



საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
სამეცნიერო რეფერირებადი შრომები

**SCIENTIFIC REVIEWED PROCEEDINGS
OF THE INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY**

№ 139



**ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური
პრობლემები**

ემდგნება საქართველოში ქრისტიანობის სახელმწიფო რელიგიად გამოცხადების
1700 წლისთავს

**PRESSING PROBLEMS IN HYDROMETEOROLOGY AND
ECOLOGY**

Dedicated to the 1700th anniversary of Christianity being declared the state religion in Georgia

თბილისი-Tbilisi
2026

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის
სამეცნიერო რეფერირებადი შრომები
ტომი N139

ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური
პრობლემები

ეძღვნება საქართველოში ქრისტიანობის სახელმწიფო რელიგიად გამოცხადების 1700 წლისთავს

SCIENTIFIC REVIEWED PROCEEDINGS
OF THE INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
VOL. № 139

PRESSING PROBLEMS IN HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

Dedicated to the 1700th anniversary of Christianity being declared the state religion in Georgia

НАУЧНЫЕ РЕФЕРИРУЕМЫЕ ТРУДЫ
ИНСТИТУТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

**АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ
ТОМ №139**

Посвящается 1700-летию провозглашения христианства государственной религией в Грузии

©	საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY ИНСТИТУТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА	2026
---	--	------

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

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

ელექტრონული ვერსია
 Electronic version

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

წინამდებარე კრებულში შესულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის 73-ე მაისის სამეცნიერო სესიაზე მოხსენილი 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 73-rd 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 73-ей 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	
რწმენისა და გონიერების სინერგია – მეცნიერების განვითარების ახალი ეტაპი	7
მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების შეფასება დასავლეთ საქართველოში. ბასილაშვილი ც.ზ. Assessment of Changes in River Runoff in Western Georgia. Basilashvili Ts.Z. Оценка изменения водности рек Западной Грузии. Басилашвили Ц.З.	8
მდინარეთა წყლიანობის მიმდინარე და მოსალოდნელი ცვლილება აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალი ჰავის პირობებში. ბასილაშვილი ც.ზ., ჯანელიძე მ.გ., ბასილაშვილი ხ.გ. Current and Projected Changes in River Runoff under the Dry Climatic Conditions of Eastern Georgia. Basilashvili Ts. Z., Janelidze M. G., Basilashvili Kh. G. Текущее и ожидаемое изменение водности рек в условиях сухого климата Восточной Грузии. Басилашвили Ц.З. Джanelidze М.Г., Басилашвили Х.Г.	18
მდინარეთა თერმული რეჟიმის ფორმირების თვისებები მდინარე ენგურის მაგალითზე. ს.გორგიჯანიძე, გ.ფიფია, გ.ჯინჩარაძე, თ.ჩიტაძე, ნ.კობახიძე, გ.გრიგოლია, გ.გაჩეჩილაძე Features of the formation of the thermal regime of rivers on the example of the Enguri River. S.Gorgijanidze, G.Pipia, G.Jincharadze, T.Chitadze, N.Kobakhidze, G.Grigolia, G. Gachechiladze Особенности формирования термического режима рек на примере реки Энгури. С. Горгиджанидзе, Г.Пипия, Г.Джинчарадзе, Т.Читадзе, Н.Кобахидзе, Г.Григолия, Г. Гачечиладзе	29
მდინარე იორის აუზის მართვის სტრატეგიული დაგეგმვის საკითხისათვის. გულაშვილი, ზ., ტრაპაიძე, ვ., ფიფია, გ., ჯინჩარაძე, გ., ჩიტაძე, თ., კობახიძე On the issue of strategic planning for the management of the Iori River basin. Gulashvili, Z., Trapaidze, V., Pipia, G., Jincharadze, G., Chitadze, N. Kobakhidze По вопросу стратегического планирования управления бассейном реки Иори. Гулашвили, З., Трапайдзе, В., Пипия, Г., Джинчарадзе, Г., Читадзе, Т., Кобахидзе, Н.	37
ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების როლი კლიმატის გლობალური დათბობის პირობებში და მათი აღდგენის მნიშვნელობა. მდივანი სოფიო The Role of Wetlands and Marshes in the Context of Global Warming and the Importance of Their Restoration. Mdivani Sophio Роль водно-болотных угодий и болот в условиях глобального потепления и важность их восстановления. Мдивани Софио	43
აბასთუმნის შემოვლითი გზის გარემოს მიკროკლიმატზე ზემოქმედების შეფასება. ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ც., ელიზბარაშვილი შ., სულხანიშვილი ნ. Assessment of the impact of the Abastumani bypass road on the microclimate of the environment. Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Diasamidze Ts., Elizbarashvili ., Sulxhanishvili N. Оценка воздействия Абастуманьской объездной дороги на микроклимат окружающей среды. Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Ц., Элизбарашвили, Сулханишвили Н.	47
ექსტრემალური ტემპერატურების თანამედროვე ცვლილების ტენდენციები სამცხე-ჯავახეთში. ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ც., ელიზბარაშვილი შ., ჭელიძე ნ. Current Trends of Extreme Temperature Changes in Samtskhe-Javakheti. Elizbarashvili, E., Elizbarashvili, M., Diasamidze, T., Elizbarashvili, Sh., Chelidze, N. Современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавахеги. Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Т., Элизбарашвили Ш., Челидзе Н.	52

<p>მტკვრის წყალსაცეცების კასკადის ექსპლუატაციის მოსალოდნელი გავლენა მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე.ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ც., ელიზბარაშვილი შ. Expected Impact of the Operation of the Mtkvari Reservoir Cascade on Microclimatic Changes. Elizbarashvili, E., Elizbarashvili, M., Diasamidze, T., Elizbarashvili, Sh. Ожидаемое влияние эксплуатации каскада водохранилищ Мтквари на микроклиматические изменения. Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Т., Элизбарашвили Ш.</p>	58
<p>წალექების განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე 2016-2022 წლების მონაცემების მიხედვით . მიხეილ ფიფია, ნაზიბროლა ბეგლარაშვილი, ნინო ჯამრიშვილი, ნინო შავიშვილი Precipitation distribution in Georgia according to data for 2016-2022 . Mikheil Pipia, Nazibrola Beglarashvili, Nino Jamrlishvili, Nino Shavishvili Распределение осадков в Грузии по данным за 2016-2022 годы . Михаил Пипия, Назиброла Бегларашвили, Нино Джамришвили, Нино Шавишвили</p>	67
<p>ციტრუსოვანი კულტურების აგრომეტეოროლოგიური მახასიათებლები და ფენოლოგიური პროგნოზები კლიმატის თანამედროვე პირობებში .მაია მელაძე, გიორგი მელაძე Agrometeorological characteristics and phenological forecasts of citrus under modern climate conditions. Maia Meladze, Giorgi Meladze Агrometeorологические характеристики и фенологические прогнозы цитрусовых культур в современных климатических условиях .Майя Меладзе, Гиоргий Меладзе</p>	72
<p>კლიმატის ცვლილების ფონზე საქართველოს ზამთრის მთის კურორტებზე თოვლის საფარის ცვლილების კანონზომიერებები .ლიანა ქართველიშვილი, ლიანა მეგრელიძე Regularities of snow cover changes in winter mountain resorts of Georgia against the background of climate change . Liana Kartvelishvili, Lia Megreliдзе Закономерности изменений снежного покрова на зимних горных курортах Грузии на фоне изменения климата . Лиана Картвелишвили, Лиа Мегрелидзе</p>	80
<p>კლიმატური ფაქტორები და დეკორატიული მცენარეების ეკოლოგიური ადაპტაცია .ქამადაძე დალი, ჯაბნიძე ნანა Climatic Factors and Ecological Adaptation of Ornamental Plants.Kamadadze Dali, Jabnidze Nana Климатические факторы и экологическая адаптация декоративных растений. Камададзе Дали, Джабнидзе Нана</p>	82
<p>აჭარის მაღალმთიანეთში გავრცელებული <i>Lilium ponticum</i> K. Koch-ის ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთები . დ. ბერიძე, ა. ბაკურიძე, მ. მეტრეველი, მ. ჯოხაძე Biologically active compounds of <i>Lilium ponticum</i> K. Koch distributed in the highlands of Adjara. D. Beridze, A. Bakuridze, M. Metreveli, M. Jokhadze Биологически активные соединения <i>Lilium ponticum</i> K. Koch, распространённого в высокогорьях Аджарии . Д. Беридзе, А. Бакуридзе, М. Метревели, М. Джохадзе</p>	88
<p>კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ზეგავლენით აფხაზეთის მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის ცვლილება ბოლო 60 წლის განმავლობაში.ლარისა შენგელია, გენადი თვაური, მარიამ შენგელია Changes in the height of the firm line of Abkhazian glaciers over the last 60 years under the influence of modern climate change . Larisa Shengelia, Genadi Tvauri, Mariam Shengelia Изменения высоты фирновой линии абхазских ледников за последние 60 лет под влиянием современных климатических изменений . Лариса Шенгелия, Генади Тваური, Мариам Шенгелия</p>	95
<p>ატმოსფერული არამდგრადობის ინდექსებისა და ვერტიკალური პროფილების ანალიზი ძლიერი კონვექციური მოვლენების დროს. ინგა სამხარაძე, მარიკა ტატიშვილი, ნანული ზოტიკიშვილი Анализ индексов атмосферной неустойчивости и вертикальных профилей во время сильных конвективных явлений .Инга Самхарадзе, Марика Татишвили, Нанули Зотикишвили Analysis of Atmospheric Instability Indices and Vertical Profiles during Strong Convective Events. Inga Samkharadze, Marika Tatishvili, Nanuli Zotikishvili.</p>	101

შავი ზღვის გარემოსდაცვითი ინოვაციური მონიტორინგის სისტემა. კორძახია მარინა Black Sea Environmental Innovative Monitoring System. Kordzakhia Marina Инновационная система экологического мониторинга Чёрного моря. Марина Кордзахия	106
მდინარე იორის აუზის ჰიდროლოგიური რეჟიმი და წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის საჭიროება. კაპანაძე ნაილი, მკურნალიძე ირინე Hydrological Regime of the Iori River Basin and the Need for Integrated Water Resources Management. .Kapanadze N., Mkumalidze I. Гидрологический режим бассейна реки Иори и необходимость интегрированного управления водными ресурсами. .Капанадзе Н.И, Мкурналидзе И.П.	112
კონვექციური შტორმების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები და მეზომასტაბური ფაქტორების როლი. მკურნალიძე ირინე, კაპანაძე ნაილი, მელაძე მათა. Modern Methods for Forecasting Convective Storms and the Role of Mesoscale Factors. Kapanadze N., Mkumalidze I., Meladze M. Современные методы прогнозирования конвективных штормов и роль мезомасштабных факторов. Мкурналидзе И.П., Капанадзе Н.И., Меладзе М.Г.	118
ქ. ბათუმის ატმოსფეროს მიკრო ნაწილაკებით დაბინძურების კვლევა 2025 წლის ოპერატიული დაკვირვების მიხედვით .ა. სურმავა, ფ. სბრანა, ვ. კუხალაშვილი, ლ. ინჯირველი, ნ. გიგაური Study of c. Batumi Atmosphere Pollution with Microparticles According to 2025 Operating Observation. Aleksandre A. Surmava, Francesco Sbrana, Vepkhia G. Kukhalashvili, Natia G. Gigauri, Liana N. Intskirveli Исследование загрязнения атмосферы г. Батуми микрочастицами на основе данных оперативного наблюдения 2025 года. Сурмава А.А., Франческо Сбрана, Кухалашвили В.Г., Гигаури Н.Г., Инцкирвели Л.Н.	125
სტიქიური გეოლოგიური პროცესების ინვენტორული რუკის შედგენის პრინციპები ჭიათურის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე. რიკაძე ზ., შავლიაშვილი ლ., კუჭავა გ., შუბლაძე ე., გავარდაშვილი გ., მოდებაძე ს. Principles of compiling an inventory map of geological processes using the example of Chiatura Municipality. Rikadze Z., Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Gavardashvili G., Modebadze S. Принципы составления инвентаризационной карты стихийных геологических процессов на примере муниципалитета Чиатура. Рикадзе З., Шавлиашвили Л., Кучава Г., Шубладзе Е., Гавардашвили Г., Модებაдзе С.	137
როდონის ცვლილების ზოგიერთი პრობლემების შესახებ. გრებენჩუკი გ. On Some Issues in Radon Measurement. Grebenchuk H. О некоторых проблемах изменения родона. Гребенчук Г.	143
გარემოსდაცვითი განათლების განვითარების ახალი სტრატეგიული გზების დამუშავება. გუნია გარი, სვანიძე ზიზი. Developing new strategic ways to develop environmental education. Gunia Garry, Svanidze Zizi Разработка новых стратегических путей развития экологического образования. Гуния Гарри, Сванидзе Зизи	147
ჩვენი იუბილარები	152

რწმენისა და გონიერების სინერჯია – მეცნიერების განვითარების ახალი ეტაპი

საქართველოში ქრისტიანობის სახელმწიფო რელიგიად გამოცხადების ისტორიული 1700 წლის იუბილე არ არის მხოლოდ წარსულის გახსენება, ეს არის ერის სულიერი და ინტელექტუალური პოტენციალის გადაფასების საუკეთესო შესაძლებლობა. ქართული კულტურისა და ისტორიისთვის რწმენა და ცოდნა ყოველთვის იყო ურთიერთშემავსებელი. დღეს, როდესაც ქვეყანა ამ მნიშვნელოვან თარიღს აღნიშნავს, დროა, სახელმწიფო და საზოგადოებრივი ძალებისხმევა მივმართოთ ზუსტი და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების (STEM) განვითარებისკენ.

ისტორიულად, ქართული მონასტრები წარმოადგენდა განათლების, ფილოსოფიისა და მეცნიერების კერებს. გელათისა და იყალთოს აკადემიებში ხდებოდა თეოლოგიური აზრისა და მაშინდელი საბუნებისმეტყველო მეცნიერებების სინთეზი. დღეს კი, XXI საუკუნის გლობალურ კონკურენციაში, ეკონომიკური და ტექნოლოგიური პროგრესის მთავარი მამოძრავებელი ძალა სწორედ ზუსტი მეცნიერებებია.

საიუბილეო თარიღის ფარგლებში დაგეგმილი კულტურულ-საგანმანათლებლო და სამეცნიერო ღონისძიებები, შესანიშნავი ბაზაა იმისათვის, რომ:

- **გაძლიერდეს საბუნებისმეტყველო კვლევები:** ხელი შევუწყოთ ქართველი მეცნიერების ინტეგრაციას საერთაშორისო პროექტებში.
- **დაფასდეს ინტელექტი:** მეტი ინვესტიცია ჩაიდოს ახალგაზრდა თაობის განათლებაში, ზუსტ მეცნიერებებში ლაბორატორიების მოწყობასა და თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვაში.
- **აღდგეს ტრადიცია:** მოხდეს ისტორიული მემკვიდრეობის პოპულარიზება, როგორც საგანმანათლებლო რესურსის.

ქრისტიანული მორალი და რაციონალური აზროვნება ერთობლივად ქმნის საფუძველს ქვეყნის განვითარებისა და კრიტიკული აზროვნების ჩამოყალიბებისთვის. მეცნიერება არის სამყაროს შეცნობის ინსტრუმენტი, რაც ადამიანს სულიერად უფრო ამდიდრებს.

ეს საიუბილეო წელიწადი უნდა იქცეს ინიციატივად — რწმენისა და განათლების გაერთიანებისკენ, რათა საქართველო გახდეს რეგიონული ცენტრი ტექნოლოგიებისა და ზუსტი მეცნიერებების მიმართულებით. გონებრივი პოტენციალის განვითარება არის საუკეთესო გზა ჩვენი ქვეყნის მომავლისა და კეთილდღეობის უზრუნველსაყოფად.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-8-17

უკ. 551.482.215.3

მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების შეფასება დასავლეთ საქართველოში ბასილაშვილი ც.ზ.

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

რეზიუმე

მდინარეთა 21 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე წყლის ხარჯებზე დაკვირვებათა 1919 - 2023 წლების მონაცემებით განსაზღვრულია მათი საშუალო მრავალწლიური და ცალკეული ათწლეულების მნიშვნელობები, აგრეთვე თანმიმდევრულად ათწლეულების საშუალო ხარჯებს შორის სხვაობები. ამ სხვაობების ნიშნადობა ცალკეულ ათწლეულებში, ერთის გარდა, უმეტესად უარყოფითია, რაც ნიშნავს მდინარეთა წყლიანობის კლებას. მხოლოდ ერთ (1981 - 1990) ათწლეულში ყველა მდინარეზე ფიქსირდება წყლიანობის მატება, რაც მყინვარების დნობითა და უხვნალექიანობით იყო განპირობებული.

კლიმატური პროგნოზების მიხედვით, დასავლეთ საქართველოში ჰაერის ტემპერატურა 1971 - 2000 წლებთან შედარებით გაიზარდება 2041 - 2070 წლებში 1,6 - 2,9 °C და 2071 - 2100 წლებში 2,1 - 3,7 °C-ის ფარგლებში. ატმოსფერული ნალექები 8 - 10 %-ით გაიზარდება მხოლოდ შავი ზღვის სანაპიროებთან. მის აღმოსავლეთით კი, სიმაღლის მატებასთან ერთად ნალექები შემცირდება 4 - 15 %-ის ფარგლებში.

ასეთი პროგნოზების შესაბამისად მოსალოდნელია მყინვარებისა და მდინარეთა წყლიანობის შემცირება, განსაკუთრებით ზაფხულში. ზღვისპირა ზონაში კი, მომატებული აორთქლების კონდენსირება თავსხმა წვიმების სახით, გამოიწვევს საშიში მოვლენების რისკების გაზრდას.

მდინარეთა წყლიანობის მოსალოდნელი ცვლილების ეს შეფასება საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს ჰიდროტექნიკური ობიექტების პროექტირებისა და წყლის რესურსების დაზოგვისა და შევსების მიზნით ღონისძიებათა დაგეგმარების დროს. ზღვისპირა ზონებში კი, მდინარეებზე ნეგატიური მოვლენების შედეგების შერბილების მიზნით, უნდა დაიგეგმოს სათანადო პრევენციული ღონისძიებების ჩატარება.

საკვანძო სიტყვები: ატმოსფერული ნალექები, მრავალწლიური მონაცემები, მყინვარები, წყლის ხარჯები.

შესავალი

წყალი უპირველესი სასიცოცხლო მნიშვნელობის ბუნებრივი რესურსია, რომელიც აუცილებელია ადამიანთა, ცხოველთა სამყაროსა და მცენარეული საფარის არსებობისა და აგრეთვე ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებისათვის, რადგან მეურნეობის არცერთი დარგის წარმოება შეუძლებელია წყლის გარეშე.

საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული წყალი საქართველოს ეროვნული სიმდიდრეა და მას სახელმწიფო იცავს, რაშიც იგულისხმება წყლის ყველა ობიექტში არსებული წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენება, პირველ რიგში მოსახლეობის მოთხოვნილების დაკმაყოფილება სასმელ მტკნარ წყალზე.

საქართველოს წყლის ყველა ობიექტში არსებული წყლის ერთობლიობა ჰქმნის სახელმწიფო ფონდს. ამ ფონდს მიეკუთვნებიან: მდინარეები, ტბები, წყალსაცავები, ბუნებრივი და ხელოვნური წყალსატევები, არხებისა და ტბორების წყლები, მიწისქვეშა წყლები, წყაროები, მყინვარები, მუდმივი თოვლის საფარი და ჭაობები. საყურადღებოა, რომ მიწაზე საკუთრების უფლება არ იძლევა ამ მიწაზე არსებული ზედაპირული და მიწისქვეშა წყლებით სარგებლობის უფლებას, რადგან ეს ობიექტებიც წყლის სახელმწიფო ფონდის ნაწილია. საქართველოში მცხოვრები მოსახლეობა ვალდებულია უზრუნველყოს წყლის რაციონალური და მდგრადი გამოყენება, აგრეთვე მისი დაცვა, არ უნდა დაუშვას მისი დაზიანება, დანაგვიანება და დაშრება [1].

განსხვავებით წყლის სხვა ობიექტებისაგან, მდინარეებში მუდმივად მიედინება ყველასთვის ადვილად ხელმისაწვდომი მუდმივ განახლებადი მტკნარი წყალი. სწორედ ამიტომ, დიდი თუ პატარა დასახლება ყველგან, ძირითადად, მდინარეთა გასწვრივ სანაპიროებთან არიან გაშენებული. მდინარეთა წყალი გამოიყენება მოსახლეობისა და საწარმოთა წყალმომარაგებისთვის, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სარწყავად, ელექტროენერჯის მისაღებად და სხვა.

აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ჰიდროენერგეტიკული რესურსების მიხედვით 1 კვ.კმ ფართობზე, საქართველოს მსოფლიოში ერთ-ერთი მოწინავე ადგილი უკავია. განსაკუთრებით დიდი ენერჯით გამოირჩევიან მდინარეები: ენგური, რიონი, ცხენისწყალი, კოდორი, ხრამი, მტკვარი და სხვა. ამჟამად საქართველოში მუშაობს 60-მდე ჰესი 10 მლრდ კვტ სთ გამომუშავებით. საერთოდ კი, შეიძლება იმუშაოს 300-მდე საშუალო და მცირე ჰესმა 40 მლრდ კვტ სთ გამომუშავებით [2].

ამრიგად, მდინარეთა წყლის რესურსების ასეთი მაღალი მნიშვნელობის გამო, აუცილებელია მათი წყლიანობის აღრიცხვა და შესწავლა, რაც წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენებისა და ჰიდროტექნიკური ობიექტების მდგრადი ფუნქციონირების გარანტიაა.

ძირითადი ნაწილი

კლიმატის მიმდინარე გლობალური დათბობის შედეგად ხდება მდინარეთა წყლის ჩამონადენის ტრანსფორმაცია. იცვლება მათი შიდაწლიური განაწილება, რადგან ზამთარში ზოგჯერ თოვლის მაგივრად, დადებითი ტემპერატურების გამო, მოდის წვიმა და იზრდება მდინარეთა წყლის ჩამონადენი. ასეთი ცვლილება აუმჯობესებს მათი წყლის გამოყენების პირობებს, მაგრამ მეორეს მხრივ, მდინარეთა მაღალი წყლიანობა გარკვეულ პრობლემებს ქმნის გარემოსათვის, რადგან ზაფხულში მაღალი ტემპერატურის პირობებში იზრდება აორთქლება, რომელთა კონდენსირება ზოგჯერ ხდება თავსხმა წვიმების სახით, რაც იწვევს მდინარეთა მაღალ წყალმოვარდნებს, ღვარცოფებსა და მეწყერებს, რის შედეგადაც იზრდება ნეგატიური შედეგების რისკები.

ვინაიდან დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოში მდინარეთა წყლის ჩამონადენის ფორმირების პირობები მკვეთრად განსხვავებულია, ამიტომ მათი წყლიანობის ცვლილებაც მეტად კონტრასტულია ერთმანეთისაგან. ამის გამო მათი შესწავლა ხდება ცალკეულად. ამჯერად განვიხილავთ დასავლეთ საქართველოს მდინარეებს, რომლებიც რამდენადმე უხვწყლიანია აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებთან შედარებით.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

დასავლეთ საქართველოს მდინარეები სათავეს იღებენ ჩრდილოეთით დიდი და სამხრეთით მცირე კავკასიონის მაღალი ქედებიდან და ჩაედინებიან შავ ზღვაში. აქ არსებულ მდინარეთა საერთო რაოდენობა 18109 შეადგენს, რაც საქართველოს ყველა მდინარის 69,5 %-ია. მათი უმრავლესობა მცირე მდინარეებია (ცხრილი 1), რომელთა საერთო სიგრძე 35042 კმ-ია, რაც საქართველოს მდინარეთა საერთო სიგრძის (60 000 კმ) 58 %-ს შეადგენს [3].

ცხრილი 1. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა რაოდენობა და სიგრძე (კმ) მათი კატეგორიების მიხედვით

კატეგორია	ძალიან მცირე		მცირე		საშუალო			სულ
	< 10	10-25	26-50	51-100	101-200	201-300	301-500	
რაოდენობა	17794	242	48	16	6	1	2	18109
სიგრძე, კმ	27166	3780	1703	1020	799	221	353	35042

მდინარეთა ქსელის საშუალო სიხშირე 1,07 კმ/კმ² ტერიტორიულად არათანაბრადაა განაწილებული. ის დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით, შავი ზღვიდან დაშორებისა და ნალექების შემცირების გამო მცირდება. დასავლეთის ექსპოზიციის ფერდობებზე, სადაც წლიური ნალექების ჯამი 2000 - 4000 მმ-ია, მდინარეთა ქსელის სიხშირე 2 - 2,6 კმ/კმ²-ია, აღმოსავლეთის ფერდობებზე კი, სადაც ნალექები 1000 - 2000 მმ-ია, მდინარეთა ქსელის სიხშირე მცირდება. მაღალმთიან ზონაში (2400 - 2600 მ), სადაც წლიური ტემპერატურა - 2 °C-მდეა, ქსელის სიხშირე 0,3 - 0,4 კმ/კმ² -მდე მცირდება. უფრო მაღლა, სადაც წლიური ტემპერატურა - 5 °C-მდე ეცემა, მდინარეები აღარ არსებობენ. მდინარეთა ქსელის ზედა ზღვარი საშუალოდ 3300 მ-ია. მდ. რიონისა და კოდორის აუზების კარსტულ ზონაში ადგილი აქვს მდინარეთა გაუჩინარებასა და შემდეგ კვლავ ზედაპირზე გამოსვლას.

დასავლეთ საქართველოს მდინარეები ხასიათდებიან უხვწყლიანობით, დიდი ვარდნით, ჩქარი დინებით და პოტენციური ენერჯის დიდი მარაგით. მდინარეთა წყლის რესურსების მოცულობა შეადგენს 48 კმ³-ს, რაც 3 - 5 - ჯერ აღემატება აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის მოცულობას. ყველაზე წყალუხვია მდ. რიონი, რომლის საშუალო წლიური ჩამონადენი 12,7 კმ³-ია, ჭოროხის - 8,7 კმ³, ენგურის - 6,0 კმ³, კოდორის - 3,4 კმ³ [3]. შავი ზღვისპირა მდინარეებზე (გუმისთა, ოქუმი, სუფსა, ნატანები, ბახვისწყალი)

მთელი წლის განმავლობაში მიმდინარეობს წელიწადის მკვეთრი ცვალებადობა, რაც გამოწვეულია აქ მოსული ხშირი თავსხმა წვიმებით.

