатов дана оценка экологического состояния рек. С использованием предложенного уравнения и химических индикаторов (Рамочная водная директива 2000/60/ЕС) были определены индекс загрязнения реки и качество речной воды. По индексу загрязнения обеим рекам присвоен 1 класс качества воды и они относятся к категории «чистые».