ბოლო ათწლეულებში მდინარეთა წელიწადიდან დიდი გავლენა მოახდინა კლიმატის თანამედროვე გლობალურმა დათბობამ და აგრეთვე ადამიანთა სამეურნეო საქმიანობამ, რომელიც არღვევს წლის ობიექტების ბუნებრივ მდგომარეობას. ამ მხრივ აღსანიშნავია მდინარეთა აუზებში არსებული ტყის საფარზე ზემოქმედება, რადგან ტყის ჭრების შედეგად, ტყის საფარის შემცირებით მნიშვნელოვნად იცვლება წლის ჩამონადენის ფორმირების პირობები. ტყის გავლენა მდინარეთა წელიწადიდან გამოიხატება მისი დარეგულირების უნარით [4, 5], რადგან ტყის ყომრალი ნიადაგების მაღალი ინფილტრაციის უნარის შედეგად ხდება წლის ჩამონადენის დიდი ნაწილის გადასვლა ზედაპირულიდან მიწისქვეშაში, რის გამოც მცირდება მდინარეთა უხვწყლიანი პერიოდის ჩამონადენი და იზრდება მცირეწყლიანი პერიოდის ჩამონადენი. [6] ნაშრომში მოცემულია დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში არსებული, როგორც ტყიანობა, ასევე ჰიდროგრაფიული და ჰიდრომეტრიული მახასიათებლები. მაღალი ტყიანობით გამოირჩევიან მდინარეთა აუზები: ჩაქვისწყალი - ხალა (95 %), ხანისწყალი - ბაღდათი (91 %), ხობი - ლეგახარე (85 %).

კლიმატის მიმდინარე გლობალური დათბობა განსაკუთრებით აქტიურად მოქმედებს მდინარეთა მაღალმთიან სათავეებში არსებულ მყინვარებზე, რაც მეტად უარყოფითად აისახება გარემოზე და იწვევს მდინარეთა წელიწადის ცვლილებას. გასული XX საუკუნის 70-იან წლებში შედგენილი მყინვარების [7] კატალოგის მიხედვით დასავლეთ საქართველოს ექვსი მდინარის აუზში აღრიცხული იყო 466 კმ² ფართობის მყინვარები. 1990 წლის მონაცემები აღებულია [8] ნაშრომიდან. [9] ნაშრომში შესწავლილია ამ მყინვარების განაწილება მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრულ დისტანციური ზონდირების შედეგები სამ სადამკვირვებლო ვადაზე: 2010, 2015 და 2020 წლების მონაცემებით. ცხრილი 2-დან ირკვევა, რომ კლიმატის მიმდინარე დათბობის შედეგად მყინვარები დნებიან და 2020 წლისთვის მათი ფართობი შემცირდა 191 კმ²-ით ანუ 41 %-ით. ყველაზე მეტად (37 %-ით) შემცირდა მყინვარების ფართობი მდ. ენგურის აუზში.

ცხრილი 2. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში არსებული მყინვარების ფართობები (კვ. კმ)

მდინარე	ზიფი	კლასური	კოდორი	ენგური	ხობი	რიონი	სულ
1970 წ.	8,0	1,2	64,3	321	0,2	70,7	466
1990 წ.	7,2		63,5	285	0,2	75,1	431
2010 წ.	4,7	0,9	50,0	229	0,2	57,2	384
2015 წ.	3,1	0,7	41,7	227	0,1	45,8	319
2020 წ.	1,7	0,6	33,3	197	0,1	41,2	275

მყინვარების ასეთი უკან დახევა და დეგრადაცია უარყოფითად აისახება მდინარეთა წელიწადიდან და კლიმატის დათბობის შემდგომი განვითარების პირობებში მოსალოდნელია მყინვარების სრული დადნობა და მათი გაქრობა, რაც მნიშვნელოვნად შეამცირებს მდინარეთა წლის ჩამონადენს ზაფხულის სეზონში. ამრიგად, ბოლო რამდენიმე ათეული წლის განმავლობაში, დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში შეიცვალა მდინარეთა წლის ჩამონადენის ფორმირების პირობები და შესაბამისად მათი წელიწადიდან. ამ ცვლილების ანალიზის მიზნით შესწავლილ იქნა მდინარეთა სადამკვირვებლო ჰიდროკვთებზე სტაციონალურ დაკვირვებათა მონაცემები, რომლებიც 1982 წლამდე გამოქვეყნებულია [10 - 13] ცნობარებში. მას შემდეგ მდინარეთა წელიწადიდან დაკვირვებათა მონაცემები აღარ გამოქვეყნებულა და მათი მოპოვება ამ ბოლო წლებამდე იყო მეტად ძვირადღირებული მატერიალურად ხელმოკლე მეცნიერთათვის, რის გამოც ვეღარ ხდებოდა სათანადო კვლევების ჩატარება.

სადღეისოდ, სამთავრობო დონეზე მიღებულ კანონში წლის შესახებ [1] დაფიქსირებულია, რომ „ფიზიკურ და იურიდიულ პირებს უფლება აქვთ სახელმწიფო ორგანოებისგან მიიღონ სრული, დროული და ობიექტური ინფორმაცია წლის მდგომარეობის შესახებ“. ამ კანონის პრაქტიკული აღსრულების შედეგად შესაძლებელი გახდა სათანადო ადმინისტრაციული მოთხოვნის საფუძველზე გარემოს ეროვნული

სააგენტოდან [14] მიგველო მდინარეებზე არსებულ დაკვირვებათა მონაცემები წყლის ხარჯებზე 1991 - 2023 წლებისა დღეისათვის მოქმედ 10 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე. საყურადღებოა, რომ [13] ცნობარში გამოქვეყნებული იყო მაშინ დასავლეთ საქართველოში მოქმედი 99 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე 1981 წლამდე არსებული დაკვირვებათა მონაცემები.

საკვლევ ობიექტთა გაზრდის მიზნით, 10 მოქმედის გარდა, შეირჩა აგრეთვე 11 ადრე მოქმედი გრძელრივიანი სადამკვირვებლო ჰიდროლოგიური საგუშაგო. დაკვირვებათა გამოტოვებული შემთხვევების აღდგენის მიზნით, პარალელურ დაკვირვებათა მონაცემების ურთიერთდაკავშირებით გამოვლენილ იქნა ანალოგი მდინარეები. მათი ყოველწლიური საშუალო წლიური ხარჯების გრაფიკული კავშირების ინტერპოლაციით აღდგენილ იქნა გამოტოვებულ დაკვირვებათა მონაცემები. შედეგად 21 საგუშაგოზე არსებული 40 - 70 წლიანი რიგების დამუშავებით მიღებულ იქნა მათი 56 - 86 წლიანი რიგები მდინარეთა წლიური ხარჯებისა.

შედეგები

მდინარეთა წყლის ყოველწლიური საშუალო ხარჯების სათანადო კომპიუტერული პროგრამის [15] გამოყენებით სტატისტიკური ანალიზის შედეგად გაანგარიშებულ იქნა მდინარეთა წყლის ხარჯების საშუალო მრავალწლიური მახასიათებლები [16]. განხილულ მდინარეთა წყლიანობის ნორმები და აგრეთვე მათი საშუალო მნიშვნელობები ცალკეულ ათწლეულებში მოცემულია ცხრილ 3-ში. მდინარეთა წყლის ხარჯების საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები არის მათი წყლიანობის ნორმები, რომლებითაც ხდება მდინარის წყლიანობის ზოგადი დახასიათება. რაც უფრო გრძელია დაკვირვებათა რიგები, მით მეტია მათი ნორმის მდგრადობა, რომელიც წარმოადგენს ძირითად მახასიათებელს ყველა სახის წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისათვის.

ცხრილი 3. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის ხარჯები (მ³/წმ) საშუალო მრავალწლიური და ათწლეულების მიხედვით

მდინარე	პუნქტი	ნორმა (მ ³ /წმ)	1921- 1930	1931- 1940	1941- 1950	1951- 1960	1961- 1970	1971- 1980	1981- 1990	1991- 2000	2011- 2020
ბზიფი	ჯირხვა	97,6	-	96,9	103	96,4	95,6	93,2	108	-	-
კოდორი	ლათა	92,2	-	89,6	83,4	91,8	83,4	101	104	-	-
ენგური	ხაიში	122	121	111	108	119	109	118	142	131	-
რიონი	ალპანა	104	105	102	103	94,7	99,5	97,9	107	140	-
რიონი	ნამოხვა	147	149	133	144	128	143	149	164	159	-
რიონი	ჭალად.	429	410	413	388	418	408	403	475	495	-
ყვირილა	საჩხერე	16,7	-	16,9	170	16,1	16,9	18,4	18,5	142	16,0
ყვირილა	ზესტაფ.	60,0	-	65,3	62,3	58,0	58,5	54,9	66,4	68,8	53,1
ძირულა	წევა	23,1	-	28,3	28,0	26,5	20,8	27,3	26,4	21,4	23,2
ხანისწყ.	ბაღდათ	15,7	-	-	15,2	17,5	14,7	14,1	18,0	14,0	-
ცხენისწყ	ლუჯი	23,8	-	22,6	23,5	22,8	20,8	24,8	27,7	23,6	-
ცხენისწყ	რცხმელ	67,0	-	67,3	69,0	63,0	60,9	65,8	75,0	68,6	-

ცხენისწყ	ხიდი	56,9	-	87,1	76,3	72,1	38,4	38,8	48,3	39,9	-
ტეხური	ნაქალაქ.	33,7	-	36,1	27,6	30,1	33,5	36,4	38,3	36,6	-
სუფსა	ჩოხატ.	13,7	-	-	15,0	12,9	12,6	13,8	14,2	13,5	-
სუფსა	ხიდმაღ.	48,7	-	-	44,0	47,5	45,3	46,7	56,0	48,0	-
ნატანები	ნატანებ	25,0	-	27,2	21,7	25,8	23,7	23,4	28,6	-	-
კინტრიშ	კობი	13,1	-	14,5	13,2	11,4	11,5	13,8	14,5	-	-
ჭოროხი	ერგე	274	-	304	290	259	253	269	274	-	-
აჭარისწყ	ხულო	8,06	-	-	8,2	8,4	8,5	-	9,6	-	-
აჭარისწყ	ქედა	46,3	-	-	44,4	46,4	44,3	42,6	53,9	-	-

ცხრილ 3-ის მონაცემებიდან ირკვევა, რომ ცალკეული ათწლეულების საშუალო ხარჯები ქრონოლოგიურდ იცვლებოდა, ხან იზრდებოდა, ხან კლებულობდა. ამ ცვალებადობის მაჩვენებელია წყლის ხარჯების სხვაობები თანმიმდევრულად ყოველ შემდეგ ათწლეულს შორის. ცხრილ 4-ში მოცემულია ამ სხვაობების მნიშვნელობები 1920 წლიდან 2000 წლის ჩათვლით. ამ პერიოდში, ცალკეული შემთხვევების გარდა, ყველა ათწლეულში დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლიანობა ძირითადად კლებულობდა. 1971 წლიდან გაიზარდა იმ მდინარეთა რაოდენობა, სადაც მატულობდა მათი წყლიანობა. 1981 - 1990 ათწლეულში კი წყლიანობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა ყველა მდინარეზე.

ცხრილი 4. დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა ცალკეულ ათწლეულებში წყლის ხარჯებს შორის სხვაობები

მდინარე	პუნქტი	1931-40	1941-50	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90	1991-2000
		1921-30	1931-40	1941-50	1951-60	1961-70	1971-80	1981-1990
ბზიფი	ჯირხვა	-	6,1	-6,6	-0,8	-2,4	14,8	-
კოდორი	ლათა	-	-6,2	8,4	-8,4	17,6	3,0	-
ენგური	ხაიში	-10,0	-3,0	11,0	-10,0	9,0	24,0	-11,0
რიონი	ალპანა	-3,0	1,0	-8,3	4,8	-1,6	9,1	3,0
რიონი	ნამოხვანი	-16,0	-9,0	-16,0	15,0	6,0	15,0	-5,0
რიონი	ჭალადიდი	3,0	-25,0	30,0	-10,0	-5,0	72,0	20,0
ყვირილა	საჩხერე	-	0,10	-0,9	0,8	1,5	0,1	-4,3
ყვირილა	ზესტაფონი	-	-3,6	-4,3	0,5	-3,6	11,5	2,4
ძირულა	წევა	-	0,3	-1,5	-5,7	6,5	-0,9	-5,0

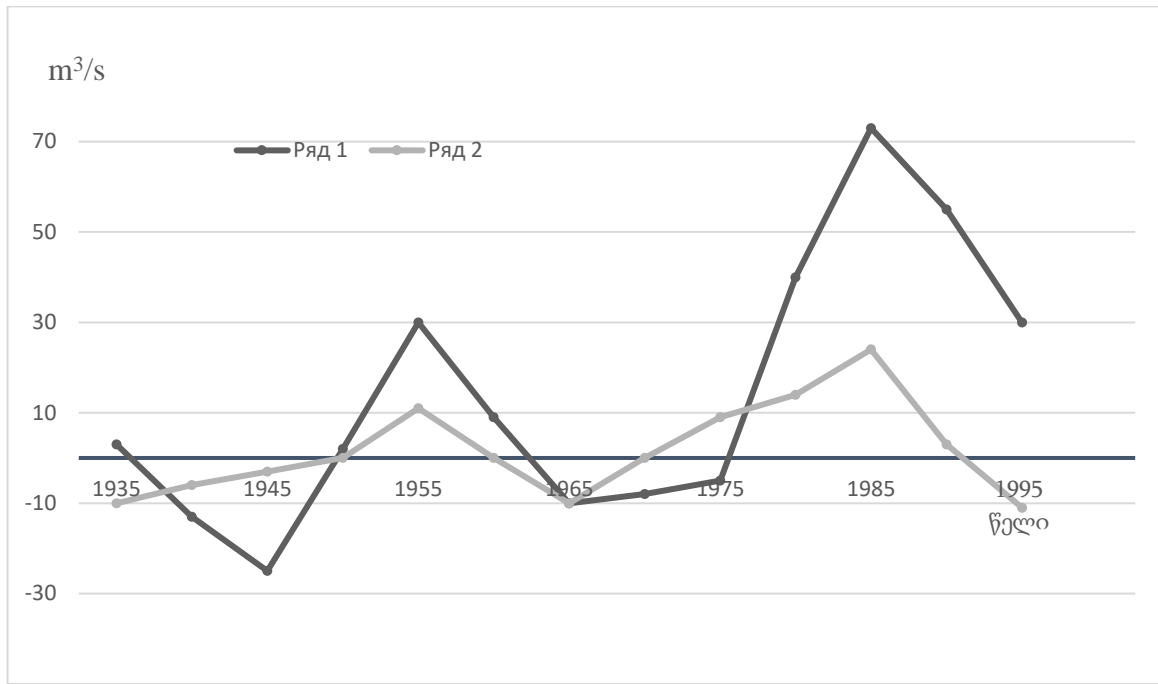
ხანისწყ.	ბაღდათი	-	-	2,3	-2,8	-0,6	3,9	-4,0
ცხენისწყ.	ლუჯი	-	1,0	-0,7	-2,0	3,0	2,9	-4,1
ცხენისწყ.	რცხმელური	-	1,7	-6,0	-2,1	4,9	9,2	-6,4
ცხენისწყ.	ხიდი	-	-10,8	-4,2	-33,7	0,4	9,5	-8,4
ტეხური	ნაქალაქევი	-	-8,5	2,5	3,4	3,0	2,3	-2,1
სუფსა	ჩოხატაური	-	-	-3,0	-0,3	1,2	0,4	-0,7
სუფსა	ხიდმაღალა	-	-	3,5	-2,2	1,4	9,3	-8,0
ნატანები	ნატანები	-	-5,5	4,1	-2,1	-0,3	5,2	-
კინტრიში	კოხი	-	-1,3	-1,8	0,1	2,3	0,7	-
ჭოროხი	ერგე	-	-14	-35	0,6	1,6	0,5	-
აჭარისწყ.	ხულო	-	-	0,2	0,1	-	-	-
აჭარისწყ.	ქედა	-	-	2,0	-2,1	-1,7	11,3	-

ამრიგად, 3 და 4 ცხრილების მონაცემთა ანალიზით ირკვევა, რომ დასავლეთ საქართველოში, მიუხედავად ცალკეულ მდინარეთა წყლის ჩამონადენის ფორმირების პირობების დიდი სხვადასხვაობისა, მდინარეთა წელიწადობის ცვლილება ათწლეულების მიხედვით, ატარებს ერთ საერთო ხასიათს: იმ მდინარეთა წელიწადობის ცვლილება, რომელთა საზრდოობაში მონაწილეობს მყინვარული წყლები, 1981 წლამდე არ გამოირჩეოდა დიდი რყევადობით, 1981 - 1990 ათწლეულში კი მოხდა მდინარეთა წელიწადობის მკვეთრი მატება, რაც ძირითადად მყინვარების აქტიურ დნობასთან იყო დაკავშირებული. აღსანიშნავია, რომ ამ დროს დანარჩენ არამყინვარული საზრდოობის მდინარეებზეც აღინიშნა მაღალი წელიწადობა დიდი ნალექიანობის გამო.

2000 წლიდან 2020 წლამდე დასავლეთ საქართველოში მდინარეთა წელიწადობაზე არასაკმარისი დაკვირვებების გამო, ვერ მოხერხდა მდინარეთა წელიწადობის ცვლილების შესწავლა და მათი შედარება ცხრილ 2-ში მოცემულ მყინვარების ცვლილებასთან 2010, 2015 და 2020 წლებში.

ნახ. 1-ზე წარმოდგენილია დასავლეთ საქართველოს ყველაზე მნიშვნელოვანი ჰიდროობიექტების მომსახურე მდინარეებზე (მდ. ენგურზე და მდ. რიონზე) წელიწადობის ცვლილება ცალკეული ათწლეულების მიხედვით, სადაც გამოხატულია მათი წელიწადობის მკვეთრი ცვლილება 1981 - 1990 ათწლეულში.

იმისთვის, რომ გავარკვიოთ მდინარეთა წელიწადობის მოსალოდნელი ცვლილება, აუცილებელია მათი მთავარი განმსაზღვრელი კლიმატური ფაქტორების (ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების) სავარაუდო მნიშვნელობები. ამიტომ განხილულ იქნა [17] ნაშრომი, სადაც კლიმატის გლობალური სცენარის RCP4.5-ის გამოყენებით ქართველი სპეციალისტების მიერ შედგენილია პროგნოზები, რომლის მიხედვით დასავლეთ საქართველოში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა 1971 - 2000 წლებთან შედარებით, 2041 - 2070 წლებში 1,8 - 3,0 °C-ით გაიზრდება, 2071 - 2100 წლებში კი ის 0,4 - 1,7 °C-ის ფარგლებში მოიმატებს და ტემპერატურის ნამატი 1971 - 2000 წლებთან შედარებით 0,1 - 3,7 °C-ის ფარგლებში იქნება.



ნახ. 1. მდინარეთა წყლიანობათა (m^3/s) სხვაობები ცალკეულ ათწლეულებს შორის თანმიმდევრულად 1921 წლიდან 2001 წლამდე: 1 - მდ. რიონი - ს. ჭალადიდი, 2 - მდ. ენგური - ს. ხაიში

ატმოსფერული ნალექები ორივე საპროგნოზო პერიოდში შემცირდება. ყველაზე მეტი წლიური ნალექების ჯამი (2300 მმ და მეტი) იქნება აჭარის სანაპირო ზოლში. შავი ზღვის აღმოსავლეთით სიმაღლის მატებასთან ერთად ნალექების წლიური რაოდენობა იკლებს. 2041 - 2070 წლებში წლიური ნალექები ყველაზე მეტად იკლებს იმერეთში (ქ. საჩხერეში 18 %-ით), სხვა რეგიონებში კი 3 - 15 %-ის ფარგლებში. წლიური ნალექების 8 - 10 %-იანი ზრდა იქნება მხოლოდ ქ. ფოთში და ზუგდიდში. 1971 - 2000 წლებში ყველაზე მეტი ნალექები იყო ბათუმში (2481 მმ), სადაც 2041 - 2070 წლებში იქნება 2363 მმ, 2071 - 2100 წლებში კი იქნება 2322 მმ.

მდინარეთა წყლის ჩამონადენის ამ ძირითადი მაფორმირებელი კლიმატური ფაქტორების (ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების) ასეთი პროგნოზების პირობებში, მოსალოდნელია ტემპერატურის მომატების შედეგად, დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა სათავეებში არსებული მყინვარების დნობა, მაგრამ მათი ფართობი უკვე ისეა შემცირებული, რომ მათი დნობა ვერ გამოიწვევს მდინარეთა წყლიანობის მნიშვნელოვან მატებას. ზღვისპირა ტერიტორიაზე კი აორთქლების მომატების შედეგად გაიზრდება მათი კონდენსირება და შესაბამისად სანაპირო ზონის მნიშვნელოვანი დატენიანება. ამას კიდევ დაემატება მსოფლიო ოკეანის დონის აწევა, რაც გამოიწვევს აქ საშიში პროცესების განვითარებას და სანაპირო ზონის დეგრადაციას.

აქედან გამომდინარე ზაფხულის პერიოდში მდინარეთა წყლის შემცირება ნეგატიურად იმოქმედებს მათ ენერგეტიკაში გამოყენების შესაძლებლობაზე. ამ მხრივ, ყველაზე საყურადღებოა მდ. ენგური, სადაც ფუნქციონირებს საქართველოს ყველაზე დიდი სიმძლავრის ენგურჰესი. ასეთივე საშიშროება იქნება მდ. რიონზე, სადაც მოქმედებს და კვლავ იგეგმება ახალი ჰესის მშენებლობა.

არამყინვარული საზრდოობის მდინარეებზეც, პროგნოზების მიხედვით, ნალექების შემცირებისა და აორთქლების მომატების შესაბამისად მოსალოდნელია მდინარეთა წყლიანობის შემცირება, განსაკუთრებით მდ. ყვირილაზე.

დასკვნა

დასავლეთ საქართველოს მდინარეებზე 1919 - 2023 წლებში არსებულ დაკვირვებათა მონაცემების სტატისტიკური დამუშავებით მიღებულია მათი წყლის საშუალო მრავალწლიური ხარჯების ნორმები, ცალკეული ათწლეულების საშუალო მნიშვნელობები და მათი სხვაობები თანმიმდევრულად ყოველ შემდეგ ათწლეულს შორის. მათი ანალიზით დადგინდა, რომ მიუხედავად თითოეული მდინარის წყლის ჩამონადენის ფორმირების პირობების დიდი სხვადასხვაობისა, მათი წყლიანობის ცვლილება ატარებს ქრონოლოგიურად ერთ საერთო ხასიათს: 1920 წლიდან 1971 წლამდე მდინარეთა წყლის ხარჯები

მცირდება, 1971 - 1980 ათწლეულში, ცალკეული შემთხვევების გარდა მდინარეთა წყლიანობამ მოიმატა, შემდეგ 1981 - 1990 ათწლეულში კი, ყველა მდინარეზე აღირცხა წყლიანობის მატება, რაც შემდეგ ორ (1991 - 2010) ათწლეულში, მათი კლებით შეიცვალა. დაკვირვებათა უკმარისობის გამო ვერ მოხერხდა ბოლო ორი (2000 წლიდან 2021 წლამდე) ათწლეულის განმავლობაში მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების ანალიზი.

კლიმატური პროგნოზების მიხედვით, ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების ორ საპროგნოზო (2041 - 2070 წწ და 2071 - 2100 წწ) პერიოდში, 1971 - 2000 წლებთან შედარებით, მოსალოდნელია საშუალო წლიური ტემპერატურის 2,1 - 3,7 °C-ით მომატება და ატმოსფერული ნალექების 3 - 15 %-ით შემცირება. ნალექები ყველაზე მეტად შემცირდება იმერეთში. ნალექების მატება 8 - 10 %-ით იქნება მხოლოდ შავი ზღვის სანაპირო ზოლში (ფოთი, ზუგდიდი).

მდინარეთა წყლიანობის განმსაზღვრელი და წყლის ჩამონადენის მაგორმირებელი ფაქტორების ასეთი პროგნოზების შესაბამისად გაგრძელდება ზაფხულის პერიოდში მდინარეთა სათავეებში არსებული მყინვარების დნობა. მაგრამ მათი დიდი ნაწილი უკვე დამდნარია და ამიტომ დარჩენილი მყინვარების დნობამ შეიძლება მდინარეთა წყლიანობის მნიშვნელოვანი მატება ვერ გამოიწვიოს. მდინარეთა წყლიანობის შემცირების მთავარი მიზეზი იქნება მდინარეთა აუზებში მოსალოდნელი მცირე ნალექიანობა, რაც მკვეთრად აისახება განსაკუთრებით მდ. ყვირილაზე.

მაღალი ნალექიანობის გამო, საყურადღებოა მდინარეთა წყლიანობის მნიშვნელოვანი მომატების ვარაუდი შავი ზღვისპირა მდინარეებზე და დიდ მდინარეთა შესართავებთან, სადაც მოსალოდნელია საშიში მოვლენების განვითარება, რასაც ხელს შეუწყობს აგრეთვე ოკეანისა და შესაბამისად შავი ზღვის დონის მომატება. მდინარეთა წყლიანობის ასეთი ცვლილება ნეგატიურად აისახება მათი გამოყენების შესაძლებლობაზე, როგორც ეს ტრადიციულად ხდებოდა ადრეულ წლებში. ასეთი სიტუაცია შეიძლება შეიქმნას განსაკუთრებით ზაფხულობით მაღალი ტემპერატურების დროს, როდესაც მდინარეთა აუზებში გაიზრდება აორთქლება და შემცირდება მდინარეთა წყლიანობა. ასეთი ვითარება მეტად უარყოფითად იმოქმედებს ჰიდროენერგეტიკის გამომუშავებაზე.

შავი ზღვისპირეთში მომატებული აორთქლებული მასები ინტენსიურად კონდენსირდება თავსხმა წვიმების სახით, რაც გამოიწვევს მდინარეთა ხეობებში წყალმოვარდნებს, ღვარცოფებსა და მეწყერებს, რასაც მოჰყვება სანაპირო ზონის დეგრადაცია, დიდი ნგრევა და ზარალი.

ყველა ზემო აღნიშნულის გათვალისწინება აუცილებელია განსაკუთრებით მდინარეთა წყლის ენერჯის გამოყენების თვალსაზრისით. წყლის რესურსების დაზოგვის, რაციონალურად გამოყენებისა და მათი შევსების მიზნით, საჭიროა დროულად მოხდეს სათანადო ღონისძიებების დაგეგმარება და პროექტირება. ზღვისპირა ზონებში კი, განსაკუთრებით მდინარეთა შესართავებთან, ნეგატიური მოვლენების თავიდან აცილების მიზნით, საჭირო იქნება სათანადო პრევენციული ღონისძიებების ჩატარება.

ლიტერატურა-REFERENCES

1. Georgian Laws of the Water, № 936, 20/07/2018
2. Svanidze G.G., Gagua V.P., Sukhishvili E.V. Renewable Energy Resources of Georgia. GIMIZ, Leningrad, 1987, 175 p.
3. Water resources of Transcaucasia, GIMIZ, Leningrad, 1988, 264 p.
4. Basilashvili Ts. Forest cover – Main Protect from of Various in Mountainous Areas. International Scientific Conference “Natural Disasters in the 21 Century”. Tbilisi State University, 2021, pp. 189-193.
5. Basilashvili Ts.Z., Janelidze M.G., Basilashvili Kh.G. Forest Cover – The Primary Guardian Against Climate Change and Biosphere Security. Journal of the Georgian Society. Vol. 28 (1), Institute of Geophysics of the TSU. e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512 -1127, pp. 64-74,
6. 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, 2024, pp. 64-68.
7. Catalog of Glaciers of USSR, Vol. 9, Issue 3, Part 1, GIMIZ. Leningrad, 1975, 86 p.
8. Elizbarashvili E. Climate of Georgia. GTU, IHM, Tbilisi, 2017, 360 p.
9. Shengelia L., Kordzakhia G., Tvauri G., Guliasvili 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
10. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1967, 460 p

11. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1977, 358 p
12. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1978, 300 p
13. State Water Cadaster, Vol. VI, Georgian SSR, GIMIZ, Leningrad, 1987, 416 p
14. Department of Hydrometeorology of National Environmental Agency. Tbilisi, 2024.
15. Basilashvili Ts. Statistical Analysis of Variables and Selection of Predictors for Prognostic Relationships. Annotated Index of Algorithms and Programs. World Data Center. Obninsk, 1971, 43 p.
16. Basilashvili Ts. Revised Characteristics of River Runoff in Western Georgia. Science and Technologies № 1 (750), 2026, Tbilisi, Publishing House "Technical University". DOI: <http://doi.org/10.36073/0130-7061>
17. Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regularities for the Conditions of Georgia. "Universal", Tbilisi, 2023, 405 p

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-8-17

UDC: 551.482.215.3

Assessment of Changes in River Runoff in Western Georgia./Basilashvili Ts.Z./Transactions IHM, GTU. 2026. vol. 139. pp. 8-17. Georg., Summ. Georg., Eng. Rus.

Using observational records of river discharge from 21 hydrological gauging stations covering the period 1919 – 2023, long-term mean values and decadal averages of river runoff were calculated, along with interdecadal differences between successive mean discharges. The sign of these differences is predominantly negative across most decades - apart from a single exception - indicating an overall declining trend in river runoff throughout Western Georgia. A consistent increase in runoff across all rivers was observed only during the 1981–1990 decade, which is attributable to enhanced glacier melting combined with anomalously high precipitation.

According to climate projections, mean air temperature in Western Georgia is expected to rise by 1.6 – 2.9 °C during 2041 – 2070 and by 2.1 – 3.7 °C during 2071 – 2100 relative to the 1971 – 2000 baseline period. Atmospheric precipitation is projected to increase by 8 – 10% exclusively in the Black Sea coastal zone. Eastward from the coast, however, precipitation is expected to decrease with increasing elevation, within a range of 4 – 15%, with the most pronounced reduction - up to 18% - projected for the city of Sachkhere.

In accordance with these projections, a further reduction in glacier extent and river runoff is anticipated, particularly during the summer season, when water availability is most critical. In coastal regions, increased evaporation followed by atmospheric condensation in the form of intense rainfall events is likely to elevate the frequency and severity of hazardous hydrometeorological phenomena.

These assessments of changes in river runoff should be explicitly incorporated into the design of hydraulic engineering infrastructure and into the strategic planning of measures aimed at water resource conservation and replenishment. In coastal zones, the implementation of targeted preventive and adaptive measures is essential to mitigate the impacts of adverse river-related processes and associated risks.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-8-17

უკ. 551.482.215.3

მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების შეფასება დასავლეთ საქართველოში/ ბასილაშვილი ც.ზ. /სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული 2026, ტ. 139, გვ. 8-17. ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

მდინარეთა 21 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე წყლის ხარჯებზე დაკვირვებათა 1919 - 2023 წლების მონაცემებით განსაზღვრულია მათი საშუალო მრავალწლიური და ცალკეული ათწლეულების მნიშვნელობები, აგრეთვე თანმიმდევრულად ათწლეულების საშუალო ხარჯებს შორის სხვაობები. ამ სხვაობების ნიშნადობა ცალკეულ ათწლეულებში, ერთის გარდა, უმეტესად უარყოფითია, რაც ნიშნავს მდინარეთა წყლიანობის კლებას. მხოლოდ ერთ (1981 - 1990) ათწლეულში ყველა მდინარეზე ფიქსირდება წყლიანობის მატება, რაც მყინვარების დნობითა და უხვნალექიანობით იყო განპირობებული.

კლიმატური პროგნოზების მიხედვით, დასავლეთ საქართველოში ჰაერის ტემპერატურა 1971 - 2000 წლებთან შედარებით გაიზრდება 2041 - 2070 წლებში 1,6 - 2,9 °C და 2071 - 2100 წლებში 2,1 - 3,7 °C-ის ფარგლებში. ატმოსფერული ნალექები 8 - 10 %-ით გაიზრდება მხოლოდ შავი ზღვის სანაპიროებთან. მის აღმოსავლეთით კი, სიმაღლის მატებასთან ერთად ნალექები შემცირდება 4 - 15 %-ის ფარგლებში. მაქსიმალური კლება (18 %) იქნება ქ. საჩხერეში.

ასეთი პროგნოზების შესაბამისად მოსალოდნელია მყინვარებისა და მდინარეთა წყლიანობის შემცირება, განსაკუთრებით ზაფხულში. ზღვისპირა ზონაში, მომატებული აორთქლების კონდენსირება თავსხმა წვიმების სახით, გამოიწვევს საშიში მოვლენების რისკების გაზრდას.

მდინარეთა წყლიანობის ასეთი შეფასება საჭიროა გათვალისწინებულ იქნეს ჰიდროტექნიკური ობიექტების პროექტირებისა და წყლის რესურსების დაზოგვისა და შევსების მიზნით ღონისძიებათა დაგეგმარების დროს. ზღვისპირა ზონებში კი, მდინარეებზე ნეგატიური მოვლენების შედეგების შერბილების მიზნით, უნდა დაიგეგმოს სათანადო პრევენციული ღონისძიებების ჩატარება.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-8-17

УДК: 551.482.215.3

Оценка изменения водности рек Западной Грузии/Басилашвили Ц.З./Сб. Трудов ИГМ ГТУ, 2026. Том 139, с. 8-17, Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На 21 гидрологических постах рек, по существующим наблюдениям за расходами воды в течении 1919 - 2023 годов, установлены их средние значения за многолетний период, за каждое десятилетие и их разности в последовательном порядке. Отметки этих разностей, в основном отрицательные, что указывает на уменьшение водности рек. Только в одном (1981 - 1990) десятилетии, на всех реках зафиксировано увеличение их водности, что было вызвано таянием ледников и обильными осадками.

По климатическим прогнозам, в Западной Грузии температура воздуха по сравнению 1971 - 2000 годов, повысится в 2041 - 2070 годах на 1,6 - 2,9 °С, а в 2071 - 2100 годах, в пределах 2,1 - 3,7 °С. Атмосферные осадки увеличатся на 8 - 10 % только в прибрежных зонах Чёрного моря. А по восточному направлению с повышением высоты местности осадки уменьшатся в пределах 4 - 15 %. Максимальное уменьшение (18 %) будет в г. Сачхере.

Соответственно с такими прогнозами ожидается уменьшение ледников и водности рек, особенно летом. В прибрежных зонах конденсация повышенной испарения в виде проливных дождей, вызовет учащение рисков опасных явлений.

Такая оценка ожидаемого изменения водности рек, следует учесть при проектировании гидротехнических объектов и в целях планирования мероприятий для сбережения и пополнения водных ресурсов. А в прибрежных зонах следует планировать проведение соответствующих превенциальных мероприятий для смягчения следствии ожидаемых негативных явлений.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-18-28

უაკ. 551.482.215.3

მდინარეთა წყლიანობის მიმდინარე და მოსალოდნელი ცვლილება აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალი ჰავის პირობებში

* ბასილაშვილი ც.ზ., ** ჯანელიძე მ.გ., ** ბასილაშვილი ხ.გ.

* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

** კავკასიის უნივერსიტეტი

jarjino@mail.ru

რეზიუმე

მდინარეთა წყლის ხარჯებზე არსებული 1924-2023 წლების დაკვირვებათა მონაცემებით, 22 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე განისაზღვრა ცალკეულ ათწლეულებში საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები და მათი სხვაობები. გაირკვა მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების მიმდინარე ტენდენციები და მათი რაოდენობრივი შეფასება, რომელთაც აქვთ პრაქტიკული დანიშნულება წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისათვის.

არსებული კლიმატური პროგნოზების მიხედვით მოსალოდნელია ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი მომატება და ატმოსფერული ნალექების შემცირება. ამის გამო მომავალში სავარაუდოა, რომ გაიზრდება აორთქლება, გვალვიანობა, ნიადაგების გამოშრობა და მათი ეროზია, მიწისქვეშა წყლების დონის დაწვევა, წყაროების დაშრობა და შედეგად მდინარეთა წყლიანობის შემცირება. სარწყავი წყლის რესურსების შემცირება გამოიწვევს მოუსავლიანობას, გაიზრდება ხანძარსაშიშროებები, ნიადაგების დეგრადაცია და გაუდაბნოების პროცესის განვითარება, რაც მეტად უარყოფითად იმოქმედებს გარემოზე, მოსახლეობის კეთილდღეობაზე და ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებაზე. ამის გამო აუცილებელია დაიწყოს წყლის რესურსების დაზოგვისა და მათი შევსებისათვის საჭირო პრევენციული სამუშაოების განხორციელება. მითითებულია მთავარი ჩასატარებელი ღონისძიებების ჩამონათვალი.

საკვანძო სიტყვები: გაუდაბნობა, გვალვიანობა, სარწყავი წყლის რესურსები, წყლის ხარჯები.

შესავალი

მდინარეთა წყალი ბუნებრივი ეკოსისტემების უმნიშვნელოვანესი რესურსია, რომელიც განაპირობებს ქვეყნისა და საზოგადოების სოციალურ-ეკონომიკურ განვითარებას, ამიტომ წყლის პრობლემა ყოველთვის აქტუალურია.

სადღესოდ მზის აქტივობისა და ძირითადად, ადამიანთა სამეურნეო საქმიანობით გამოწვეული ანთროპოგენური დატვირთვის შედეგად კლიმატის ინტენსიური დათბობის გამო, სასიცოცხლო მნიშვნელობის წყლის რესურსებს მოელის აღუდგენელი დანაკლისი, რაც შეიძლება გახდეს ეკონომიკის განვითარების მთავარი შემზღვეველი ფაქტორი.

მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში უკვე ადგილი აქვს მტკნარი წყლის მნიშვნელოვან შემცირებას. სასმელი წყლის დეფიციტს განიცდის ავსტრალია, თურქმენეთი, მოლდოვა, უზბეკეთი, აზერბაიჯანი და სხვა. გაეროს მონაცემებით 2000 - იანი წლებიდან მილიონობით ადამიანი იყო მტკნარი წყლის დეფიციტის პირობებში. 2010 წლის მონაცემებით, კლიმატის გლობალური დათბობის შედეგად, ყოველწლიურად იღუპება 300 ათასი ადამიანი. 2020 წლისთვის ეს რიცხვი 500 ათასამდე გაიზრდება [1]. XXI საუკუნე გამოცხადებულია მტკნარი წყლისა და ხორბლის დეფიციტის საუკუნედ. 2030 წელს წყლის დეფიციტი 40%-მდე იქნება. 2032 წელს კი, მოსალოდნელი გვალვიანობის გამო, 70 % ცხოველთა სახეობები იქნება განადგურების ზღვარზე და მილიონობით ადამიანის სიცოცხლე იქნება საფრთხის ქვეშ. XXI საუკუნის შუახანებში წყლის უკმარისობით იქნება 4 მლრდ ადამიანი [2]. მსოფლიო ჯანმრთელობის ორგანიზაციის ცნობით კლიმატის დათბობის შედეგად დედამიწაზე ექსტრემალური ამინდის პირობები გამოიწვევს მსხვერპლს, რადგან მოუსავლიანობა წარმოშობს შიმშილს [3].

საქართველოს მდინარეთა წყლის რესურსები გამოიყენება პირველ რიგში მოსახლეობისა და სამეურნეო საწარმოების წყალმომარაგებისთვის, სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სარწყავად, ელექტოენერჯის მისაღებად, აგრეთვე მეთევზეობის, რეკრეაციის, სპორტისა და ტურიზმის განვითარებისათვის. მდინარეთა წყლის რესურსების ასეთი მნიშვნელოვანი დანიშნულებისა და ინტენსიური გამოყენების პირობებში, მათი წყლიანობის ცვლილების პროცესის შესწავლა ჰიდროლოგიის რთულ და საინტერესო სამეცნიერო ამოცანას წარმოადგენს. ამისათვის საჭიროა მდინარეთა წყლიანობის სწორად განსაზღვრა, რომლის მიხედვით შეიძლება მათი რაციონალურად გამოყენების დაგეგმარება, რაც უზრუნველყოფს ჰიდროტექნიკური ობიექტებისა და ნაგებობების მდგრადი ფუნქციონირების გარანტიას. გარდა ამისა, მდინარეებზე ხიდების, ჯებირებისა და მათ სანაპიროებთან ყველა სახის ნაგებობის (გზებისა და

შენიშვნების პროექტირებისა და ექსპლუატაციისათვის, ასევე საჭიროა განისაზღვროს მდინარეთა წყლიანობა. ამის გამო აუცილებელია მდინარეებზე ხდებოდეს მათი აღრიცხვა და შესწავლა მრავალწლიურ ჭრილში.

ძირითადი ნაწილი

მდინარეთა წყლიანობა განისაზღვრება მათი საშუალო წლიური ხარჯით ($m^3/წმ$) მრავალწლიურ პერიოდში, რასაც მდინარის წყლის ჩამონადენის ნორმას უწოდებენ. მაგრამ ის არ არის მუდმივი და მისი ცვალებადობა არავითარ კანონზომიერებას არ ექვემდებარება. ამიტომ ის პერიოდულად უნდა დაზუსტდეს დაკვირვებათა ახალ-ახალი მონაცემების გათვალისწინებით. რაც უფრო გრძელია დაკვირვებათა რიგები, მით მეტია მათი წყლიანობის ნორმის მდგრადობა, რომელიც წარმოადგენს ყველა სახის წყალსამეურნეო განგარიშებების ძირითად მახასიათებელს.

საქართველოს მცირე ტერიტორიაზე არის 100-მდე სახეობის ლანდშაფტები. აღმოსავლეთ საქართველოს ლანდშაფტები დასავლეთ საქართველოსგან განსხვავებით უფრო მგრძობიარეა კლიმატურ რეჟიმების მიმართ, რაც ტემპერატურის ზრდითა და ატმოსფერული ნალექების შემცირებით აღინიშნება.

აღმოსავლეთ საქართველოს ნაყოფიერ მიწებზე მცენარეთა მოსავლიანობის განმაპირობებელი ფაქტორების სპეციფიკა მდგომარეობს იმაში, რომ აქ გადაძვრება მნიშვნელობას იძენს არა მარტო ნალექების საერთო (წლიური) რაოდენობა, არამედ მათი შიდაწლიური განაწილება. აქ ვეგეტაციის პერიოდში მცენარეთა წყალმოთხოვნილების ფაზებს არ ემთხვევა ნალექების მოსვლის ინტერვალები, განსაკუთრებით აქტიური ვეგეტაციის (ივნისი-აგვისტო) პერიოდში, როდესაც მცენარეთა წყალმოთხოვნილება უმაღლესია. ამ მდგომარეობას ამჟღავნებს ის ფაქტიც, რომ ყოველწლიურად აქ 2-3 თვის განმავლობაში, ძირითადად ზაფხულში აღირიცხება გვალვები, რის გამოც მცირდება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა. ასეთი ვითარება ხშირია განსაკუთრებით კახეთის რეგიონში მდ. იორისა და ალაზნის ქვემო წელში.

ხანგრძლივი გვალვის დროს იზრდება ხანძრების რისკებიც, რასაც მოჰყვება მცენარეული საფარის განადგურება და ნიადაგის ეროზია. გარდა ამისა, გვალვას დიდი ზიანის მიყენება შეუძლია აგრეთვე ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, რადგან ის იწვევს სისხლის არტერიული მიმოქცევის მოშლას.

გვალვიანობის გახშირება იწვევს გაუდაბნობის პროცესის განვითარებას, რაც არის ეკონომიკური, სოციალური და გარემოსდაცვითი მეტად საშიში პრობლემა. გაუდაბნობას განაპირობებს უნალექობა, მაღალი ტემპერატურა და ნიადაგში ტენის დეფიციტი. მსოფლიოში ასეთია 110 ქვეყანა, სადაც 800 მლნ ადამიანი ცხოვრობს. გაუდაბნობის ალბათობით საქართველოში გამოირჩევა ივრის ზეგანი და ქვემო ქართლი [4].

ამრიგად, კლიმატის მიმდინარე ცვლილება გვალვის ინტენსივობის გაზრდის ერთ-ერთ მძლავრ ფაქტორს წარმოადგენს. მისი ზემოქმედებით იზრდება გვალვის სიხშირე, ინტენსივობა, ხანგრძლივობა და მის შედეგად გარდაუვალია ისეთი ნეგატიური შედეგები, როგორცაა მიწის დეგრადაცია და გაუდაბნობა. კლიმატის დათბობის გლობალური პროცესის გაგრძელების შემთხვევაში გაუდაბნობის პროცესი შესაძლოა შეეხოს აღმოსავლეთ საქართველოს ვაკისა და მთისწინების არიდულ ლანდშაფტებს. პრევენციული ღონისძიებების გაუტარებლობის შემთხვევაში პროცესმა შეიძლება შეუქცევადი ხასიათი მიიღოს. აღსანიშნავია, რომ ლანდშაფტების გაუდაბნობა ბევრად არის დამოკიდებული ანთროპოგენურ ფაქტორებზე.

საქართველოსთვის გვალვის პრობლემა უძველესია. გვალვების ნეგატიური შედეგების გასანიტრალეზად უპირველესი და რადიკალური ღონისძიებაა ნალექების ნაკლებობის შევსება ხელოვნურად მორწყვის საშუალებით. ამიტომ საქართველოში რეგულარულად მიმდინარეობდა სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მორწყვა, რაც კლიმატის ნეგატიური გავლენის შერბილებისკენ იყო მიმართული და მოსავლიანობის თვალსაზრისით საუკეთესო შედეგებს იძლეოდა. ამ მიზნით აქ უძველესი დროიდან გაჰყავდათ სარწყავი არხები. ამასთან დაკავშირებით ძველი წელთაღრიცხვის დიდი ბერძენი მეცნიერი და მოგზაური სტრაბონი, აღნიშნავდა რომ „საქართველოს მიწები უფრო მეტადაა მორწყული მდინარეთა წყლებით, ვიდრე ბაბილონისა და ეგვიპტისა“ [5].

არქეოლოგიური გათხრებით აღმოჩენილია თამარ მეფის დროინდელი XII საუკუნეში გაყვანილი სამგორის 20 კმ-იანი და ალაზნის 119 კმ-იანი სიგრძის არხები, რომლებითაც ირწყვებოდა 5000 - ზე მეტი ჰა მიწები ტირიფონის ველის, რუის-ურბნისის, მუხრანის, სამგორისა და კახეთის ტერიტორიები [6]. ეს იმაზე მიუთითებს, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატი 8-9 საუკუნის წინათაც სიმშრალითა და მაღალი თერმიული ველით ხასიათდებოდა. ასეთი კლიმატური პირობები იყო აგრეთვე II ათასწლეულის დასაწყისში, როდესაც პოლარული რაიონები განთავისუფლდნენ ყინულებისგან და ვიკინგებმა აღმოაჩინეს მწვანე გრენლანდია, აფრიკაში კი მაშინ ჩამოყალიბდა საჰარის უდაბნო.

XVIII საუკუნეში ვახუშტი ბაგრატიონი თავის ისტორიულ-გეოგრაფიულ ნაშრომში „აღწერა სამეფოსა საქართველოსა“ აღნიშნავდა, რომ ალაზნის ველი ტყით იყო დაფარული, რაც დადებით როლს ასრულებდა გვალვიანობის შესუსტებასა და შერბილებაში. ალაზნის ქვემო წელში ვახუშტის აღწერით „ზაფხული არის

ცხელი, ხაშმიანი და გაუსადლისი“. ამჟამად მდ. იორის აუზის ქვემო წელში გვალვიან თვეთა რიცხვი ზოგჯერ 3-4 თვეა [4].

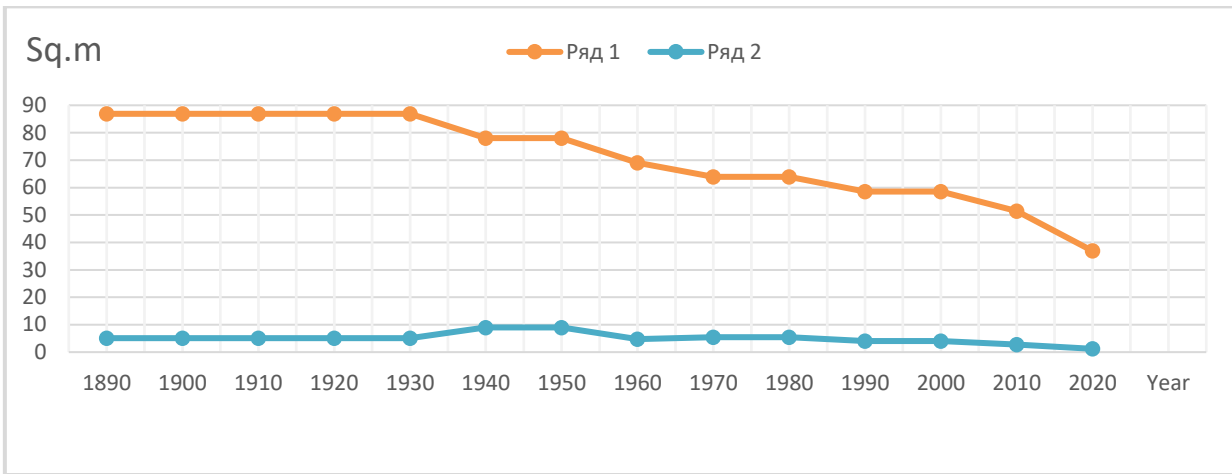
აღმოსავლეთ საქართველოში ხშირი გვალვა არა მარტო სოციალური და ეკონომიკური, არამედ ეკოლოგიური პრობლემაა, რადგან საფრთხეს უქმნის კავკასიონის მყინვარებს, იწვევს რა მათ აბლაცის მაღალი ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების დეფიციტის პირობებში. სამრეწველო ინდუსტრიალიზაციის შედეგად ნეგატიურმა ანთროპოგენურმა ფაქტორებმა გაზარდა ატმოსფეროს გაჭუჭყიანების ხარისხი და მყინვარებზე მტვრის დაგროვებამ დააჩქარეს მყინვარების აბლაცია, რითაც დაირღვა მთელ კავკასიაზე ეკოლოგიური წონასწორობა.

როგორც ცხრილ 1-სა და ნახ. 1-ის მონაცემებიდან ირკვევა, აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში არსებული მყინვარების ფართობები დროთა განმავლობაში მნიშვნელოვნად იცვლებოდა. XIX საუკუნის 90-იან წლებში მდ. თერგის სათავეებში მყინვარების ფართობი 86,9 კვ.კმ იყო, 2020 წელს ის 36,9 კვ.კმ -მდე შემცირდა. ე.ი. გასული 130 წლის განმავლობაში დაიკლო 57,5 %-ით. მდ. დიდი ლიახვის სათავეებში არსებული 5,1 კვ.კმ ფართობის მყინვარი 2020 წელს 1,2 კვ.კმ გახდა. მისი 3,1 კვ.კმ -ით შემცირება მისი ფართობის 76,4 %-ს შეადგენს. მდ. თეთრი არაგვის სათავეში 2,2 კვ.კმ მყინვარი კი, 0,3 კვ.კმ გახდა, ე.ი. შემცირდა 1,9 კვ.კმ -ით რაც მისი ფართობის 86 %-ია.

მდინარეთა აუზებში მყინვარების ფართობების შემცირების ასეთი (57% - 86%) განსხვავება განპირობებულია ძირითადად მყინვარების მდებარეობის სიმაღლითი სხვადასხვაობით. მდ. ლიახვისა და არაგვის აუზებში მყინვარების ფართობების მნიშვნელოვანი შემცირება მიუთითებს იმაზე, რომ მომავალში ჰაერის ტემპერატურის მომატების პირობებში მყინვარები სავარაუდოდ გაქრებიან, რაც უარყოფითად აისახება მდინარეთა წყლიანობაზე და შესაბამისად სარწყავი წყლის რესურსებზე.

ცხრილი 1. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა სათავეებში არსებული მყინვარების ფართობები (კვ.კმ)

წლები	1890	1946	1960	1965	1970	1990	2010	2015	2020
წყარო	[7]	[4]	[4]	[7]	[8]	[4]	[9]	[9]	[9]
დიდი ლიახვი	5,1	9,0	4,8	6,6	5,5	4,0	2,8	1,8	1,2
არაგვი	2,2			1,5	1,2	0,8	0,4	0,4	0,3
თერგი	86,9	78,0	69,0	68,0	63,9	58,5	51,4	42,4	36,9
ასა	8,8			3,8	1,7		1,4	1,0	0,5
არღუნ	6,5			2,1	1,3		0,8	0,3	0
პირიქითა ალაზანი	11,3			9,0	8,8		5,5	3,0	0,9
ჯამი	120,8			91,0	82,4		62,3	48,9	39,8



ნახ. 1. მდინარეთა აუზებში არსებული მყინვარების ფართობების (კვ.კმ) მრავალწლიური სვლა
 1 - მდ. თერგი, 2 - დიდი ლიახვი

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე მიედინება 7951 მდინარე, რომელთა საერთო სიგრძე 24704 კმ-ია. მათგან 7198 მდინარე 23516 კმ სიგრძით წარმოადგენს საქართველოს დედა მდინარე - მტკვრის შენაკადებს. დანარჩენი 757 მდინარე 1193 კმ სიგრძით კავკასიონის ჩრდილო ფერდობზე მიედინება კასპიის ზღვისკენ.

მდინარეების გარდა აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ხელოვნურად გაყვანილია სარწყავი არხების ხშირი ქსელი, რომელთა სიხშირე მეტია მდინარეთა ქსელის ბუნებრივ (0,68 კმ/კმ²) სიხშირეზე. მაგალითად ქვემო ქართლის ზეგანზე სარწყავი არხების საერთო სიგრძე 16500კმ - ია, რაც სამჯერ აღემატება ამ რეგიონის მდინარეთა საერთო სიგრძეს [5]. მთლიანად აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული სარწყავი სისტემები თვითდინებით ზედაპირული მორწყვის წესით მოქმედებს 83200 კმ სიგრძის სარწყავი არხები, საიდანაც 15350კმ ღია არხებია, რომელთაგან 11920 კმ-ს მოუპირკეთებელი მიწის კალაპოტი აქვს, რაც ხასიათდება წყლის დიდი დანაკარგებით. ამას გარდა, აქ 1992 წლიდან (სახელმწიფო გადატრიალების შემდეგ) განადგურდა აქ არსებული როგორც სამეურნეო საწარმოები, ასევე საირიგაციო სისტემები, სატუმბო დანადგარები, გაიჩეხა ტყეები და ქარსაცავი ტყის ზოლები, რის გამოც გაძლიერდა ეროზია და ნიადაგების დეგრადაცია. თითქმის სამი ათეული წლის მანძილზე აღარ ფუნქციონირებდა დაზიანებული სარწყავი არხები. სადღეისოდ უკვე ჩატარდა და კვლავ ტარდება აღდგენითი სამუშაოები სოფლის მეურნეობის აღორძინებისათვის.

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის რესურსების საერთო რაოდენობა შეადგენს 13,45 კუბ.კმ -ს, საიდანაც 11,25 კუბ.კმ მოცულობა ფორმირდება ადგილობრივად, დანარჩენი 2,20 კუბ.კმ ტრანზიტულია [7]. მდინარეთა წყლის რესურსების ეს შეფასება წარმოადგენს მის მრავალწლიურ საშუალო სიდიდეს, რომელიც ტერიტორიაზე არსებული კლიმატური პირობების ცვლილების მიხედვით, წლიდან წლამდე იცვლება.

იმის გამო, რომ საქართველოს მთის მდინარეთა წყლის ჩამონადენის ფორმირების პირობები ცალკეულ მდინარეთა აუზებში მეტად განსხვავებულია, ამიტომ მათი ცვლილების რეჟიმიც დიდი მრავალფეროვნებით გამოირჩევა და ატარებს ინდივიდუალურ ხასიათს.

დღეისათვის არ არსებობს ერთიანი მეთოდი, რომელიც სრულყოფილად აღწერს მდინარეთა წყლის ჩამონადენის მრავალწლიური ცვლილების პროცესს, ამიტომ გამოყენებულ იქნა რამდენიმე ერთმანეთის შემავსებელი და დამაზუსტებელი შეფასების ხერხი. გაანგარიშებულ იქნა ცალკეულ ათწლეულებში არსებული წყლის ხარჯების საშუალო მნიშვნელობები, რომელთა მიხედვით გაირკვა მდინარეთა წყლიანობის მიმდინარე ცვლილების ტენდენციები. განისაზღვრა აგრეთვე ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით სხვაობები წყლის ხარჯებისა ყოველ მომდევნო ათასწლეულებს შორის. ამ სხვაობებით შეფასდა რაოდენობრივად მდინარეთა წყლიანობის მიმდინარე ცვლილება მთელი გასული საუკუნის განმავლობაში.

მომავალში მდინარეთა მოსალოდნელი შეფასების მიზნით გამოყენებულ იქნა კლიმატის გლობალური საპროგნოზო მოდელის მიხედვით აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე. ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების პროგნოზები, რომელთა მიხედვით განისაზღვრა მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების სავარაუდო ტენდენციები.

კვლევის მიზნით გამოყენებულ იქნა აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის ხარჯებზე 1982 წლამდე არსებულ დაკვირვებათა მონაცემები გამოქვეყნებული [10-13] ცნობარებში. მას შემდეგ დაკვირვებათა მონაცემები აღარ გამოქვეყნებულა და ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში მათი მოპოვება იყო მეტად ძვირადღირებული მატერიალურად ხელმოკლე მეცნიერთათვის, რის გამოც ვედარ ხდებოდა მათი სათანადო კვლევა. ამჯერად საქართველოში მიღებული, წყლის კანონის [14] აღსრულების შედეგად გარკვეული ადმინისტრაციული მოთხოვნის საფუძველზე გარემოს ეროვნული სააგენტოდან [15] მიღებულ იქნა 2024 წლამდე 10 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოს წყლის ხარჯების მონაცემები. მათი ანალიზიდან გაირკვა, რომ 90-იანი წლებიდან მდინარეებზე აღარ ხდებოდა რეგულარული დაკვირვებები. მაგალითად მდ. მტკვარზე დედაქალაქ თბილისში 1993 წლის შემდეგ მხოლოდ 2021 წელს აღდგა დაკვირვებები. მთელ აღმოსავლეთ საქართველოში მხოლოდ ერთ საგუშაგოზე მდ. ალაზანზე სოფ. შაქრანთან არის უწყვეტი რიგი დაკვირვებებისა, რადგან იქ იღებს სათავეს ქვემო ალაზნის სარწყავი არხების სისტემა და ინტენსიურად ხდება წყალაღება სასოფლო სავარგულების სარწყავად.

საყურადღებოა, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეებზე 1982 წლამდე არსებული მონაცემების სათანადო ანალიზი მოცემულია [5, 7] მონოგრაფიებში. 1991 წლამდე არსებული მონაცემების ანალიზი კი მოცემულია [16-19] შრომებში. მას შემდეგ 33 წლის მანძილზე არსებული მონაცემების დამატებით აღარ ჩატარებულა მათი ანალიზი.

შედეგები

განვლილი პერიოდის განმავლობაში მდინარეთა აუზებში კლიმატის მიმდინარე დათბობისა და ანთროპოგენური დატვირთვის შედეგად შეიცვალა მათი წყლიანობის ფორმირების პირობები და შესაბამისად შეიცვალა მდინარეთა წყლის ჩამონადენი. ამ ცვლილების შესწავლის მიზნით 10 მოქმედი ჰიდროლოგიური საგუშაგოს გარდა, საკვლევი ობიექტების გაფართოების მიზნით, შეირჩა კიდევ ადრე მოქმედი გრძელრიგის დაკვირვების მქონე საგუშაგოების მონაცემები. საკვლევ მდინარეთა აუზების ჰიდროგრაფიული და ჰიდრომეტრიული მახასიათებლები მოცემულია [20] ნაშრომში.

დაკვირვებათა გამოტოვებულ შემთხვევებში მდინარეთა წყლის ხარჯებზე პარალელურ დაკვირვებათა მონაცემების მჭიდრო ურთიერთკავშირების შემთხვევაში გამოვლინდა ანალოგი მდინარეები. აღსანიშნავია, რომ მდინარეთა აუზებში წყლიანობის ფორმირების პირობების მკვეთრი სხვადასხვაობის გამო, ზოგიერთი მდინარესთვის ვერ მოხერხდა ანალოგი მდინარის გამოვლენა და წყლის ხარჯების მონაცემთა აღდგენა. ანალოგ მდინარეთა პარალელურ დაკვირვებათა მონაცემების კორელაციური ანალიზითა და გრაფიკული ინტერპოლაციით მოხდა დაკვირვებათა გამოტოვებულ შემთხვევებში მდინარეთა წყლიანობის აღდგენა. შედეგად მიღებულ იქნა 22 საგუშაგოზე 1921-2023 წლებში წყლის ხარჯების 55-97 წლიანი რიგები. სათანადო კომპიუტერული პროგრამის [21] მიხედვით, ამ მონაცემების სტატისტიკური დამუშავებით, მიღებულია წყლის საშუალო მრავალწლიური ხარჯების ნორმები და მათი ძირითადი პარამეტრები მოცემულია [19] ნაშრომში, რომლებიც არიან მთავარი მახასიათებლები ყველა სახის წყალსამეურნეო გაანგარიშებებისათვის.

ცხრილი 2. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლის საშუალო ხარჯები (მ³/წმ) ათწლეულების მიხედვით

მდინარე	პუნქტი	1931-1940	1941-1950	1951-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2010	2011-2020
მტკვარი	ხერთვისი	38,6	32,8	32,2	30,4	32,1	32,3	33,8	34,2	36,0
მტკვარი	მინაძე	54,5	52,0	55,4	60,6	56,9	59,5	62,2	60,3	65,1
მტკვარი	ბორჯომი	93	82,3	81,4	80,4	83,8	96,7	94,5	88,3	81,5
მტკვარი	ძეგვი	190	160	162	158	175	160	184	190	171
მტკვარი	თბილისი	234	198	204	184	208	195	228	233	208
ფარავანი	ხერთვისი	19,7	17,1	18,8	18,8	17,9	19,2	18,4	19,4	12,8

ფოცხოვი	სხვილისი	23,1	20,1	22,3	19,5	20,6	26,1	21,4	22,6	19,9
ბორჯომულა	ბორჯომი	2,67	2,36	2,27	2,41	2,68	3,01	2,47	2,6	2,4
დ. ლიახვი	კეხვი	26,9	27,0	25,3	26,0	27,8	30,3	17,3	20,7	-
პ. ლიახვი	ვანათი	9,06	10,0	9,95	8,88	9,0	10,3	3,82	5,9	-
ქსანი	კორინთა	6,49	9,03	11,8	10,0	7,3	9,13	3,34	6,44	-
არაგვი	ჟინვალა	51,7	43,5	43,5	44,1	47,8	44,5	40,1	-	-
თ. არაგვი	ფასანაური	14,2	11,5	12,0	11,7	12,2	12,4	11,2	-	-
შ. არაგვი	შესართავი	8,34	7,49	8,0	7,19	7,7	8,18	-	-	-
ფშ. არაგვი	მღაროსკარი	21,2	18,4	18,3	16,4	20,5	21,3	-	-	-
იორი	ლელოვანი	15,3	12,0	10,4	10,6	12,7	10,9	13,2	20,9	13,1
ალაზანი	ბირკიანი	17,6	14,5	13,1	14,9	15,4	12,0	13,9	19,1	10,5
ალაზანი	შაქრიანი	52,3	44,5	44,9	41,0	41,5	44,9	41,9	57,1	33,5
ინწობა	საბუე	-	-	-	1,46	1,63	1,23	1,76	2,36	0,97
ქცია ხრამი	ედიკილისა	9,27	8,47	8,62	7,98	8,29	8,33	10,3	9,34	6,45
ქცია ხრამი	წით.ხიდი	62,1	54,6	52,5	47,8	47,4	52,2	59,8	62,1	32,0
მაშავერა	დმანისი	7,26	5,04	4,95	5,56	5,39	5,86	4,02	7,37	3,29

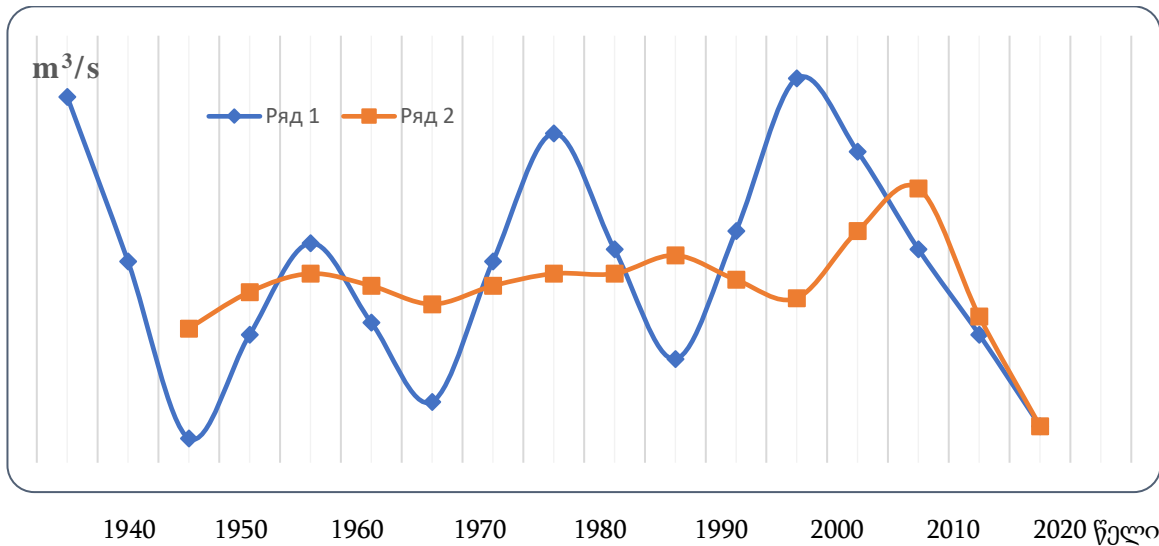
ცხრილ 2-ში მოცემულია მდინარეთა საკვლევ 22 საგუშაგოზე წყლის ხარჯების საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები ცალკეულ ათწლეულებში. ისინი ასახავენ დროთა განმავლობაში მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების ტენდენციებს. როგორც ირკვევა ცალკეულ ათწლეულებში წყლის ხარჯები ხან იზრდებოდა, ხან მცირდებოდა, რაც ქრონოლოგიურად ასე შეიძლება აღიწეროს: პირველ (1921 - 1930 წწ) ათწლეულში მდინარეთა წყლის ხარჯებზე დაკვირვებები მიმდინარეობდა მხოლოდ მდ. მტკვარზე ქ. ბორჯომთან და ქ. თბილისთან. მაშინ იქ აღრიცხული წყლის ხარჯები ნაკლები იყო მათ საშუალო მრავალწლიურ მნიშვნელობებზე.

მეორე (1931 - 1940 წწ) ათწლეულში კი მდ. მტკვრის წყლის ხარჯები ცალკეულ საგუშაგოებზე გაიზარდა 13 - 32 მ³/წმ-ით. შემდეგ ათწლეულებში მდინარეთა წყლიანობის ცვლილება სხვადასხვა ხასიათს ატარებდა. მათგან გამორჩეული იყო 1971 - 1990 წლები, როდესაც წყლიანობა ძირითადად იზრდებოდა. მაშინ კლიმატის დათბობის მოქმედებით აქტიურად დადნა მყინვარებისა და თოვლნარების ნაწილი. ასეთივე წყლიანობის მატება აღინიშნა 2001 - 2010 წწ ათწლეულში, რაც ნალექიანობის მატებითა და აგრეთვე მყინვარებისა და თოვლნარების აქტიური დნობით იყო განპირობებული.

ამის საწინააღმდეგოდ ბოლო 2011 - 2020 წწ ათწლეულში მდ. მტკვრის ზემო წელის საგუშაგოების (ხერთვისი და მინამე) გარდა, ყველა საგუშაგოზე აღირიცხა მდინარეთა წყლიანობის მკვეთრი შემცირება, რაც შეიძლება აიხსნას იმით, რომ მაღალი ტემპერატურების შედეგად გაიზარდა აორთქლება, ნიადაგების გამოშრობა, შემცირდა მიწისქვეშა წყლები და შესაბამისად მდინარეთა წყლიანობაც. აღსანიშნავია, ის ფაქტი რომ ამ ბოლო ათწლეულში არ იყო წყლიანობის აღრიცხვა მდინარეებზე: ლიახვზე, ქსანზე და არაგვზე, სადაც მაღალი ტემპერატურების გამო აქტიურად მიმდინარეობდა დარჩენილი მყინვარებისა და თოვლნარების დნობა და ამის შესაბამისად მდინარეთა წყლიანობის გაზრდა.

ცხრილ 3 - ში მოცემულია ცალკეული ათწლეულების წყლის ხარჯებს შორის სხვაობები ქრონოლოგიური თანმიმდევრობით. ამ სხვაობების რიცხვითი მნიშვნელობებით აღიწერება მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების რაოდენობრივი შეფასება, რაც მეტად მნიშვნელოვანია მათი პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით წყალსამეურნეო გაანგარიშებებში.

მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების მიმდინარეობაზე ნათელ წარმოდგენას იძლევა ნახ. 2-ზე გამოსახული ცალკეული ათწლეულების წყლის ხარჯებს შორის სხვაობების ქრონოლოგიური სვლა მდ. მტკვრისა ქ. თბილისთან და მდ. ალაზნისა ს. შაქრიანთან.



ნახ. 2. მდინარეთა წყლიანობის (მ³/ს) სხვაობები ცალკეულ ათწლეულებს შორის თანმიმდევრულად 1921 წლიდან 2021 წლამდე: 1 - მდ. მტკვარი - ქ. თბილისი, 2 - მდ. ალაზანი - ს. შაქრიანი

მომავალში მდინარეთა წყლიანობის მოსალოდნელი ოდენობის განსაზღვრისათვის გამოყენებულ იქნა წყლის მთავარი მაფორმირებელი კლიმატური ფაქტორების ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების პროგნოზები, შედგენილი კლიმატის გლობალური საპროგნოზო RCP 4.5 მოდელის მიხედვით [22], სადაც შეფასდა ორ 30 წლიან პერიოდში (2041 – 2070 და 2071 – 2100 წწ) ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების სამომავლო მნიშვნელობები საქართველოს ცალკეული მეტეოროლოგიური სადგურებისთვის.

დადგენილია, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე 1971 – 2000 წლებთან შედარებით ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა 2041 – 2070 წლებში 1,8 - 3,0 °C - მდე გაიზრდება, 2071 – 2011 წლებში კი 2,1 – 3,7 °C - მდე. ყველაზე ნაკლებად ტემპერატურა იმატებს ადიგენში, ყველაზე მეტად კი საგარეჯოში.

ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამი 2041 - 2070 წწ პერიოდში შემცირდება 9% - ით, ყველაზე მეტად (12,8 %) ნალექები შემცირდება ფასანაურში, ნაკლებად (3,3%) შემცირდება საგარეჯოში. 2071 - 2100 წლებში ნალექების წლიური ჯამი წინა პერიოდთან შედარებით უმნიშვნელოდ (1 - 6%) იცვლება. ნალექები ყველაზე მეტად (31 %) შეიცვლება ახალქალაქში, მთიანეთში კი უცვლელი რჩება.

ამრიგად, შეიძლება ითქვას, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის პირობებში, მოსალოდნელია ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი მატება და ატმოსფერული ნალექების შემცირება. მდინარეთა წყლის ჩამონადენის მთავარი განმსაზღვრელი ფაქტორების ასეთი ცვლილების შესაბამისად შეიცვლება მათი წყლიანობაც. ჰაერის ტემპერატურის გაზრდა გამოიწვევს მყინვარების დნობას, მაგრამ მათი ფართობები მდინარეთა სათავეებში უკვე ისეა შემცირებული რომ მათი დნობა ვერ გამოიწვევს მდინარეთა წყლიანობის მნიშვნელოვან მომატებას.

**ცხრილი 3. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა ცალკეულ ათწლეულებში
 არსებულ წყლის ხარჯებს შორის სხვაობები**

მდინარე	პუნქტი	1941-	1951-	1961-	1971-	1981-	1991-	2001-	2011-
		1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
		1931-	1941-	1951-	1961-	1971-	1981-	1991-	2001-
		1940	1960	1960	1970	1980	1990	2000	2010
მტკვარი	ხერთვისი	-5,8	-0,6	-1,8	1,7	0,2	1,5	0,4	1,8
მტკვარი	მინამე	-2,5	3,4	5,2	-3,7	2,6	2,7	-1,9	4,9
მტკვარი	ბორჯომი	-10,7	-0,9	-1	3,4	12,9	-2,2	-6,2	-6,8
მტკვარი	ძეგვი	-30	2,0	-4	17	-15	24	6,0	-19
მტკვარი	თბილისი	-26	6,0	-20	24	-13	33	5,0	-24
ფარავანი	ხერთვისი	-2,6	1,7	0	-0,9	1,3	-0,8	1,0	-6,6
ფოცხოვი	სხვილისი	-3,0	2,2	-2,8	1,1	5,5	-4,7	1,2	-2,7
ბორჯომულა	ბორჯომი	-0,31	-0,29	0,14	0,27	0,33	-0,54	0,13	-0,2
დ. ლიახვი	კეხვი	0,1	-1,7	0,7	1,8	2,5	-13	3,4	-
პ. ლიახვი	ვანათი	0,04	-0,05	-1,07	0,13	1,29	-6,48	2,08	-
ქსანი	კორინთა	2,54	2,77	-1,8	-2,7	1,43	-5,79	3,1	-
არაგვი	ჟინვალისი	-8,2	0	0,6	3,7	-3,3	-4,4	-	-
თ. არაგვი	ფასანაური	-2,7	0,5	-0,3	0,5	0,2	-1,2	-	-
შ. არაგვი	შესართავი	-0,85	0,51	-0,81	0,51	0,42	-	-	-
ფშ. არაგვი	მალაროსკარი	-2,8	-0,1	-1,9	4,1	0,8	-	-	-
იორი	ლელოვანი	-3,3	-1,6	0,2	2,1	0,2	2,3	7,7	-7,8
ალაზანი	ბირკიანი	-3,1	-1,4	1,8	0,5	-3,4	1,9	5,2	-8,7
ალაზანი	შაქრიანი	-7,8	0,4	-3,9	0,5	3,4	-3	15,3	-23,6
ინწობა	საბუე	-	-	-	0,17	-0,4	0,53	0,6	-1,39
ქცია ხრამი	ედიკილისა	-0,8	0,15	-0,64	0,31	0,04	1,97	-0,96	-2,89
ქცია ხრამი	წით.ხიდი	-7,5	-2,1	-4,7	-0,4	4,8	7,6	2,3	-30,1
მაშვერა	დმანისი	-2,22	-0,09	-0,89	-0,17	0,45	-1,84	3,35	-4,08

ამასთან ერთად მდინარეთა აუზების ზედაპირზე აორთქლების მომატება და გვალვიანობა გამოიწვევს ნიადაგების გამოშრობასა და მიწისქვეშა წყლების დონის დაწევას, წყაროების დაშრობას და შედეგად მდინარეთა წყლის რესურსების შემცირებას. ასეთ შემთხვევაში სარწყავი წყლის უკმარისობა გამოიწვევს ქართლის ფართო ველებისა და კახეთის ნოყიერი ნიადაგების დეგრადაციას, შეფერხებს და შეამცირებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ვეგეტაციას და მათ მოსავლიანობას. გაიზრდება აგრეთვე ხანძარსაშიშროება და ალტერნატიული ღონისძიებების მიუღებლობის შემთხვევაში შეიძლება განვითარდეს გაუდაბნოების პროცესი.

ამის მაგალითია კახეთში არსებული შირაქის ვრცელი ველი, რომელსაც ადრე საქართველოს პურის ბელეს უწოდებდნენ, მაგრამ დღეს იქ აღარაფერი ითესება, რადგან კლიმატის დათბობისა და ქარსაფარი ზოლების განადგურებით, აგრეთვე ჭარბი პესტიციდების გამოყენებით გამოშრა ნიადაგები და შეიცვალა მათი შედეგნილობა. ამის შედეგად იქ თანდათან ვითარდება გაუდაბნოების პროცესი, რაც უკვე გამოხატულია ელდარის ველზე. გვალვიანობის შედეგად ქვემო ქართლსა და შიდა კახეთში უკვე დაზიანებულია 200 ათასი ჰა მიწა და 3 ათასი ჰა - ზე დაწყებულია გაუდაბნოების პროცესი.

დასკვნა

აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების შესწავლის მიზნით, გამოყენებულ იქნა სადღეისოდ მოქმედი 10 ჰიდროლოგიური საგუშაგოსა და აგრეთვე ადრე მოქმედი გრძელრიგიან დაკვირვებათა მქონე საგუშაგოების მონაცემები. 22 საგუშაგოზე განისაზღვრა მდინარეთა წყლის ხარჯების საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები ცალკეულ ათწლეულებში, რომელთა ურთიერთ შედარებით გამოვლინდა მდინარეთა წყლიანობის მიმდინარე ცვლილების არსებული ტენდენციები.

განგარიშებულია აგრეთვე ცალკეულ ათწლეულებში წყლის ხარჯებს შორის სხვაობები, რომლითაც განისაზღვრება წყლიანობის მიმდინარე ცვლილების რაოდენობრივი შეფასება და რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნეს პრაქტიკულად წყალსამეურნეო განგარიშებებში.

მომავალში მდინარეთა წყლიანობის მოსალოდნელი ოდენობის განსაზღვრისათვის გამოყენებულ იქნა მისი მაფორმირებელი მთავარი კლიმატური ფაქტორების ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების პროგნოზები შედგენილი კლიმატის საპროგნოზო სცენარის მიხედვით. როგორც გაირკვა კლიმატის მიმდინარე გლობალური დათბობის პირობებში აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე მოსალოდნელია ჰაერის ტემპერატურის კვლავ მომატება და ატმოსფერული ნალექების შემცირება. ამის გამო გაიზრდება გვალვიანობა, აორთქლება, ნიადაგების გამოშრობა და მათი ეროზია, მოხდება მიწისქვეშა წყლების დონის დაწევა, წყაროების დაშრობა და შედეგად შემცირდება მდინარეთა წყლიანობა.

ასეთ პირობებში შეიქმნება სარწყავი წყლის რესურსების უკმარისობა, რაც გამოიწვევს ქართლის ფართო ველებისა და კახეთის ნოყიერი ნიადაგების დეგრადაციას, შეფერხდება და შემცირდება მცენარეთა ვეგეტაცია და მოსავლიანობა, გაიზრდება ხანძარსაშიშროებები და მოსალოდნელია განვითარდეს გაუდაბნოების პროცესი.

აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე შექმნილი ასეთი ვითარება მეტად უარყოფითად იმოქმედებს გარემოს მდგომარეობაზე, მოსახლეობის კეთილდღეობაზე და რაც მთავარია ქვეყნის ეკონომიკის განვითარებაზე. ამის გამო აუცილებელია უკვე დაიწყოს წყლის რესურსების დაზოგვისა და მათი შევსებისათვის საჭირო ღონისძიებების შემუშავება და მათი დროული განხორციელება.

წყლის რესურსების შენარჩუნებისა და მათი რაციონალურად გამოყენების მიზნით დანაკარგების გარეშე, აუცილებელია წყალგამოყენების სისტემების სრული რეკონსტრუქცია, რეაბილიტაცია და საწარმოებში მრავალმხრივი ტექნოლოგიებისა და წყლის მეორადი გამოყენების სისტემების დანერგვა. მცენარეთა მოსავლიანობის მისაღებად კი საჭიროა ეტაპობრივად ჩატარდეს გარკვეული ღონისძიებები, რომელთა შორის აღსანიშნავია სარწყავი არხების გაწმენდა და მოპირკეთება, ჭაბურღილებისა და სატუმბო სადგურების მოწესრიგება, წვეთოვანი და დაწვიმებითი მორწყვის განვითარება, გვალვაგამძლე მცენარეთა ჯიშების გავრცელება, არასავეგეტაციო პერიოდში გამოუყენებელი წყლის რესურსების დაგროვების მიზნით სათანადო წყალსატევების მოწყობა და სხვა.

ლიტერატურა-REFERENCES

1. UNEP's Global Environmental Outlook, 2003, 540 p.
2. Water for People, Water for Life. UN Report on the State of the World's Water Resources. 2003
3. Smith K.R. at al. chapter II: Human health; impacts; adaptation and co. benefits. Archived 8.07.2014
4. Elizbarashvili E. Climate of Georgia. GTU, IHM, Tbilisi, 2017, 360 p.
5. Khmaladze Georgi. The Water Resources of Georgia. Tbilisi, 2009, 43 p.
6. Ukleba N. The Use of the Georgian Water Resources in National Economics. Publishing of University, Tbilisi, 1977, 394 p.
7. Water resources of Transcaucasia, GIMIZ, Leningrad, 1988, 264 p.
8. Catalog of Glaciers of USSR, Vol. 9, Issue 3, Part 1, GIMIZ. Leningrad, 1975, 95 p.
9. Kordzakhia G., Shengelia L., Tvauri G., Guliashvili G. Study of Eastern Georgia Glacier Basins Degradation as a Result of Ongoing Climates Change Using Satellite Remote Sensing. Science and Technologies. Scientific Reviewed Magazine. 2025, № 1 (747). Tbilisi, pp. 7-14. DOI: <https://doi.org/10-36073/0130-7061>
10. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1967, 460 p.
11. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1977, 358 p.
12. Fundamental Characteristics of Hydrology. Vol. 9, Issued 1, GIMIZ, Leningrad, 1978, 300 p.
13. State Water Cadaster, Vol. VI, Georgian SSR, GIMIZ, Leningrad, 1987, 416 p.
14. Georgian Laws of the Water, № 936, 20/07/2018
15. Department of Hydrometeorology of National Environmental Agency. Tbilisi, 2024
16. Basilashvili Ts., Salukvadze M., Tsoamaia V., Kherkheulidze G. Catastrophic of Flooding, Mudflow and Avalanches in Georgia and their Safety. Georgian Technical University. Tbilisi, 2012, p. 244
17. 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
18. 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, 224-235
19. Basilashvili Ts.Z. Updated Parameters of Average Annual River Discharge in Eastern Georgia. Scientific Reviewed Proceedings of the Institute of Hydrometeorology of the GTU, V. 136, 2025. DOI: doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-16-22
20. Basilashvili Ts., Pipia M., Arutiniani N. Trends in multi-year changes in the highest flood-related discharges on the rivers of Eastern Georgia. Science and Technologies, Scientific Reviewed Magazine. № 1 (747), Tbilisi, 2025. DOI: <http://doi.org/10.36073/0130-7061>
21. Basilashvili Ts. Statistical Analysis of Variables and Selection of Predictors for Prognostic Relationships. Annotated Index of Algorithms and Programs. World Data Center. Obninsk, 1977, pp. 43
22. Basilashvili Ts. Changes in River Runoff in Eastern Georgia under Contemporary Climate Warming. Science and Technologies. Scientific
23. Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A., Megrelidze L., Kutaladze N. Weather, Climate and their Change Regulates for the Conditions of Georgia. "Universal", Tbilisi, 2023, 405 p.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-18-28
UDC: 551.482.215.3

Current and Projected Changes in River Runoff under the Dry Climatic Conditions of Eastern Georgia/Basilashvili Ts. Z., Janelidze M. G., Basilashvili Kh. G./Transactions IHM, GTU. 2026. vol. 139. pp. 18-28. Georg., Summ. Georg., Eng. Rus.

Using river discharge observations from 22 hydrological gauging stations for the period 1924–2023, the study calculated long-term average values for individual decades and assessed the differences between them. The study identifies current trends in river runoff change and provides their quantitative evaluation. The findings are of practical significance for water-management calculations.

According to existing climate projections, a substantial increase in air temperature and a decrease in atmospheric precipitation are expected. Consequently, evaporation, drought frequency, soil desiccation and erosion, declining groundwater levels, spring depletion, and, ultimately, reduced river runoff are likely to intensify in the future. A decline in irrigation water resources may lead to reduced agricultural yields, increased fire risk, soil degradation, and the development of desertification processes. These changes could have a highly adverse impact on the environment, public well-being, and the country's economic development.

Therefore, it is essential to begin implementing preventive measures aimed at conserving and replenishing water resources. The article outlines the key measures to be undertaken.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-18-28

УДК: 551.482.215.3

მდინარეთა წყლიანობის მიმდინარე და მოსალოდნელი ცვლილება აღმოსავლეთ საქართველოს მშრალი ჰავის პირობებში/ბასილაშვილი ც.ზ., ჯანელიძე მ.გ., ბასილაშვილი ხ.გ./სტუდენტური კონფერენციის კრებული 2026, ტ. 139, გვ. 18-28. ქართ., რუს. ქართ., ინგლ., რუს.

მდინარეთა წყლის ხარჯებზე არსებული 1924-2023 წლების დაკვირვებათა მონაცემებით 22 ჰიდროლოგიურ საგუშაგოზე განისაზღვრა ცალკეულ ათწლეულებში საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობები და მათი სხვაობები. გაირკვა მდინარეთა წყლიანობის ცვლილების მიმდინარე ტენდენციები და მათი რაოდენობრივი შეფასება, რომელთაც აქვთ პრაქტიკული დანიშნულება წყალსამეურნეო განვითარებისათვის.

არსებული კლიმატური პროგნოზების მიხედვით მოსალოდნელია ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელოვანი მომატება და ატმოსფერული ნალექების შემცირება. ამის გამო მომავალში სავარაუდოა, რომ გაიზრდება აორთქლება, გვალვიანობა, ნიადაგების გამოშრობა და მათი ეროზია, მიწისქვეშა წყლების დონის დაწევა, წყაროების დაშრობა და შედეგად მდინარეთა წყლიანობის შემცირება. სარწყავი წყლის რესურსების შემცირება გამოიწვევს მოუსავლიანობას, გაიზრდება ხანძარსაშიშროებები, ნიადაგების დეგრადაცია და გაუდაბნობის პროცესის განვითარება, რაც მეტად უარყოფითად იმოქმედებს გარემოზე, მოსახლეობის კეთილდღეობაზე და ქვეყნის ეკონომიკურ განვითარებაზე. ამის გამო აუცილებელია დაიწყოს წყლის რესურსების დაზოგვისა და მათი შევსებისათვის საჭირო პრევენციული სამუშაოების განხორციელება. მითითებულია მთავარი ჩასატარებელი ღონისძიებების ჩამონათვალი.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-18-28

УДК: 551.482.215.3

Текущее и ожидаемое изменение водности рек в условиях сухого климата Восточной Грузии/Басиладшвили Ц.З. Джанелидзе М.Г., Басиладшвили Х.Г./Сб. Трудов ИГМ ГТУ, 2026. Том 139, с. 18-28, Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

По наблюденным данным расходов воды рек за период 1924-2023 годов на 22 гидрологических постах, определены их среднегодовые значения отдельных десятилетий и их разностей. Выявлены текущие тенденции изменения водности рек и их количественные оценки, которые имеют практическое назначение при водохозяйственных расчётах.

По существующим климатическим прогнозам, ожидается значительное увеличение температуры воздуха и уменьшение атмосферных осадков. Поэтому в будущем ожидается увеличение испарения, засух, высыхание и эрозии почвы, понижение уровней подземных вод, высыхание родников и уменьшение водности рек.

Уменьшение водных ресурсов для орошения вызовет неурожайность, увеличится пожароопасность, деградация почв и развитие опустынивания, что очень отрицательно подействует на окружающую среду, на благосостояние населения и на экономическое развитие страны. Поэтому, уже необходимо начать проведение превенциальных работ в целях сбережения и пополнения водных ресурсов. Указан перечень основных производимых мероприятий.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-29-36

უკ. 551.556.5

**მდინარეთა თერმული რეჟიმის ფორმირების თვისებები მდინარე ენგურის მაგალითზე
ს. გორგიჯანიძე, გ. ფიფია, გ.ჯინჭარაძე, თ. ჩიტაძე, ნ. კობახიძე, გ.გრიგოლია, გ. გაჩეჩილაძე**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
sophiogorgijanidz@gmail.com

რეზიუმე

მდინარის თერმული რეჟიმის ფორმირებას და მისი თერმული რეჟიმის ცოდნას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს. იმ შემთხვევაში, როდესაც დადგენილია ამა თუ იმ წყლის თერმული რეჟიმი, მაშინ ყოველთვის ვიცით წინასწარ ამ წყლის უმაღლესი სიმკვრივის მდგომარეობა; ვიცით მისი 10°C ტემპერატურის დადგომის და ხანგრძლივობის პერიოდი - ტემპერატურა, რომლის შემთავს გვაქვს სიცოცხლის და ვეგეტაციისათვის ხელშემწყობი პირობები; გარდა ამისა ვიცით ფორმულა, რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია წყლის ტემპერატურა გავიგოთ მაშინ, როდესაც ვიცით ჰაერის. ამ უკანასკნელ პერიოდში წყლის თერმულ რეჟიმს მიაქციეს დიდი ყურადღება, რადგანაც ატივანარებული მასალის დალექვა და მისი ვარდნის სიჩქარე დამოკიდებულია სიბლანტეზე და ეს უკანასკნელი კი პირდაპირ კავშირში იმყოფება ტემპერატურასთან. ამრიგად წყლის თერმული რეჟიმის ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს.

საკვანძო სიტყვები: თერმული, ხარჯი, ტემპერატურა, წყლის რეჟიმი.

შესავალი

მდინარეების თერმული რეჟიმის ფორმირება მიმდინარეობს მეტეოროლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური, ჰიდროლოგიური და მორფოლოგიური ფაქტორების ზეგავლენით. მდინარეებზე ყველა მოქმედი ფაქტორი შეიძლება დავყოთ ორ ძირითად ჯგუფად: გარეგან და შინაგან ფაქტორებად. გარეგან ფაქტორს მიეკუთვნება: მზის ჯამური რადიაცია, ჰაერის ტემპერატურა და ატმოსფერული ნალექები წვიმის და თოვლის სახით. შინაგან ფაქტორებს მიეკუთვნება, ნაკადის ჰიდროდინამიკური ელემენტები (ტურბულენტობა, სიჩქარე და ა.შ.), მდინარეთა წყლიანობის ცვალებადობა დროის მიხედვით და ასევე მიწისქვეშა წყლების რეჟიმი.

აღნიშნული ფაქტორების ზეგავლენით მდინარეების წყლის ტემპერატურა ხასიათდება: დღე-ღამური, სეზონური და წლიური მსვლელობით.

დღე-ღამის განმავლობაში წყლის ტემპერატურა მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს 14-16 საათზე. დიდ მდინარეებზე 18 საათისთვის. მინიმალური ტემპერატურა მდინარეებზე აღინიშნება მზის ამოსვლამდე მოცემული ადგილისათვის 2-3 საათით ადრე. წყლის ტემპერატურა დღე-ღამურ მსვლელობაზე დიდ გავლენას ახდენს ღრუბლიანობა. მისი ზეგავლენით წყლის ტემპერატურის ამპლიტუდა მცირდება და მინიმალურია მთლიანი მოდრულულობის პერიოდში

კვლევის მიზანი

წყლის ტემპერატურის ცვალებადობა მდინარის სიგრძის მიხედვით

წყლის ტემპერატურის ცვალებადობა მდინარის სიგრძის მიხედვით ძირითადად დამოკიდებულია მდინარის საზრდოობის პირობებზე, მდინარის სიგრძეზე და გეოგრაფიულ ლანდშაფტის ზონალობაზე. წყლის ტემპერატურა მდინარეების, რომლებიც მიემართება სამხრეთიდან ჩრდილოეთისაკენ, თანდათან მცირდება, ხოლო ჩრდილოეთიდან სამხრეთისაკენ გამდინარე მდინარეების კი, პირიქით, ინტენსიურად მატულობს.

ტყე-ველის ზონაში პატარა მდინარეებს გაცილებით მეტი ტემპერატურა აქვს, ვიდრე დიდ მდინარეებს.

მთის მდინარეთა წყლის ტემპერატურა ინტენსიურად მატულობს მთელი წლის განმავლობა მთიდან ვაკისკენ დინების მიხედვით. ზაფხულში ტემპერატურა მატულობს მდინარის მთელ სიგრძეზე, სათავიდან შესართავამდე. ზაფხულსა და შემოდგომაზე ზოგიერთ მდინარეებზე წყლის ტემპერატურა მთისწინებიდან გამოსვლის შემდეგ კლებულობს.

მდინარეთა წყლის ტემპერატურა გავლენას ახდენს მთავარი მდინარის ტემპერატურაზე. გარდა ამისა ის მდინარეები, რომლებიც გამოედინებიან დიდი ტბებიდან, დიდ სიგრძეზე ინარჩუნებენ ტბის ტემპერატურას.

აღსანიშნავია სეზონების მიხედვით წყლის ტემპერატურის ცვალებადობა, რომელიც გამოირჩევა არა თანაბრობით. წლის განმავლობაში გამოყოფენ ოთხ პერიოდს ტემპერატურის მიხედვით. ესენია:

1. გაზაფხულის დათბობის პერიოდი

2. ზაფხულის მაღალი ტემპერატურების პერიოდი
3. შემოდგომის აცივების პერიოდი
4. ზამთრის დაბალი ტემპერატურის პერიოდი.

წყლის განმავლობაში მაქსიმალური ტემპერატურა მდინარეებზე აღინიშნება ივლისის ბოლოს, აგვისტოს პირველ დღეებში; რაც უფრო წყალუხვია მდინარე, მაქსიმალური ტემპერატურის დადგომის პერიოდი იგვიანებს.

მინიმალური ტემპერატურა აღინიშნება იანვრის ბოლოს, თებერვლის დასაწყისში.

აღსანიშნავია, რომ მდინარეების ცოცხალ კვეთში ტემპერატურა განსხვავებულია და ეს განსხვავება მით უფრო დიდია, რაც უფრო დიდია ცოცხალი კვეთის ფართობი. დიდ მდინარეებზე ცოცხალი კვეთის ცალკეულ პერიოდში ტემპერატურათა სხვაობამ შეიძლება 4-8°C მიაღწიოს. მთის მდინარეებზე ტემპერატურათა სხვაობა უმნიშვნელოა და მათედ გრადუსებს შეადგენს. ხშირ შემთხვევაში იგი სრულიადაც არ არის.

მდინარეთა თერმული რეჟიმის განხილვის დროს მნიშვნელოვანია წყლის ტემპერატურის გარკვეულ გრადაციებზე გადასვლის ვადების დადგენა. ასეთ ტემპერატურებს წარმოადგენს 4⁰ და 10⁰C. 4⁰C იმიტომ, რომ წყალს ამ ტემპერატურის დროს აქვს უდიდესი სიმკვრივე და მისი დადგომის ვადების განსაზღვრა საინტერესოა, რადგან ამ დროს წყლის მასის მიერ ინტენსიურად მიმდინარეობს ჟანგბადის შეთვისება. ეს განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ზამთრის პერიოდისთვის ცოცხალი ორგანიზმების სიცოცხლის უზარალობის შესანარჩუნებლად. [Vladimirov, 1957, Ukleba 1967, G. Pipia, S. Gorgijanidze 2025].

10⁰C ტემპერატურა კი იმითაა მნიშვნელოვანი, რომ 10⁰C -ის ზევით აქტიურდება ცოცხალი ორგანიზმების განვითარების ინტენსივობა. 10⁰C ქვევით, კი ცოცხალი ორგანიზმების ზრდა-განვითარება სუსტდება და შეიძლება მთლიანად შეჩერდეს.

რაც შეეხება ზამთრის პერიოდს, როდესაც წყლის ზედაპირი 10-20 სმ ყინულითა და თოვლითა დაფარული, სითბოს ცვალებადობა ატმოსფეროსა და წყალს შორის აღარ ხდება, რადგან თოვლის ზედაპირი მზის სითბური ენერჯის თითქმის 70%-ს არეკლავს, ხოლო რადიაციის დანარჩენ ნაწილს შთანთქავს ან გაფანტავს თოვლის საფარის ზედა ფენა. წყდება აგრეთვე წყლის ზედაპირიდან აორთქლება და კონდენსაცია. სითბოცვლა წყალსა და ატმოსფეროს შორის ხორციელდება მხოლოდ თოვლისა და ყინულის საფარიდან სითბოგამტარობის საშუალებით. სითბოცვლა კალაპოტის ფსკერთან შედარებით მცირეა, ვიდრე სითბოცვლა წყლის ზედაპირსა და ატმოსფეროს შორის. ზაფხულის პერიოდში წყლიდან სითბოს კალაპოტის ფსკერი იღებს, ხოლო ზამთარში, პირიქით, წყალი სითბოს კალაპოტიდან იღებს.

როდესაც წყლის ზედაპირი თოვლისა და ყინულისგან თავისუფალია, განსაკუთრებით გაზაფხულის წყალდიდობისას წყლის ტემპერატურა დაბალია ჰაერის ტემპერატურაზე; ხოლო შემდეგ პირიქით, წყლის ტემპერატურა მაღალია ჰაერისაზე.

ჰაერის ტემპერატურა გადამწყვეტ როლს თამაშობს მდინარის ტემპერატურის სიდიდეზე და ჰაერის ტემპერატურა წარმოადგენს მდინარის ტემპერატურის სამზარეულოს, რომლის შესაბამისადაც იცვლება ამ უკანასკნელის მნიშვნელობა.

განვიხილოთ ჰაერისა და მდინარის ტემპერატურის ურთიერთ დამოკიდებულება კონკრეტულ მაგალითზე მდინარე ენგურზე სოფ. ხაიშთან, ჯვართან და დარჩელთან.

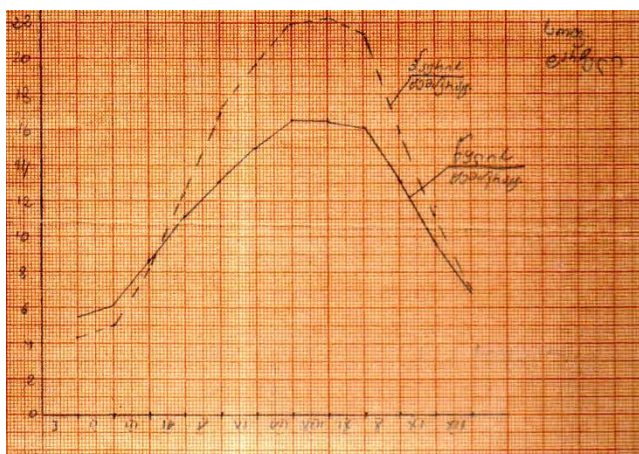
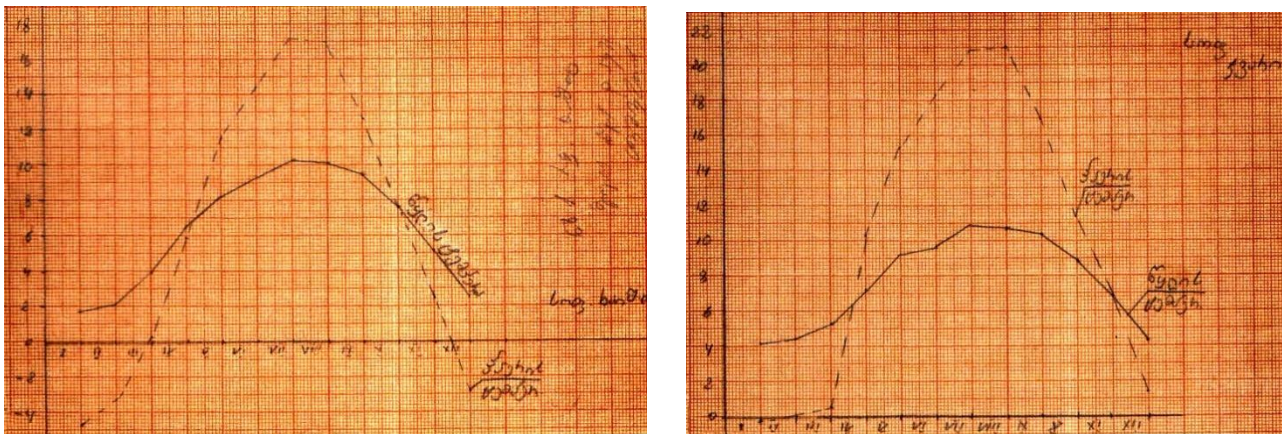
შესასწავლი არეალი

მდ. ენგური დასავლეთ საქართველოს მთიანი რაიონიდან იღებს სათავეს, (სამეგრელო-ზემო სვანეთი), ისტორიულად სვანეთის ზემო წელში. სწორედ სვანეთის ქვაბულის ღერძულ ნაწილში გაედინება მდ. ენგურის ხეობა სადაც მისი სიგრძე 95 კმ-ია (მთლიანი სიგრძეა 213 კმ, აუზის ფართობი 4060კმ²) [ka.wikipedia], მდინარის შენაკადების ხეობები კავკასიონის მთავარი ქედის სამხრულ ფერდობზეა დაქსელილი. ესენია: ნენსკრა, ნაკრა, დოღრა, ხალდე, არშირა, ლასილი, ლაილჭალა, თხეიში და სხვ., ზოგი ემორჩილება საერთო კავკასიურ მიმართულებას: მესტია-ჭალა, მულხრა, პადიშჭალა, ხუმფრერი, ქასლეთი) თავად ენგურის ხეობას, სხვადასხვა მონაკვეთებზე, განსხვავებული მორფოლოგიური ფორმა აქვს [Maruashvili 1964, Physical Geography 2000, Khazaradze 1977]. შხარისა და ენგურის მყინვარების ბოლოდან ენგურის ხეობა სუბმერიდიანული მიმართულებისაა და 12-15 კმ მანძილზე ტროგულ ფორმას ინარჩუნებს (სოფ უშგულის ქვემოთ 2,5 კმ), აქედან ხეობა ჩრდილო-დასავლური მიმართულებისაა 15-16 კმ-ზე ეროზიული რელიეფით ხასიათდება, შემდეგ კი სოფ. კალის ქვემოთ, ხეობა კვლავ ფართოვდება და აქა-იქ შეინიშნება ეროზიული საფეხურები. ივარის თემიდან ლატალამდე, 25 კმ-ის მანძილზე, ხეობა

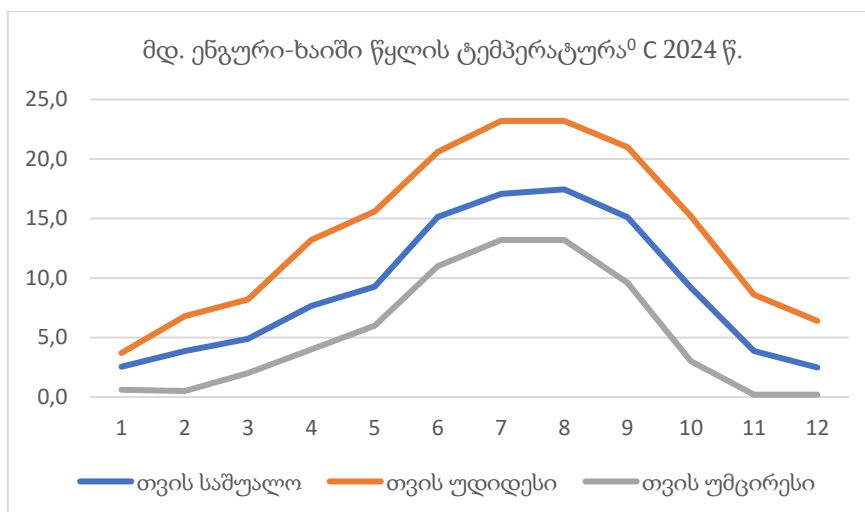
ასიმეტრიულია. ლატალთან (მდ. მულხურის შეერთება) ენგურის ხეობა ფართოვდება და აჩენს საკმაოდ დიდ მოვაკებას. აღნიშნული მონაკვეთის ჩამოყალიბებაში თვალსაჩინოა ძველი მყინვარების მონაწილეობაც. მდ. დოღრის შეერთებამდე ხეობა შევიწროებულია, შემდეგ კი მდ. ნაკრის შესართავამდე ისევ ფართოვდება. ამ მონაკვეთიდან ენგურის ხეობა იღებს სამხრეთ-დასავლურ მიმართულებას, რომელსაც ზემო სვანეთის ქვაბულიდან სოფ. ხაიშამდე ინარჩუნებს. ზემო სვანეთი მდიდარია მინერალური წყაროებით, რომელთა განსაკუთრებული სიუხვე შეინიშნება მდ. ენგურის მარჯვენა შენაკადები ხეობებში. მდ. ენგურის შენაკადებიდან ერთვის, რომელთაგან აღსანიშნავია მუხრის ხეობა; იგი ძირითადად განედური მიმართულებისაა და მასში თავს იყრის ტვიბერისა და წანერის მყინვარების დნობის წყალი (ჩამონადენი). მათი ხეობების ზემო ნაწილი გლაციალური ხასიათისაა. თუმცა ხეობის ფსკერი ამოვსებულია ტბიური, მყინვარული, დელუვიური და პროლუვიური ნალექებით. დაბა მესტიის მახლობლად ხეობა ვიწროვდება, სადაც იერთებს მარჯვენა შენაკადს - მესტიაჭალას მდ. მესტიაჭალა სათავეს იღებს ლეხზირისა და ჭალათის მყინვარებიდან. ხეობის ზედა ნაწილი ტროგულია, ქვემოთ თანდათან ფართოვდება და მისი სიგანე 1,5 კმ-ს აღწევს. მდ. ენგურს, 1140 მ აბსოლუტურ სიმაღლეზე, მარჯვნიდან დოღრის ხეობა ერთვის, რომელშიაც გაედინება ქვიშის, დოღრის და უშბის მყინვარებიდან ჩამონადენი წყლები. ხეობის სათავეში აღმართულია უშბის (4710 მ) მწვერვალი. დოღრის ხეობა ბოლომდე გამოკვეთილ ტროგულ ფორმას ინარჩუნებს, რომლის მარცხენა ფერდობზე, თითქმის ბოლომდე გაუყვება ძველი მყინვარის მიერ დატოვებული გასწვრივი საფეხურები. მდ. ნაკრის ხეობა მდ. ენგურს 890 მ ზ.დ. ერთვის და სუბმერიდიანული მიმართულებისაა. მისი უმეტესი ნაწილი გლაციალური ხასიათისაა და მხოლოდ შეერთების მონაკვეთზე, ვიწრო და ღრმა კალაპოტი აქვს ჩაჭრილი. მდ. ენგურს მარჯვენა მხრიდან, სოფ. ხაიშთან ერთვის უდიდესი შენაკადი - მდ. ნენსკრა (სიგრძე 42 კმ-მდე) [ka.wikipedia.]. მისი ხეობა ქვემოთ ფართოვდება, (აქ გაშენებულია ჭუბერის თემის სოფლები). [Vladimirov, 1957, Ukleba 1967, Kikilashili 1974] მდ. ენგურის ხეობას, ზემო ნაწილში კიდევ ორი შენაკადი - ადიშქალისა და ხალდექალის ხეობები ერთვის, რომლებიც ძირითადად გამომუშავებულია იურულ-ფლიშურ წყებებში, ორივე ხეობის სათავე დაკავშირებულია მყინვარებთან ადიში და ხალდე. ამასთან ორივე მათგანის რელიეფი გლაციალური ხასიათისაა; ზემო სვანეთის ქვაბულის მარცხენა მხარე (სვანეთის ქედის ჩრდილო ფერდობი) დანაწევრებულია მდ. ენგურის მარცხენა შენაკადებით და განსხვავებულია მარჯვენისაგან, როგორც გეოლოგიური აგებულებით, ასევე მორფოლოგიური იერსახითაც, აქ რელიეფი შედარებით მარტივია, ხეობები მცირე განზომილებებით ხასიათდება.

ძირითადი ნაწილი

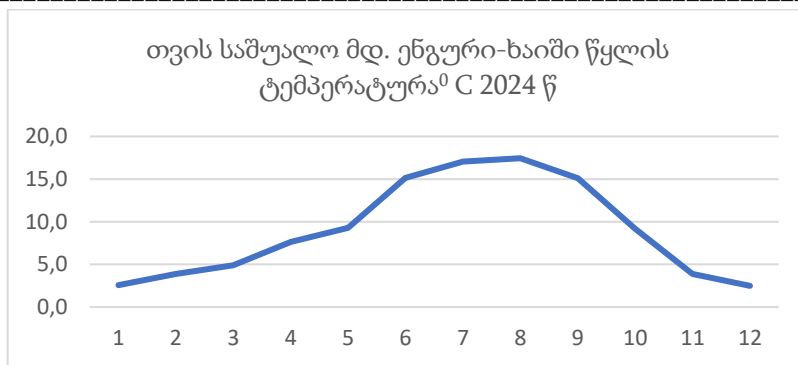
როგორც ზემოთ ავღნიშნეთ ჰაერის ტემპერატურა გადამწყვეტ როლს თამაშობს მდინარის ტემპერატურის სიდიდეზე, რომელის შესაბამისადაც იცვლება ამ უკანასკნელის მნიშვნელობა. ძველი მონაცემების საფუძველზე, რომელიც დამუშავებულია და შესრულებულია გ. ფიფიას მიერ ცხადყოფს რომ სამივე სოფელთან ცვლილება ხდება, როგორც წყლის ტემპერატურის ასევე ჰაერის. გრადაცია სეზონურ ჭრილშია და მათი განხილვა არსებით როლს თამაშობს მდ. ენგურის აუზისათვის. (ნახ. 1,2,3). [Kikilashili 1974, Hydrometeorology Publishing 1970, 1976]. ხოლო მონაცემები, რომელიც გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ არის გადმოცემული ეხება მხოლოდ მდ. ენგურის სოფ. ხაიშთან მოცემულ წყლის ტემპერატურას, რადგან დანარჩენ სოფლებთან ამ ეტაპზე მონაცემების შეგროვება სატესტო რეჟიმშია. აქვე უნდა ვთქვათ, რომ მოცემულ გრაფიკებზე ნახ. 4 და 5. ნაჩვენებია წყლის ტემპერატურის ცვლილება 2024 წლისათვის (გარემოს ეროვნული სააგენტო). ამ წლის მონაცემები კი ამ ეტაპისთვის ყველაზე ახალია.



ნახ. 1. 2. 3. მდ. ენგურის წყლის და ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება სოფ. ხაში, სოფ. ჯვარი და სოფ. დარჩელი (გრაფიკები აგებულია გ. ფიფიას მიერ)



ნახ. 1. მდ. ენგური-ხაშის წყლის ტემპერატურა C 2024 წ.



ნახ. 2. თვის საშუალო წყლის ტემპერატურა⁰C მდ. ენგური-ხაიში 2024 წ.

ცხრილი 1 . მდ. ენგური - სოფ. ხაიში წყლის ტემპერატურა⁰ C (2024 წ) (გარემოს ეროვნული სააგენტო)

2024 წ	მდ. ენგური-ს.ხაიში წყლის ტემპერატურა °C											
თვე/დღე	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2.7	2.6	3.4	6.0	11.4	13.2	15.8	15.8	16.7	9.2	6.1	1.4
2	2.6	3.5	5.3	6.3	8.5	12.5	15.9	15.4	16.5	11.3	5.6	1.9
3	2.4	3.2	3.9	6.6	8.8	14.9	16.1	16.5	16.7	11.8	5.9	1.7
4	2.5	3.3	4.5	6.1	8.6	14.5	17.1	16.3	18.9	10.9	5.2	1.5
5	2.6	2.5	4.9	5.7	8.1	14.4	17.9	18.5	17.8	11.0	2.2	1.8
6	2.4	2.2	5.1	6.2	7.7	15.7	17.8	18.5	15.3	11.7	2.7	2.4
7	2.5	2.4	4.6	5.5	7.5	16.2	16.9	18.5	14.8	12.5	3.2	1.7
8	2.5	4.6	3.0	5.7	7.4	14.7	16.5	17.5	15.7	12.0	2.6	2.9
9	2.3	3.9	4.0	6.8	6.1	14.6	16.0	18.0	16.0	12.7	4.0	2.8
10	2.4	3.9	4.3	6.5	9.2	13.9	16.6	18.1	16.2	10.7	5.3	2.3
11	2.4	4.0	4.4	6.3	9.5	14.5	18.8	16.3	17.2	12.0	3.7	3.1
12	2.3	4.4	3.3	7.8	9.1	15.0	20.2	16.6	18.1	12.1	4.3	4.1
13	2.4	4.5	4.9	6.7	8.1	14.0	17.3	17.3	16.7	10.9	3.9	1.6
14	2.4	5.4	5.8	6.1	6.9	14.0	18.3	16.6	15.6	12.0	3.6	0.6
15	2.2	5.5	5.8	6.2	7.8	15.5	19.1	17.2	14.3	11.6	4.6	0.5
16	2.6	5.5	5.1	6.9	8.3	15.0	17.5	17.4	13.2	12.4	5.5	1.2
17	2.5	5.0	5.4	6.9	7.4	17.0	18.8	17.2	13.5	10.4	2.4	1.6
18	2.4	4.9	5.7	7.4	6.9	15.5	18.5	17.1	14.8	8.0	2.9	0.5
19	2.4	4.8	6.0	9.5	7.4	17.0	16.0	17.2	14.4	8.6	5.9	1.6
20	2.3	4.2	4.7	9.4	8.9	16.5	16.3	18.6	13.4	7.5	5.6	1.1
21	2.6	3.9	5.7	8.5	9.0	15.6	17.2	19.3	14.3	6.0	6.6	1.1
22	2.7	4.2	5.2	9.0	8.9	15.6	18.1	19.4	14.6	5.9	5.3	1.8
23	2.6	4.4	4.9	8.2	11.2	16.4	17.3	20.6	15.5	6.5	5.0	3.7
24	2.7	3.9	5.6	8.2	10.4	17.3	17.0	17.9	13.6	5.9	5.2	3.9
25	2.8	3.8	4.6	8.8	9.1	16.7	16.6	16.4	14.3	7.7	3.5	3.9
26	2.9	3.1	3.5	9.5	10.1	15.1	16.7	17.3	14.8	7.0	0.8	3.0
27	2.9	2.7	4.3	10.4	12.0	13.4	14.8	18.0	13.1	6.3	0.6	2.6
28	3.1	2.6	4.9	10.6	12.9	14.3	14.8	16.5	12.9	4.7	1.6	4.9
29	3.1	3.5	6.2	10.2	13.8	14.4	16.0	16.3	14.1	4.4	1.4	5.0
30	3.2		7.1	11.4	13.7	16.3	16.7	16.9	10.0	5.2	0.8	5.2
31	1.8		5.8		13.1		16.3	17.7		5.8		5.6
თვის საშუალო	2.6	3.9	4.9	7.6	9.3	15.1	17.1	17.4	15.1	9.2	3.9	2.5
თვის უდიდესი	3.7	6.8	8.2	13.2	15.6	20.6	23.2	23.2	21.0	15.2	8.6	6.4
თვის უმცირესი	0.6	0.5	2.0	4.0	6.0	11.0	13.2	13.2	9.6	3.0	0.2	0.2

მონაცემებიდან თვალნათლივ ჩანს, რომ ჰაერის ტემპერატურების უმაღლეს წერტილებს შეესაბამება წყლის ტემპერატურის მაქსიმუმები და პირიქით - ჰაერის ტემპერატურის უმცირეს მნიშვნელობებს - წყლის ტემპერატურის მინიმალური მნიშვნელობები. ეს დამოკიდებულება განვიხილეთ თითოეული სადგურისათვის ცალ-ცალკე ძველი მონაცემების საფუძველზე.

მეთოდები

სოფ. ხაიშთან იანვრის და დეკემბრის თვეში გვაქვს ჰაერის უარყოფითი მნიშვნელობა და ამავე პერიოდში გვაქვს წყლის მინიმალური ტემპერატურაც, იგი 2⁰-ზე დაბლა ჩამოდის. ჰაერის ტემპერატურის მაქსიმუმი გვაქვს ივლისის თვეში (17⁰-ზე მაღლა ადის ვერცხლისწყალი) ამავე პერიოდში გვაქვს წყლის ტემპერატურის მაქსიმუმიც (10⁰C). სექტემბრიდან იწყება, როგორც ჰაერის ასევე წყლის ტემპერატურის დაწევა და დეკემბრის თვეში ჩამოდის მინიმუმამდე.

ჰაერის ტემპერატურის რყევის ამპლიტუდა სოფ. ხაიშთან 21-ის ტოლია, ხოლო წყლის 8-ის. აქვე შეიძლება აღინიშნოს, რომ წყლის ტემპერატურა, ჰაერის ტემპერატურასთან შედარებით-ყოველთვის ნაკლებ რყევადობას განიცდის.

რაც შეეხება ჰაერისა და წყლის ტემპერატურის ურთიერთ დამოკიდებულებას სოფ. ჯვართან და სოფ. დარჩელთან იგივე ითქმის, რაც ზემოთ ავღნიშნეთ; მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ აქ ზამთრის პერიოდში არა გვაქვს ჰაერის უარყოფითი ტემპერატურები და სოფ. ხაიშთან შედარებით წყლის ტემპერატურებიც ამ პერიოდისთვის მაღალია. ჯვართან 4⁰-ზე მეტია, ხოლო დარჩელში 6⁰-ს უახლოვდება. ტემპერატურის რყევის ამპლიტუდა ჯვართან ჰაერისათვის ტოლია 21-ის, ხოლო წყლის 7-ია.

სოფ. დარჩელთან ტემპერატურების რყევის ამპლიტუდა შესაბამისად ჰაერისა და წყლისთვის ტოლია 18 11-ის. სამივე განსახილველ სადგურზე ერთსა და იმავე პერიოდში გვაქვს:

გაზაფხულის დათბობის პერიოდი, რომელიც მარტიდან იწყება;

ზაფხულის მაღალი ტემპერატურის პერიოდი ემთხვევა ივლისს-აგვისტოს თვეებს;

შემოდგომის აცივების პერიოდი იწყება სექტემბრის თვიდან;

და ზამთრის დაბალი ტემპერატურის პერიოდი ემთხვევა იანვარ-თებერვლის თვეს.

ჰაერისა და წყლის ტემპერატურებს კარგად ახასიათებს დამოკიდებულების შემდეგი გრაფიკი, რომელიც მიიღება მაშინ, თუ კოორდინატთა სისტემის აფცისაზე გადავზომავთ ჰაერის ტემპერატურებს, ხოლო ორდინატაზე წყლის ტემპერატურებს და მათ შესაბამისად ავიღებთ წერტილებს, მაშინ ისინი წაგრძელებული ფორმით განლაგდებიან კოორდინატთა სისტემის მიმართ. ამ წერტილებზე შეგვიძლია გავავლოთ წრფე, რომელიც ამ წერტილების საშუალო მნიშვნელობებზე გაივლის და რაღაც კუთხით იქნება დახრილი აფცისთა ღერძის მიმართ. ეს წრფე გვაძლევს ერთ-ერთის ტემპერატურულ მნიშვნელობას, [1,2] როდესაც ვიცით მეორე. გარდა ამისა ამ წრფის განტოლებას აქვს სახე:

$$t_{\text{წყ}} = at_{\text{ჰა}} \pm b$$

სადაც a და b შემდეგი პარამეტრებია: a იმ კუთხის ტანგენსია, რომელსაც მოცემული წრფე ადგენს აფცისთა ღერძთან, ხოლო b ის მნიშვნელობაა მონაკვეთისა, რომელიც ამ წრფით ჩამოიკვეთება კოორდინატთა ღერძზე. როცა ვიცით ჰაერის ტემპერატურა, მაშინ ზემოთ ხსენებული ფორმულით შეგვიძლია გამოვიანგარიშოთ წყლის ტემპერატურა და შევადაროთ იგი გაზომილს. [Hydrometeorology Publishing 1970, 1976. G. Pipia, S. Gorgijanidze 2025]

მდინარე ენგურის ტემპერატურის ცვალებადობა და თავისებურება სათავიდან შესართავისაკენ

აქ უნდა ავღნიშნოთ: მდინარის ტემპერატურა სიგრძის მიხედვით ცვალებადი, რაზედაც მკვეთრ გავლენას ახდენს საზრდოობის წყარო, შენაკადები, ლანდშაფტი და ა.შ. ეს ცვალებადობაც შეგვიძლია განვიხილოთ მდ. ენგურის ტემპერატურის ცვალებადობის მაგალითზე სოფ. ხაიშთან მდინარის შესართავამდე. ამისათვის აფცისთა ღერძზე გადავზომავთ მანძილებს შესართავიდან სოფ. დარჩელამდე, ჯვარამდე და ხაიშამდე. ამის შემდეგ კოორდინატთა ღერძზე - ტემპერატურებს. რამდენიმე თვისათვის (კერძოდ I, IV, VI, VIII, IX, XI თვეებისათვის) ვიღებთ ტემპერატურების მნიშვნელობებს შესაბამისი სოფლისათვის და ვსვამთ გრაფიკებზე შესაბამისი წერტილებს. ამ წერტილების შეერთებით მივიღებთ ტეხილს ხაზს. ტემპერატურის მატება შესართავისაკენ კანონზომიერებას წარმოადგენს ამ მდინარეებისათვის. გრაფიკზე ხაზები ერთმანეთს არსად არ კვეთს და წლის ყველა დროისათვის მოქმედებს ეს კანონზომიერება - წყლის ტემპერატურის მატება შესართავისაკენ. [Vladimirov, 1957, Ukleba 1967, Kikilashili 1974].

დასკვნა

მდინარის თერმული რეჟიმის ფორმირებას და მისი თერმული რეჟიმის ცოდნას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს, რაც ზემოთ არსებული მონაცემების საფუძველზე განვიხილეთ. არსანიშნავია, რომ იმ შემთხვევაში, როდესაც დადგენილია ამა თუ იმ წყლის თერმული რეჟიმი, მაშინ ყოველთვის ვიცით წინასწარ ამ წყლის უმაღლესი სიმკვრივის მდგომარეობა; ვიცით მისი 10°C ტემპერატურის დადგომის და ხანგრძლივობის პერიოდი - ტემპერატურა, რომლის ზემოთაც გვაქვს სიცოცხლის და ვეგეტაციისათვის ხელშემწყობი პირობები; ეს გვეხმარება როგორც ბუნებრივი სახეობების გაზრდაში, ასევე სასოფლო დასახლებებში სამეურნეო საქმიანობის ვეგეტაციის უფრო ეფექტიან წარმართვაში. გარდა ამისა ვიცით ფორმულა, რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია წყლის ტემპერატურა გავიგოთ მაშინ, როდესაც ვიცით ჰაერის ტემპერატურა. ამ უკანასკნელ პერიოდში წყლის თერმულ რეჟიმს მიაქცეის დიდი ყურადღება, რადგანაც ატივინარებული მასალის დალექვა და მისი ვარდნის სიჩქარე დამოკიდებულია სოწრედ სიბლანტეზე. ეს უკანასკნელი კი პირდაპირ კავშირში იმყოფება ტემპერატურასთან. ამრიგად წყლის თერმული რეჟიმის ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. V. Vladimirov - Rivers of Georgia. Tbilisi 1957
2. N. Ukleba - General Hydrology. Tbilisi 1967
3. L. Maruashvili - Physical Geography of Georgia. Tbilisi 1964
4. Geography of Georgia part I. Physical Geography „METSNIEREBA“ Tbilisi. 2000. p. 313.
5. Khazaradze R. On the Glaciers of the Central Caucasus. Tbilisi 1977.
6. <https://ka.wikipedia-dia.org/wiki/%E1%83%94%E1%83%9C%E1%83%92%E1%83%A3%E1%83%A0%E1%83%98>.
7. <https://ka.wikipedia.org/wiki/%E1%83%9C%E1%83%94%E1%83%9C%E1%83%A1%E1%83%99%E1%83%A0%E1%83%90>
8. Maruashvili L. Physical Geography of Georgia. Vol. I., TSU Publishing House. Tbilisi, 1968., pp. 16-168.
9. Kikilashili T., Kochiashvili D. Practicum of Land Hydrology. Tbilisi University Publishing House. Tbilisi 1974. pp. 177- 185.
10. Hydrology Estimates. Hydrometeorology Publishing House. L., 1970., p. 206 – 227.
11. Hydrology of the Land. Hydrometeorology Publishing House. L., 1976., p. 356-375
12. **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

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-29-36

UDC: 551.556.5

Features of the formation of the thermal regime of rivers on the example of the Enguri River S. Gorgijanidze, G. Pipia, G. Jincharadze, T. Chitadze, N. Kobakhidze, G. Grigolia, G. Gachechiladze Transactions IHM, GTU. -2025. -vol.136. -pp.29-36. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The formation of the thermal regime of a river and knowledge of its thermal regime are of great importance. In the case when the thermal regime of a particular water is established, then we always know in advance the state of the highest density of this water; we know the period of its occurrence and duration of 10°C temperature - the temperature above which we have conditions conducive to life and vegetation; in addition, we know the formula by which we can understand the temperature of the water when we know the air. In the latter period, much attention has been paid to the thermal regime of water, since the sedimentation of suspended matter and the speed of its fall depend on viscosity, and the latter is directly related to temperature. Therefore, knowledge of the thermal regime of water is of great importance.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-29-36

უკ:551.556.5

მდინარეთა თერმული რეჟიმის ფორმირების თვისებები მდინარე ენგურის მაგალითზე/ს. გორგიჯანიძე, გ. ფიფია, გ.ჯინჭარაძე, თ. ჩიტაძე, ნ. კობახიძე, გ.გრიგოლია, გ. გაჩეჩილაძე/სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2025.-ტ.136, გვ.29-36

მდინარის თერმული რეჟიმის ფორმირებას და მისი თერმული რეჟიმის ცოდნას ძალიან დიდი მნიშვნელობა აქვს. იმ შემთხვევაში, როდესაც დადგენილია ამა თუ იმ წყლის თერმული რეჟიმი, მაშინ

ყოველთვის ვიცით წინასწარ ამ წყლის უმაღლესი სიმკვრივის მდგომარეობა; ვიცით მისი 10°C ტემპერატურის დადგომის და ხანგრძლივობის პერიოდი - ტემპერატურა, რომლის ზემოთაც გვაქვს სიცოცხლის და ვეგეტაციისათვის ხელშემწყობი პირობები; გარდა ამისა ვიცით ფორმულა, რომლის საშუალებითაც შეგვიძლია წყლის ტემპერატურა გავიგოთ მაშინ, როდესაც ვიცით ჰაერის. ამ უკანასკნელ პერიოდში წყლის თერმულ რეჟიმს მიაქცევენ დიდი ყურადღება, რადგანაც ატივინარებული მასალის დალექვა და მისი ვარდნის სიჩქარე დამოკიდებულია სიბლანტეზე და ეს უკანასკნელი კი პირდაპირ კავშირში იმყოფება ტემპერატურასთან. ამრიგად წყლის თერმული რეჟიმის ცოდნას დიდი მნიშვნელობა აქვს.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-29-36

УДК: 551.556.5

Особенности формирования термического режима рек на примере реки Энгури. С. Горгиджанидзе, Г. Пипия, Г. Джинчарадзе, Т. Читадзе, Н. Кобахидзе, Г. Григолия, Г. Гачечиладзе./Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2025. - том 136. - с.29-36. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Формирование термического режима реки и знание его термического режима имеют большое значение. В случае установления термического режима конкретного водоема мы всегда заранее знаем состояние максимальной плотности этой воды; мы знаем период и продолжительность температуры 10°C — температуры, выше которой существуют условия, благоприятные для жизни и растительности; кроме того, мы знаем формулу, по которой можно понять температуру воды, зная температуру воздуха. В последний период большое внимание уделяется термическому режиму воды, поскольку осадение выпавшего материала и скорость его выпадения зависят от вязкости, а последняя напрямую связана с температурой. Поэтому знание термического режима воды имеет большое значение.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-37-42

უკ.551.556.5

**მდინარე იორის აუზის მართვის სტრატეგიული დაგეგმვის საკითხისათვის
გულაშვილი, ზ., ტრაპაიძე, ვ., ფიფია, გ., ჯინჭარაძე, გ., ჩიტაძე, თ., კობახიძე, ნ.**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
zaza.gulashvili@tsu.ge

რეზიუმე

წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრინციპების შემუშავება 1896 წლიდან იწყება და საფუძველი იაპონიაში ჩაეყარა. წყალი არა მხოლოდ ცალკე ობიექტი, არამედ ბუნებრივი გარემოს სხვა კომპონენტებთან ურთიერთკავშირში და სამეურნეო საქმიანობის სხვადასხვა ასპექტებთან ერთობლივად განიხილება. წყლის რესურსების მართვის საბოლოო დოკუმენტი ევროპაში 2000 წელს მიღებული ჩარჩო-დირექტივა (სხვა შესაბამის დირექტივებთან ერთად), რომელსაც საქართველო 2016 წლიდან არის მიერთებული, რითაც სახელმწიფომ ვალდებულია აიღოს დანერგოს მასში მითითებული რეკომენდაციები და პრინციპები, რაც განაპირობებს ცალკეული აუზის გარემოსა და სოციალური სფეროს მდგრად თანაარსებობას გრძელვადიან პერიოდში, ამავდროულად წყლის, როგორც ბუნებრივი რესურსის დაცვისა და შენარჩუნების კუთხით. მდინარეთა აუზების მართვის ახალი მიდგომა სტრატეგიული მართვის პრინციპების შემუშავება, რასაც ამა თუ იმ მდინარის აუზის მეცნიერულად დასაბუთებული კვლევა უდევს საფუძვლად. ნაშრომში ასახულია მდინარე იორის აუზის წინასწარი მოკვლევის ანალიზი, კლიმატის თანამედროვე ცვლილებით გამოწვეული შესაძლო პრობლემები და სტრატეგიული მართვის დაგეგმარებისთვის საჭირო კვლევის მეთოდები.

საკვანძო სიტყვები: წყლის რესურსების მართვა, გვალვა, ირიგაცია

შესავალი

საქართველო 2016 წლიდან შეუერთდა წყლის ევროპულ ჩარჩო-დირექტივას. შესაბამისად, საქართველოში ახალი დაწყებულია წყლის რესურსების მართვის პრინციპებზე მუშაობა, რომლის პირველი ეტაპი 2030 წლისთვის უნდა დასრულდეს. აუზის სიტუაციური ანალიზით იდენტიფიცირდება დაინტერესებული ჯგუფები, მათ შორის ურთიერთკავშირები და პრობლემები. ყველა ამ საკითხის ბუნებასთან კომპლექსში განხილვით შემუშავდება რეგიონის განვითარებისთვის საჭირო საუკეთესო სტრატეგია და დამუშავდება აუზის მართვის გეგმებში გრძელვადიანი პერსპექტივით ადაპტირებადი მეთოდები ადგილობრივ პირობების გათვალისწინებით. სტრატეგიული დაგეგმვის მეთოდების პრაქტიკაში დანერგვა უზრუნველყოფს ქვეყნის ამა თუ იმ აუზის ეფექტურ მართვას. წყლის რესურსების მართვის გარდა, სტრატეგიული დაგეგმარება გულისხმობს ასევე მიწათსარგებლობის სწორ მართვას, მსგავსი გეგმების შემუშავება იძლევა დროში გახანგრძლივებულ ეფექტს და მეტად მოქნილი ადაპტაციური ღონისძიებების დაგეგმვას.

მდინარეთა აუზების დაგეგმვა კომპლექსური პროცესია და წინაპირობად მოიაზრებს მრავალკომპონენტურ კვლევას, რომელიც სხვადასხვა მიმართულებით შესწავლას მოიცავს. ძირითადი კვლევის საგანია მდინარეთა ჩამონადენის თანამედროვე რეჟიმის შესწავლა, აუზის სამეურნეო აქტივობების კვლევა და აქედან გამომდინარე წყლის რესურსებზე მოთხოვნისა და შემდგომ მათი ეფექტური მართვის გეგმვის ჩამოყალიბება. ეს კვლევები თავის მხრივ დაკავშირებულია აუზის კლიმატური პირობების და მათი დროში ცვლილების, ბუნებრივი და ფიზიკური გარემოს მდგომარეობის, ასევე სოციალური და ეკონომიკური ასპექტების კვლევასთან, რაც გამოავლენს აუზის რესურსულ პოტენციალს და მისი წლის მანძილზე ათვისების შესაძლებლობებს.

წყლის რესურსების მართვის ევროპული ჩარჩო დირექტივის დანერგვის შემდგომ, ბოლო ორ ათწლეულში ჩამოყალიბდა აუზების და დელტების სტრატეგიული მართვის პრინციპები. მათ ტრადიციული დაგეგმვის მიდგომებთან შედარებით განსხვავებული მიდგომები ახასიათებთ (ცხრ. 1):

ცხრილი 1. განსხვავებები ტრადიციულ და სტრატეგიულ დაგეგმვის პრინციპებს შორის

	დაგეგმვის ტრადიციული მიდგომები	სტრატეგიული დაგეგმვის მიდგომები
მიზანი	ადმინისტრაციული და ნორმატიული გადაწყვეტილებებით ხელმძღვანელობა	აუზის მდგრადი განვითარებისკენ მიმართული სტრატეგიული გადაწყვეტილებები
გავლენა	გეგმა, როგორც აუცილებლად შესასრულებელი მონახაზი	რბილი გავლენა, არაპირდაპირი ზემოქმედება უფრო დეტალურ გეგმებსა და პოლიტიკაზე
მასშტაბი	ერთი ან ორი სფერო, აქცენტი ტექნიკურ გადაწყვეტებზე	პოლიტიკის მრავალი სფერო, რომლებიც მოიცავს სოციალურ და ფინანსურ საკითხებს
დროითი ჰორიზონტი	10-30 წლიანი დაგეგმვის ჰორიზონტი	50-100 წლიანი დაგეგმვის ჰორიზონტი, სტრატეგიები ფოკუსირებულია როგორც მოკლე, ისე გრძელვადიან პერსპექტივაზე
სიხშირე	დაგეგმვის 5-10 წლიანი ციკლი	დაგეგმვის 20-50 წლიანი ციკლი, რომელიც ასახავს „იმ დროის“ სტრატეგიულ პრიორიტეტებს

წყლის რესურსების მდგრადი მართვა კომპლექსური პრობლემაა, რომელიც ეხება არა მხოლოდ გარემოს ხარისხს, არამედ სოციალურ-ეკონომიკურ ასპექტებსაც [1], რაც სტრატეგიული გეგმის შედგენის წინაპირობაა. სტრატეგიული დაგეგმვა - ესაა პროცესი, რომლის ფარგლებშიც წარმოდგენილია განვითარების გრძელვადიანი ხედვები და სტრატეგიული ქმედებები [2].

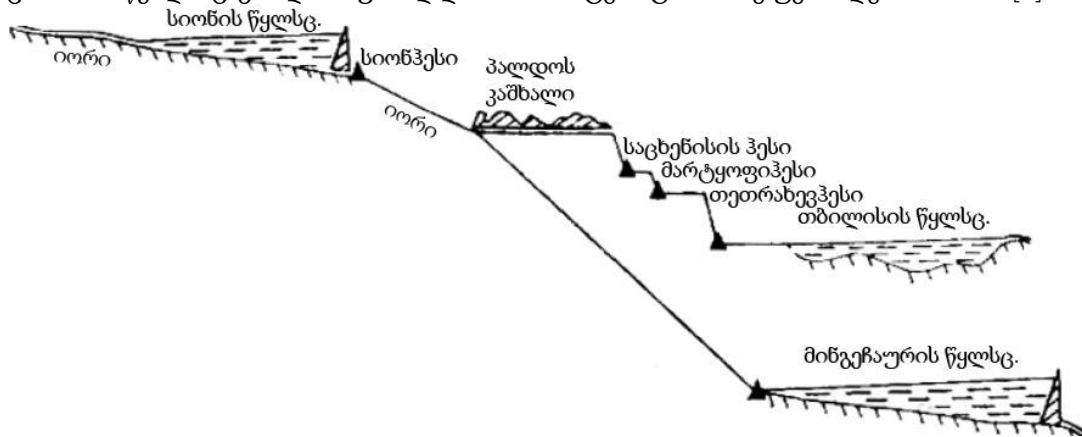
ძირითადი ნაწილი

მდგრადი განვითარების საქმეში პრიორიტეტული ადგილი უკავია მართვის გრძელვადიანი გეგმების არსებობას. გეგმების შემუშავებამდე აუცილებელია იმის ცოდნა თუ რა მიმართულებით უნდა იმოძრაონ დაინტერესებულმა მხარეებმა (იორის აუზის მომავლის სტრატეგიული ხედვა), ასევე გრძელვადიან სცენარებზე მოქმედი იმ კონტექსტუალური ფაქტორების ცოდნაც, რომლებიც გავლენას ახდენენ განვითარებაზე (ჰიდროლოგიური პროცესების, კლიმატური სცენარების, სოციალურ-ეკონომიკური და დემოგრაფიული ტენდენციების ჩათვლით). სტრატეგიული დაგეგმვის კვლევის მიზანია ადაპტაციის თანამედროვე მეთოდებისა (ცვლადი გარემოს მიმართ) და განვითარების სტრატეგიული ალტერნატივების ჩამოყალიბება, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ აუზის მდგრადი და სიცოცხლისუნარიანი მართვა. წყლის მართვის საკითხებთან დაკავშირებით 2000 წელს შემუშავდა წყლის ჩარჩო დირექტივა, რომლის ერთ-ერთი უმთავრესი ამოცანაა წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების პრინციპების შემუშავება [3].



მდ. იორი. ფოტო: wikipedia.org

იორის აუზი წყლის რესურსით დარიბად ითვლება, იგი ვერ უზრუნველყოფს რეგიონის მეურნეობის წყლით სათანადო უზრუნველყოფას, ამიტომ გასულ საუკუნეში გადაწყდა რომ წყლის მარაგის ნაწილი მდ. ალაზნიდან გადმოეყვანათ [4]. მდინარე იორი საქართველოს ერთ-ერთ დარეგულირებულ მდინარედ ითვლება. არსებული ჰიდროტექნიკური ობიექტები (ნახ. 1) სარწყავი და ენერგეტიკული მიზნებით აიგო. წყალსაცავები ჩართულია სამგორის მაგისტრალური სისტემების ქსელში და გამიზნულია ქვემო ქართლის სამხრეთი ტერიტორიების ირიგაციისთვის. შექმნილი სისტემის წყალობით, მდ. იორი საქართველოს ერთ-ერთ კარგად რეგულირებად მდინარედ იქცა და მისი წყლის რესურსები დიდი ქალაქების თბილისის და რუსთავის, ასევე მათი შემოგარენის სასმელი წყლით მომარაგებას ხმარდება, რაც თანამედროვე დროს დეფიციტს უქმნის კალაპოტის ბუნებრივ მინიმალურ ჩამონადენს. აღსანიშნავია, რომ სამგორის წყალსაცავების კასკადი ასევე არეგულირებს მდ.მდ. აძეძის, გომბორის, გორანას და სხვა შენაკადებსაც, რომლებიც სიონის წყალსაცავსა და სოფ. პალდოს შორის ტერიტორიაზე უერთდებიან იორს [5].



ნახ. 1. მდ. იორის წყლის რესურსების გამოყენების სქემა [5]

განსაკუთრებით რთული კლიმატური პირობებით ხასიათდება იორის აუზის ქვემო წელის ტერიტორია - აქ მშრალი კონტინენტური ჰავაა, რის გამოც ზამთარი შედარებით ცივია, ხოლო ზაფხული ცხელი, ნალექებიც უმნიშვნელო რაოდენობით მოდის. საქართველოს ეს ტერიტორია სხვა რეგიონებს შორის ყველაზე მშრალ ტერიტორიად მოიაზრება. ამ პირობებში იქმნება წყლის რესურსების დეფიციტი, განსაკუთრებით ზაფხულის პერიოდში [6].

კვლევა ახალია საქართველოს მდინარეების, ეკოსისტემების და კლიმატის ცვლილების ურთიერთკავშირის გამოსავლენად, ხოლო ინტერდისციპლინურობას განსაზღვრავს ნიადაგმცოდნეობის, კლიმატოლოგიის, ჰიდროლოგია-ოკეანოლოგიის, ეკოლოგიისა და საზოგადოებრივი გეოგრაფიის მიმართულებების ერთობლიობა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

პროექტის საკვლევი თემაა მდინარეთა აუზებში მიმდინარე ბუნებრივი პროცესები და მათი გრძელვადიანი დაგეგმარების სტრატეგიების მეთოდოლოგიის ჩამოყალიბება მდინარე იორის აუზის მაგალითზე. მდ. იორის ქვემო დინების ტერიტორიაზე განლაგებულია, როგორც საქალაქო-სასოფლო დასახლებები ისე სასოფლო-სამეურნეო მიწები. მდინარის აუზის ქვემო წელის რელიეფი საშუალებას იძლევა განვითარდეს მნიშვნელოვანი ინფრასტრუქტურა - სატრანსპორტო დერეფნები და კვანძები, სამეურნეო-ეკონომიკური არეალები.

წყლის რესურსების მდგრადი მართვა კომპლექსური პრობლემაა, რომელიც ეხება არა მხოლოდ გარემოს ხარისხს, არამედ სოციალურ-ეკონომიკურ ასპექტებსაც, რაც სტრატეგიული გეგმის შედგენის წინაპირობაა.

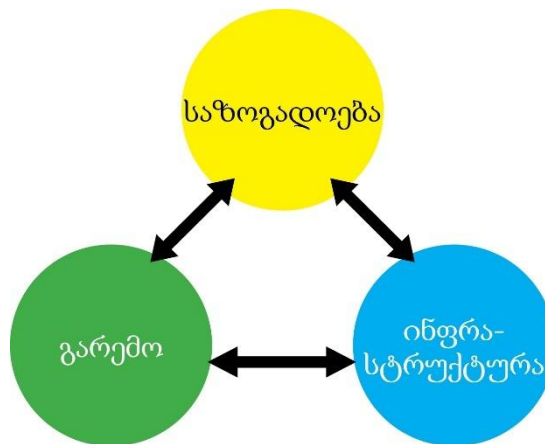
კვლევა გულისხმობს შემდეგი ამოცანების შესრულებას:

- მდინარე იორის აუზის ჰიდროლოგიური რეჟიმის წარსული და თანამედროვე მონაცემების, სტატისტიკური მახასიათებლების მოძიება და ანალიზი, აუზის ჰიდროტექნიკური ინფრასტრუქტურის შესწავლა;
- მდინარის ქვევის თავისებურებებზე კლიმატის თანამედროვე ცვლილების გავლენის შესწავლა;
- აუზის ტერიტორიის სიტუაციური ანალიზი და პრობლემების ფორმულირება;
- გარემოს ცვლილებებისადმი სტრატეგიული მიდგომებისა და ადაპტაციის ერთობლივი შემუშავება.

კვლევის ეტაპები ითვალისწინებს სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებას: პირველ ეტაპზე იკრიბება მასალები აუზში არსებული ჰიდროტექნიკური ინფრასტრუქტურის, მათი ფუნქციური დატვირთვის და თანამედროვე

მდგომარეობის შესახებ. ჰიდროლოგიური საგუშაგოების მიერ აღწერილი სხვადასხვა პარამეტრები (მდინარეთა ხარჯები, სიჩქარეები, მორფომეტრული მახასიათებლები). აუზის კლიმატური პარამეტრების დაკვირვებების მოსაძიებლად გამოიყენება გასული საუკუნის 90-იან წლებამდე გამოცემული წელიწადელები, რომლებშიც ასახულია მდინარის აუზში დაკვირვების პუნქტებზე გაზომილი მონაცემები, ხოლო თანამედროვე მონაცემების მიღება ხდება საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოდან, და აუზში ფუნქციონირებადი ინფრასტრუქტურის ადმინისტრაციებიდან. დამატებით, კლიმატის მრავალწლიური მონაცემების გაანალიზება სრულდება კლიმატის გაცვლის ევროპული სერვისის ვებგვერდის e-OBS 0.1 გრადუსიანი დანაყოფიანი ბადიდან¹ ნალექების და ტემპერატურების მსვლელობის შესახებ გრძელვადიანი პერიოდის დაკვირვების მონაცემებით. ამ მონაცემთა ინტერპოლაციით (კრიგინგის მეთოდი) იგება ტემპერატურების და ნალექების რუკები, ასევე გრაფიკები მინიმალური, საშუალო და მაქსიმალური ტემპერატურების და ნალექების ჯამების საშუალო მრავალწლიური მონაცემების გამოყენებით. ანგარიშდება კომპონენტების ცვლილებათა ტრენდები და ნალექი-ჩამონადენის კორელაციური კავშირები. მუშავდება რეგიონის კლიმატური სცენარები სხვადასხვა კომპონენტებისთვის. მიმდინარე კვლევების მასალებზე დაყრდნობით ვლინდება მდინარის აუზის გარემოს ფორმირების ხასიათი დროსა და სივრცეში, რაც იძლევა აუზში არსებული ეკოსისტემების მდგომარეობის და მათზე მდინარეთა რეჟიმების გავლენის სურათს. ეკოსისტემების დროსა და სივრცეში ფორმირების დინამიკის ანალიზში გამოიყენება თანამგზავრული გამოსახულებები, როგორცაა Landsat-ის არქივი, Sentinel 2-ის გამოსახულებები, PlanetScope-ის მაღალი გარჩევადობის სურათები, ასევე წარსული აეროფოტომასალები.

ტერიტორიის სიტუაციურ ანალიზი მოიცავს აუზის სამეურნეო საქმიანობაში ჩართული მხარეების, მიწათსარგებლობის და მიწის მართვის თანამედროვე პროცესების შესწავლას. ამ ეტაპზე იდენტიფიცირდება აუზში ჩართული ურთიერთკავშირში მყოფი ჯგუფები (ნახ. 2) - ბუნებრივი გარემო, ინფრასტრუქტურა და საზოგადოება. მათი გათვალისწინება აუცილებელია აუზის მართვის სტრატეგიების სწორი ფორმულირებისთვის, ანალიზდება რეგიონის სიტუაციური რუკები ბუნებრივი და სოციალური პირობების მონაცემების მიხედვით [7]. **აუზის სტრატეგიული დაგეგმვის მეთოდების** ადაპტირებისას გამოყენებული იქნება აუზის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების სხვადასხვა შესაძლო სცენარები და სავარაუდო შედეგები. რეგიონის სტრატეგიული განვითარების სიტუაციური ანალიზი და ლოგიკური სცენარების შედეგები განიხილება მონაწილეობითი სცენარების დაგეგმვისას [8]. შემდგომ მუშავდება სცენარების ადაპტაციის გზები, რომლებიც სხვადასხვა ადაპტაციური განვითარების გზებსა და საკვანძო წერტილებს წარმოადგენენ კონკრეტული სტრატეგიული სცენარების რეალიზაციის პროგრესში გარემოს ცვლილებებისადმი ადაპტირებისას [9]. ადაპტაციების გზების შემუშავებაზე დაფუძნებული მიდგომა საშუალებას იძლევა გამოკვლევული და განსაზღვრული იქნეს შესაძლო ქმედებების თანმიმდევრობა დროში მომხდარი სხვადასხვა ცვლილებების კონტექსტში.



ნახ. 2. აუზის ურთიერთკავშირში მყოფი ჯგუფები

შედეგები

სიტუაციის პირველადი ანალიზის შედეგად, გამოვლინდა, რომ თანამედროვე კლიმატის ცვლილების ფონზე განსაკუთრებით დეფიციტს განიცდის იორის აუზის ქვემო წელის ტერიტორიები (საგარეჯოს მუნიციპალიტეტის სამხრეთი არეალები), რადგან არსებული ჰიდროტექნიკური ინფრასტრუქტურის

¹ https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_eobs_chunks.php

მუშაობის შედეგად მდინარის კალაპოტში არ რჩება საკმარისი რაოდენობის რესურსი, რითაც მოხდებოდა სასმელი წყლით უზრუნველყოფა. აუზის სისტემური ანალიზისას გამოვლინდა ის მონაწილე მხარეები, რომლებზეც იქონიებს გავლენას დაგეგმვის შემდგომ მართვის პროცესები. ძირითადი პრიორიტეტული სამეული ასეთია: 1. მოსახლეობა (საზოგადოებრივი ჯგუფი), 2. სოფლის მეურნეობა (ბუნებრივი გარემოს ჯგუფი) და 3. წყალსამეურნეო სისტემა (ინფრასტრუქტურის ჯგუფი) – ის, რაც მეტად არის წარმოდგენილი საკვლევ არეალში და რაზეც ყველაზე მეტი გავლენა აქვს ჰიდროლოგიური ქსელის სწორ მართვას.

დასკვნა

საქართველოს აღმოსავლეთ ნაწილში მკაცრი გვალვები მეორდება ყოველ 4-5 წელიწადში. წყლის დეფიციტი იწვევს ერთწლიანი კულტურების განადგურებას, ხეხილის ბაღებისა და ვენახების ფიზიოლოგიურ დაკნინებას, ხოლო ტენის დეფიციტის პირობებში სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავლიანობა ეცემა 30-40%-ით. წარსული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების მიერ აღებული რესურსი თანამედროვე დროში მხოლოდ წყლის ჩამონადენის რეგულირების საქმედ შეიძლება მოვიაზროთ, არადა გეგმიური ეკონომიკიდან საბაზროზე გადმოსვლამ და კერძო მეურნეობების გაჩენამ გაამრავაფეროვნა დაინტერესებული მხარეები. ასევე კლიმატის კომპონენტების მიმდინარე ცვლილებები მუდმივ გავლენას ახდენს აუზის ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე.

ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე მდინარეთა აუზების მართვის თანამედროვე სტრატეგიების მეთოდების შემუშავება, რომელიც უფრო გრძელვადიან პერიოდზე იქნება გათვლილი, საჭიროებს დროულ მეცნიერულ კვლევას და დასაბუთებული რეკომენდაციების ჩამოყალიბებას.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Bakalar, T., Pavlova, H., & Tokarčik, A. (2021). Analysis and Model of River Basin Sustainable Management by SWOT and AHP Methods. *Water*, 13(17). doi:10.3390/w13172427
2. Seijger, C., Douven, W., van Halsema, G., Hermans, L., Evers, J., Phi, H., . . . Hoang, V. (2017). An analytical framework for strategic delta planning: negotiating consent for long-term sustainable delta development. *Journal of Environmental Planning and Management*.
3. Directive 2000/60/EC. (2000, 12 22). Retrieved from EUR-Lex: https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF.
4. Ukleba, N. (1977) Complex use of Georgian SSR water resources in public agriculture. 394 pages, TSU Publishing (in Georgian)
5. Metreveli, G., (1985) Water reservoirs of Caucasus. p. 13, Gidrometeoizdat (in Russian)
6. Geladze, V., Bolashvili, N., Matchavariani, N., Karalashvili, T. (2016) Water Resources of Kakheti. 132 p., "Universali" (in Georgian)
7. Gulashvili, Z. (2024) Assessment and Management of Water Resources of the Colchis Lowland Wetlands. The thesis work. 130 p. (in Georgian)
8. Evers, J., W. Douven, J. Van der Stroom, S. Hasan, C. Seijger, and H. L. Phi. (2019) "A Framework to Assess the Performance of Participatory Planning Tools for Strategic Delta Planning." *Journal of Environmental Planning and Management* 62 (9): 1636–1653. doi:10.1080/09640568.2019.1603843.
9. Haasnoot, M., Kwakkel, J. H., Walker, W. E., & Ter Maat, J. (2013). Dynamic adaptive policy pathways: A method for crafting robust decisions for a deeply uncertain world. *Global environmental change*, 23(2), 485-498.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-37-42

UDC: 551.556.5

On the issue of strategic planning for the management of the Iori River basin/Gulashvili, Z., Trapaidze, V., Pipia, G., Jincharadze, G., Chitadze, ნ. კობახიძე/ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.37-42. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The development of the principles of integrated water resources management began in 1896 and was founded in Japan. Water is considered not only as a separate object, but also in its interaction with other components of the natural environment and in conjunction with various aspects of economic activity. The final document on water resources management is the framework directive adopted in Europe in 2000 (along with other relevant directives), to which Georgia has been a party since 2016, thus committing the state to implement the recommendations and principles specified therein, which determines the sustainable coexistence of the environment and social sphere of a particular basin in the long term, while at the same time protecting and preserving water as a natural resource. A new approach to river basin management is the development of strategic management principles, which are based on scientifically substantiated research of a particular river basin. The paper presents an analysis of the preliminary study of the Iori river basin, possible problems caused by modern climate change, and research methods needed for strategic management planning.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-37-42

უკ.551.556.5

მდინარე იორის აუზის მართვის სტრატეგიული დაგეგმვის საკითხისათვის/გულაშვილი, ზ., ტრაპაიძე, ვ., ფიფია, გ., ჯინჭარაძე, გ., ჩიტაძე, თ., კობახიძე, ნ./სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.37-42. - ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრინციპების შემუშავება 1896 წლიდან იწყება და საფუძველი იაპონიაში ჩაეყარა. წყალი არა მხოლოდ ცალკე ობიექტი, არამედ ბუნებრივი გარემოს სხვა კომპონენტებთან ურთიერთკავშირში და სამეურნეო საქმიანობის სხვადასხვა ასპექტებთან ერთობლივად განიხილება. წყლის რესურსების მართვის საბოლოო დოკუმენტი ევროპაში 2000 წელს მიღებული ჩარჩო-დირექტივაა (სხვა შესაბამის დირექტივებთან ერთად), რომელსაც საქართველო 2016 წლიდან არის მიერთებული, რითაც სახელმწიფომ ვალდებულია აიღოს დანერგოს მასში მითითებული რეკომენდაციები და პრინციპები, რაც განაპირობებს ცალკეული აუზის გარემოსა და სოციალური სფეროს მდგრად თანაარსებობას გრძელვადიან პერიოდში, ამავდროულად წყლის, როგორც ბუნებრივი რესურსის დაცვისა და შენარჩუნების კუთხით. მდინარეთა აუზების მართვის ახალი მიდგომა სტრატეგიული მართვის პრინციპების შემუშავება, რასაც ამა თუ იმ მდინარის აუზის მეცნიერულად დასაბუთებული კვლევა უდევს საფუძველად. ნაშრომში ასახულია მდინარე იორის აუზის წინასწარი მოკვლევების ანალიზი, კლიმატის თანამედროვე ცვლილებით გამოწვეული შესაძლო პრობლემები და სტრატეგიული მართვის დაგეგმარებისთვის საჭირო კვლევის მეთოდები.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-37-42

УДК: 551.556.5

По вопросу стратегического планирования управления бассейном реки Иори/Гулашвили, З., Трапайдзе, В., Пипия, Г., Джинчарадзе, Г., Читадзе, Т., Кобахидзе, Н./Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.37-42. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Разработка принципов комплексного управления водными ресурсами началась в 1896 году и зародилась в Японии. Вода рассматривается не только как отдельный объект, но и во взаимодействии с другими компонентами природной среды, а также в связи с различными аспектами экономической деятельности. Итоговым документом по управлению водными ресурсами является рамочная директива, принятая в Европе в 2000 году (наряду с другими соответствующими директивами), участником которой Грузия является с 2016 года, тем самым обязывая государство выполнять содержащиеся в ней рекомендации и принципы, определяющие устойчивое сосуществование окружающей среды и социальной сферы конкретного бассейна в долгосрочной перспективе, одновременно защищая и сохраняя воду как природный ресурс. Новый подход к управлению речными бассейнами заключается в разработке принципов стратегического управления, основанных на научно обоснованных исследованиях конкретного речного бассейна. В статье представлен анализ предварительного исследования бассейна реки Иори, возможных проблем, вызванных современным изменением климата, и методов исследования, необходимых для стратегического планирования управления.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-43-46

უკ.551.556

ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების როლი კლიმატის გლობალური დათბობის პირობებში და მათი აღდგენის მნიშვნელობა

მდივანი სოფიო

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
sophio.mdivani@gtu.ge

რეზიუმე

ჭაობები და ჭარბტენიანი ტერიტორიები დედამიწის ზედაპირის უნიკალური ეკოსისტემებია. მათ ხშირად „კლიმატის თერაპიებს“ უწოდებენ, რადგან წყლის ბუნებრივი ფილტრაციის გარდა, მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ კლიმატის რეგულირებაში. ტორფის ჭაობები ორჯერ მეტ ნახშირბადს ინახავს, ვიდრე მსოფლიოს ყველა ტყე ერთად, რაც უმნიშვნელოვანესია გლობალური დათბობის შესამცირებლად. საქართველოში მრავლად გვხვდება უნიკალური ჭარბტენიანი ადგილები, რომელთა ნაწილი საერთაშორისო რამსარის კონვენციითაა დაცული. XX საუკუნის დასაწყისიდან საქართველოში და მთელ მსოფლიოში მიღებული პრაქტიკა იყო ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების დაშრობა-დრენაჟირება, რაც ემსახურებოდა სასოფლო სამეურნეო სავარგულების ფართობების ზრდას, მეტად ნაყოფიერი ნიადაგების ათვისებას ან ტერიტორიის ურბანიზაციის მიზნებს. თუმცა XX საუკუნის ბოლოსთვის, გლობალური დათბობის პრევენციის საკითხებში ჭაობებმა, ჭარბტენიანმა ტერიტორიებმა და მათი აღდგენის პოლიტიკამ, მეტად მნიშვნელოვანი როლი შეითავსეს. წინა მდებარე სტატიაში განხილულია ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების აღდგენისა და შენარჩუნების მნიშვნელობა საქართველოსთვის და მთელი მსოფლიოსთვის. **საკვანძო სიტყვები:** კლიმატის ცვლილება, ჭაობები, ჭარბტენიანი ტერიტორიები.

შესავალი

1992 წელს მსოფლიოს თითქმის ყველა ქვეყანამ ხელი მოაწერა გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციას (UNFCCC), რომელიც ადგენს სათბურის გაზების ატმოსფერული კონცენტრაციების სტაბილიზაციის გრძელვადიან მიზანს. კონვენციის თითოეული მხარე ვალდებულია შეზღუდოს სათბურის გაზების გამოყოფა, დაიცვას და გააძლიეროს სათბურის აირების „შთანთქმელები“ და „რეზერვუარები“. აგრეთვე 1997 წლის დეკემბერში, იაპონიაში ხელი მოაწერეს კიოტოს პროტოკოლს. პროტოკოლი ავალდებულებს განვითარებულ ქვეყნებს, შეამცირონ ნახშირორჟანგის (CO₂) და ხუთი სხვა მნიშვნელოვანი სათბურის აირების გამოყოფა 1990 წლის დონესთან შედარებით მინიმუმ 5 პროცენტით.

ამ მიზნების მისაღწევად, პროტოკოლი განვითარებულ ქვეყნებს საშუალებას აძლევს, გაითვალისწინონ სათბურის აირების ემისიების კრედიტი ნახშირბადის ბუნებრივი შთანთქმის გზით. ნახშირბადი, ყველაზე მნიშვნელოვანი სათბურის გაზების ძირითადი კომპონენტი, ილექება (ან ინახება) ტყეებში, სასოფლო-სამეურნეო ნიადაგებსა და ჭაობებში.

დღემდე, პროტოკოლი იძლევა მხოლოდ ტყეებში შეწოვის კრედიტებს. ჭაობები არ აკმაყოფილებს კრედიტულ მოთხოვნებს. მიუხედავად ამისა, ჭაობიანი ტერიტორიებს (ტორფიანი მიწების ჩათვლით) ნახშირბადის გრძელვადიანი შენახვის მნიშვნელოვანი პოტენციალი აქვთ. ჭაობები წარმოადგენენ გლობალური ხმელეთის ბიოსფეროს ნახშირბადის რეზერვუარის უდიდეს კომპონენტს (14 პროცენტს).

ჭარბტენიანი ტერიტორიების შესწავლა და მათი მნიშვნელობა

მთელ მსოფლიოში, ურბანიზაციის და სასოფლო სამეურნეო სავარგულების ათვისების პროცესში უამრავი დაჭაობებული და ჭარბტენიანი ტერიტორიის დაშრობა მოხდა, რამაც გამოიწვია ამ ტერიტორიებიდან შენახული ნახშირბადის მნიშვნელოვანი ნაწილის გამოთავისუფლება, თუმცა ჭაობების დიდი ნაწილის აღდგენა შესაძლებელია.

ჭაობიანი ტერიტორიების ნახშირბადის შთანთქმის უნარის აღმოჩენა არ ეკუთვნის კონკრეტულ მკვლევარს, ეს ცნება წარმოიშვა მეცნიერული გაგების განვითარების შედეგად. ფუნდამენტური კონცეფციები აღიარებული იქნა მე-19 საუკუნის ბოლოს და მე-20 საუკუნის დასაწყისში, ინტენსიური კვლევები კი დაჩქარდა 1990-იან წლებში, როდესაც კლიმატის ცვლილებამ გლობალური ყურადღება მიიპყრო. მეცნიერებმა და ეკოლოგებმა პირველად გააცნობიერეს, რომ ტორფიანი და ჭაობიანი მიწების წყლით გაჯერებული, ჟანგბადის დაბალი შემცველობის პირობები ხელს უშლიდა მკვდარი მცენარეული მასალის სრულ დაშლას. ამ ნელმა დაშლამ გამოიწვია ნახშირბადით მდიდარი ნიადაგის (ტორფის) სქელი ფენების

დაგროვება. 1980-90 იან წლებში მკვლევრებმა დაიწყეს ფორმალური კვლევების ჩატარება იმის განსაზღვრისთვის, თუ რა სიჩქარით შთანთქვენ და ინახავენ ჭაობები და ჭარბტენიანი ტერიტორიები ნახშირბადს. 1990-იანი წლების დასაწყისში გაჩენილმა ინტერესმა და კიოტოს პროტოკოლით 1990 წლის საბაზისო ხაზად დადგენამ კიდევ უფრო გაზარდა ინტერესი იმის მიმართ, თუ რამდენ ნახშირბადს ინარჩუნებენ ხელუხლებელი ჭაობები დაშრობილ სასოფლო-სამეურნეო ტერიტორიებთან შედარებით. 2000-იანი წლების დასაწყისში, გლობალურმა ორგანიზაციებმა, როგორცაა ათასწლეულის ეკოსისტემის შეფასება, ჭაობები სასიცოცხლოდ მნიშვნელოვან ბუნებრივ მშთანთქმელად გამოავლინეს. დღეს ისინი ფართოდ არის აღიარებული, როგორც „ლურჯი ნახშირბადის“ ეკოსისტემები, რომლებიც დედამიწის ხმელეთის მცირე ნაწილს ფარავენ, მაგრამ არაპროპორციულად დიდი რაოდენობით ინახავენ ხმელეთიდან მიღებულ ნახშირბადს.

როგორც უკვე ითქვა, ჭაობები ნახშირბადის შთანთქმის მაღალეფექტური წყაროა, რომლებიც დედამიწის ზედაპირის მხოლოდ 6%-ს ფარავენ, მაგრამ გლობალური ორგანული ნიადაგის ნახშირბადის 20-30%-ს ინახავენ. ისინი ნახშირბადს შთანთქვენ ატმოსფერული ჰაერდან, მცენარეთა სწრაფი ზრდის გზით და ნახშირბადით მდიდარი ორგანული ნივთიერებების უზარმაზარი რაოდენობას, ათასობით წლის განმავლობაში აგროვებენ. წყლით მუდმივი გაჯერება ქმნის ანაერობულ პირობებს, ხელს უშლის ორგანული ნივთიერებების ლპობას, რაც ნახშირბადს იჭერს ადგილზე. კერძოდ კი ჭაობის მცენარეები (როგორცაა მანგროს ხეები, ლერწამი და ისლი) სწრაფად შთანთქვენ ატმოსფერულ CO₂-ს და გარდაქმნიან მას ბიომასად. როდესაც ეს მცენარეები იღუპებიან, ისინი იძირება წყლით გაჯერებულ ნალექში. იმის გამო, რომ ნიადაგს აკლია ჟანგბადი, მიკროორგანიზმებს არ შეუძლიათ ორგანული ნივთიერების სრულად დაშლა, რაც ხელს უშლის ნახშირბადის ატმოსფეროში დაბრუნებას. საუკუნეების განმავლობაში, ამ ნაწილობრივ დაშლილი ნივთიერების ფენები გროვდება ტორფის ან ლამის სახით და ინახება ნიადაგის ორგანული ნახშირბადის უზარმაზარი რაოდენობა.

აღსანიშნავია რომ, ჭაობები ნახშირბადს ინახავს როგორც ცოცხალ მცენარეულობაში, ასევე, ძირითადად, ტორფისა და ორგანული ნიადაგის სქელ ფენებში. ისინი ხასიათდებიან მაღალი ეფექტურობით, კრძოდ კი თანამედროვე კვლევებზე დაყრდნობით შეიძლება ითვას რომ, ტორფიანი მიწები, მანგროს ტყეები და ზღვის ბალახები დედამიწაზე ნახშირბადის შთანთქმის ყველაზე ეფექტურ წყაროებს შორისაა, რომლებიც ნახშირბადს ორჯერ მეტს ინახავს, ვიდრე ყველა ტროპიკული ტყე ერთად. აღნიშნული ჰაბიტატების დარღვევა (დაშრობა დრენაჟირება) იწვევს დაგროვილი ნახშირბადის დაჟანგვას და ატმოსფეროში ბრუნდება ჟანგბადის და მეთანის (NH₄) სახით, რაც მათ მნიშვნელოვან სათბურის გაზების წყაროდ აქცევს. მიუხედავად იმისა, რომ ჭაობები ნახშირბადის შესანიშნავ შთანთქმას წარმოადგენს, მათი წყლით გაჯერებული ნიადაგები იდეალურ გარემოს ქმნის მეთანის წარმომქმნელი მიკრობებისთვის. აქედან გამომდინარე ხელუხლებელი ჭაობების ეფექტი კლიმატის ცვლილების შერბილების ძლიერ სარგებელს წარმოადგენს.

როგორც ჭაობები, ასევე ტროპიკული ტყეები ნახშირბადის სასიცოცხლო შთანთქმის ფუნქციას ასრულებენ, თუმცა ისინი მნიშვნელოვნად განსხვავდებიან იმით, თუ სად ინახავს ნახშირბადს და რამდენად სწრაფად შთანთქვენ მას. ჭაობები უპირატესობაა ნახშირბადის ხანგრძლივი, მაღალი სიმკვრივის შენახვის შესაძლებლობა ნიადაგში, ხოლო ტროპიკული ტყეები გამოირჩევიან მიწისზედა ბიომასაში ნახშირბადის დიდი რაოდენობით სწრაფად შენახვის უნარით. კერძოდ: ჭაობები ნახშირბადის უმეტეს ნაწილს მიწისქვეშ ინახავენ გაჯერებულ, ჟანგბადით ღარიბ ნიადაგებში, ძალიან ნელი დაშლით, რაც ნახშირბადს ათასობით წლის განმავლობაში შეკავების საშუალებას აძლევს. ტროპიკული ტყეები კი ნახშირბადის უმეტეს ნაწილს ინახავს ტყიან ბიომასაში (ღეროები, ტოტები) და ნარჩენებში, მაღალი ფოტოსინთეზის სიჩქარე კი სწრაფ შეწოვას უწყობს ხელს. გამომდინარე აქედან სანაპირო ჭაობებს (მანგროს ტყეებს) შეუძლიათ ერთი და იგივე ფართობზე 4-10-ჯერ მეტი ნახშირბადის შენახვა, ვიდრე ტროპიკული ტყეებს, თუმცა ვინაიდან ტროპიკული ტყეების ფართობი ბევრად აღემატება ჭაობებით დაფარულ ტერიტორიას ხმელეთის ბიომასის ნახშირბადის უდიდეს მარაგს სწორედ ტროპიკული ტყეები შეიცავს.

არსებული ბუნებრივი ჭაობების კონსერვაცია ნახშირბადის მარაგების შენარჩუნების მთავარი სტრატეგიაა. დრენირებული ტორფიანი მიწების აღდგენა და დეგრადირებული სანაპირო ჭაობების აღდგენა და მცენარეული საფარის შექმნა, ხელს შეუწყობს ნახშირბადის შთანთქმის პროცესს განახლებს. როდესაც ჭაობები შრება, დეგრადირდება ან სოფლის მეურნეობისა და ურბანიზაციის მიზნით ვითარდება, წყლით გაჯერებული ნიადაგები შრება. ჟანგბადი კვლავ შედის ნიადაგში, რაც მიკრობებს საშუალებას აძლევს სწრაფად დაშალონ დაჭერილი ორგანული ნივთიერება და საუკუნეების განმავლობაში დაგროვილი ნახშირბადი ატმოსფეროში CO₂-ს სახით გამოყონ. ამიტომ, ჭაობების შენარჩუნება და აღდგენა კლიმატთან დაკავშირებული მნიშვნელოვანი, ბუნებაზე დაფუძნებული გადაწყვეტაა.

აღსანიშნავია რომ საქართველოში უკანასკნელი 5 წლის განმავლობაში მიმდინარეობს კოლხეთის დაბლობისა და მისი ჭარბტენიანი ტერიტორიების ჰაბიტატების აღდგენასთან დაკავშირებული პრობლემატიკის შესწავლა და მათი აღდგენის გეგმის დეტალური გზამკვლელების შეგდენა, რასაც არამარტო გლობალური მნიშვნელობა გააჩნია არამედ დასავლეთ საქართველოს უნიკალური ჰაბიტატების აღდგენისა და შენარჩუნების საშუალებას მოგვცემს.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Prairie wetlands and carbon sequestration Assessing sinks under the Kyoto Protocol. David Wylynko, Editor, Westhawk Associates September 1999.
2. "Carbon sequestration in wetlands, from science to practice: An overview of the biogeochemical process, measurement methods, and policy framework" Villa J. A, Bernal B. Ecological Engineering Volume 114, 15 April 2018, Pages 115-128
3. Carbon Sequestration by Wetlands: A Critical Review of Enhancement Measures for Climate Change Mitigation. Were, D., Kansime, F., Fetahi. Earth Systems Environment vol. 3, 327–340 (2019). <https://doi.org/10.1007/s41748-019-00094>
4. "Assessment of the impact of wetland changes on carbon storage in coastal urban agglomerations from 1990 to 2035 in support of SDG15.1" Zhang Z, Jiang W, Peng K, Wu Z, Ling Z, Li Z. Science of The Total Environment, Volume 877, 15 June 2023, 162824

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-551.556

"The Role of Wetlands and Marshes in the Context of Global Warming and the Importance of Their Restoration"/Mdivani Sophio/ Transactions IHM, GTU. -2026.-vol.139-p.43-46.

Wetlands and marshes constitute unique ecosystems that serve as the "kidneys of the planet." Beyond their role in natural water filtration, these areas are vital for climate regulation; specifically, peatlands sequester twice as much carbon as the world's total forest biomass, making them indispensable for mitigating global warming. Georgia possesses diverse wetland ecosystems, several of which are protected under the international Ramsar Convention. While 20th-century policies in Georgia and globally prioritized the drainage of these territories for agricultural expansion and urbanization, a paradigm shift occurred by the 20th century end. Currently, wetland restoration is recognized as a cornerstone of environmental policy. This article examines the critical importance of preserving and restoring these ecosystems within the context of Georgia and the global climate agenda.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-43-46
უკ.551.556

ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების როლი კლიმატის გლობალური დათბობის პირობებში და მათი აღდგენის მნიშვნელობა/მდივანი სოფიო/სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139,43-46

ჭაობები და ჭარბტენიანი ტერიტორიები დედამიწის ზედაპირის უნიკალური ეკოსისტემებია. მათ ხშირად „კლანეტის თირკმელებს“ უწოდებენ, რადგან წყლის ბუნებრივი ფილტრაციის გარდა, მნიშვნელოვან როლს ასრულებენ კლიმატის რეგულირებაში. ტორფის ჭაობები ორჯერ მეტ ნახშირბადს ინახავს, ვიდრე მსოფლიოს ყველა ტყე ერთად, რაც უმნიშვნელოვანესია გლობალური დათბობის შესამცირებლად. საქართველოში მრავლად გვხვდება უნიკალური ჭარბტენიანი ადგილები, რომელთა ნაწილი საერთაშორისო რამსარის კონვენციითაა დაცული. XX საუკუნის დასაწყისიდან საქართველოში და მთელ მსოფლიოში მიღებული პრაქტიკა იყო ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების დაშრობა-დრენაჟირება, რაც ემსახურებოდა სასოფლო სამეურნეო სავარგულების ფართობების ზრდას, მეტად ნაყოფიერი ნიადაგების ათვისებას ან ტერიტორიის ურბანიზაციის მიზნებს. თუმცა XX საუკუნის ბოლოსთვის, გლობალური დათბობის პრევენციის საკითხებში ჭაობებმა, ჭარბტენიანმა ტერიტორიებმა და მათი აღდგენის პოლიტიკამ, მეტად მნიშვნელოვანი როლი შეითავსეს. წინა მდებარე სტატიაში განხილულია ჭაობებისა და ჭარბტენიანი ტერიტორიების აღდგენისა და შენარჩუნების მნიშვნელობა საქართველოსთვის და მთელი მსოფლიოსთვის.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-43-46

УДК.551.556

„Роль водно-болотных угодий и болот в условиях глобального потепления и важность их восстановления“/
Мдивანი Соფიო/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139.43-46.

Болота и водно-болотные угодья представляют собой уникальные экосистемы на поверхности Земли. Их часто называют «почками планеты», потому что, помимо естественной фильтрации воды, они играют важную роль в регулировании климата. Торфяные болота хранят вдвое больше углерода, чем все леса мира вместе взятые, что делает их крайне важными для смягчения последствий глобального потепления. В Грузии находится множество уникальных водно-болотных угодий, некоторые из которых находятся под защитой международной Рамсарской конвенции. Начиная с начала XX века, в Грузии и во всем мире практикуется осушение болот и заболоченных территорий, что служит цели расширения сельскохозяйственных угодий, использования высокоплодородных почв или урбанизации территории. Однако к концу XX века водно-болотные угодья, заболоченные территории и политика их восстановления приобрели все большее значение в предотвращении глобального потепления. В предыдущей статье обсуждалась важность восстановления и сохранения водно-болотных угодий и болот для Грузии и всего мира.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-47-51

უკ.551. 583

**აბასთუმნის შემოვლითი გზის გარემოს მიკროკლიმატზე ზემოქმედების შეფასება
ელიზბარაშვილი ელიზბარ*, ელიზბარაშვილი მარიამ**, დიასამიძე ციციანო*, ელიზბარაშვილი
შალვა*, სულხანიშვილი ნიკოლოზ *****

* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
email:eelizbar@hotmail.com

** ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

*** იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

რეზიუმე. კვლევა ეხება აბასთუმანში შემოვლითი საავტომობილო გზის გაყვანის შედეგად გარემოს მიკროკლიმატურ ცვლილებებს. პროექტი განხორციელდა ქუთაისი-ბაღდათი-აბასთუმანი-ბენარას გზის მონაკვეთზე და მოიცავდა ტყის გარკვეული ფართობის გაჩეხვას. ტყე ქმნის სპეციფიკურ მიკროკლიმატს: ამცირებს მზის პირდაპირ რადიაციას, ტემპერატურას, ქარის სიჩქარეს და აორთქლებას, ხოლო ზრდის ჰაერის შეფარდებით სინოტივეს. ტყის გაჩეხვა იწვევს ამ ბალანსის ნაწილობრივ დარღვევას. მრავალწლიანი (1961–2010 წწ.) მეტეოროლოგიური მონაცემების და მოდელური შეფასებების საფუძველზე დადგინდა, რომ: ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა გაჩეხილ ტერიტორიაზე გაიზარდა დაახლოებით 1°C -ით; ყველაზე მნიშვნელოვანი მატება მოსალოდნელია ზაფხულში ($1.7-1.8^{\circ}\text{C}$), ხოლო ზამთარში ცვლილება უმნიშვნელოა ($0.5-0.7^{\circ}\text{C}$); შეფარდებითი სინოტივე შესაძლოა რამდენიმე პროცენტით შემცირდეს, ძირითადად ზაფხულში; ქარის სიჩქარე ოდნავ გაიზარდა; ნალექების წლიური რაოდენობა კლიმატური ნორმის ფარგლებში დარჩება; გზის ასფალტის საფარი დამატებით გააძლიერებს ზაფხულში ზედაპირული გათბობის ეფექტს. შეფასება აჩვენებს, რომ მოსალოდნელი ცვლილებები არ სცდება ბუნებრივი მრავალწლიური კლიმატური რყევების ფარგლებს (3-სიგმას კრიტერიუმის ფარგლებში) და ლოკალურ ხასიათს ატარებს. გზისგან რამდენიმე მეტრის დამორებით ტყისთვის დამახასიათებელი მიკროკლიმატი შენარჩუნდება. დასკვნის მიხედვით, პროექტი არ იწვევს არსებით კლიმატურ გარდაქმნებს და ზემოქმედება იქნება შეზღუდული და ლოკალიზებული.

საკვანძო სიტყვები: მიკროკლიმატი, ტყე, რადიაცია, ტემპერატურა, ქარი, აორთქლება

შესავალი. ტყე ქმნის თავის მიკროკლიმატს, რომელიც განსხვავებულია მიმდებარე ტერიტორიების გახსნილი ადგილებისათვის დამახასიათებელი კლიმატისგან. ტყის გვირგვინის (ვარჯის) ქვეშ, მზის რადიაცია შესუსტებული სახით ვრცელდება, ხშირი ტყის შემთხვევაში კი პირდაპირი რადიაცია დედამიწამდე ვერ აღწევს და მხოლოდ გაბნეული რადიაციის სახით მოდის, ხოლო ინტენსივობა მცირეა. შესაბამისად ტყეში შემცირებულია როგორც განათებულობა, ისე ტემპერატურაც [1, 2].

ტემპერატურა დღისით მაქსიმალურია ტყის ვარჯის ზედა საზღვარზე, სადაც ის მნიშვნელოვნად მაღალია, ვიდრე იმავე სიმაღლეზე ღია ადგილას. შიგნით ტყეში, ზაფხულში, ტემპერატურა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ტყის ზედა საზღვარზე. ღამით ტყის ვარჯი გამოსხივების გამო ცივდება, ამიტომ მაქსიმალური ტემპერატურა მისგან ვერტიკალურად ზემოთ 1-2მ სიმაღლეზე გადაინაცვლებს, ხოლო მინიმალური ტემპერატურა შიგნით ტყეში აღინიშნება, რადგანაც ცივი ჰაერი სიმაღლიდან ძირს ეშვება.

ზაფხულში დღისით ტყეში მინდორთან შედარებით ცივა, ხოლო ღამით -თბილა. ზამთარში უფრო რთული პროცესები მიმდინარეობს, მაგრამ საერთო ჯამში ტემპერატურათა სხვაობა ტყესა და მინდორს შორის მცირდება, ზოგჯერ კი თითქმის არ აღინიშნება. წლიურ ჭრილში საშუალოდ ტყე რამდენადმე ცივია მინდორთან შედარებით.

ჰაერის შეფარდებითი სინოტივე ტყეში მხოლოდ რამდენიმე პროცენტით მაღალია ღია მინდორთან შედარებით. ზაფხულში ეს სხვაობა უდიდესია, ზამთარში კი თითქმის არ არსებობს. როგორც შეფარდებითი, ისევე აბსოლუტური სინოტივე ზაფხულში უდიდესია ვარჯებთან.

ჰაერის ნაკადი ზემოდან გადაუვლის ტყეს, ამიტომ ქარის სიჩქარე მეტია, ვიდრე იმავე სიმაღლეზე ღია მინდორში. ტყის შუაგულში ქარის სიჩქარე მინიმალურია, ხოლო უშუალოდ დედამიწის ზედაპირთან მისი სიჩქარე ნულს უტოლდება.

აორთქლება ტყეში შედარებით ნაკლებია, ვიდრე მდელოს მცენარეებში და მინდვრის კულტურებში. თუმცა აორთქლება ტყის ვარჯისგან უფრო ხანგრძლივად მიმდინარეობს. ნიადაგიდან აორთქლება უმნიშვნელოა. მთავარი როლი ტყის ვარჯით შეკავებული ნალექების აორთქლებას მიეკუთვნება. ნიადაგის ზედა ფენები ტყეში შედარებით ნოტიოა, ვიდრე მინდორში. ყოველ შემთხვევაში ტყეს არ შეუძლია მნიშვნელოვნად გაზარდოს შიდა ტენზიონა და ამ გზით გაზარდოს ნალექების რაოდენობა მიმდებარე

ტერიტორიებზე. თუმცა ნალექები შესაძლოა გაიზარდოს უშუალოდ ტყის ტერიტორიაზე სხვა მიზეზით. კერძოდ, მინდვრიდან ტყეზე გადასვლით წარმოიქმნება ჰაერის აღმავალი მოძრაობა, რაც ზრდის ტურბულენტობას და შესაბამისად აძლიერებს კონდენსაციურ პროცესებს. ზოგიერთი გათვლების თანახმად ტყის გავლენით შესაძლოა წელიწადში ნალექების რამოდენიმე ათეული მილიმეტრით მომატება. ამასთან, რაც უფრო კუნძულოვანია ტყის განაწილება, ანუ რაც უფრო არაერთგვაროვანია ტყე, მით უფრო დიდია მისი გავლენა ნალექიანობაზე [2].

თოვლი ტყეში უფრო თანაბრად ნაწილდება, ვიდრე ღია ადგილას, და მისი სიმკვრივეც ნაკლებია ქარის შესუსტების გამო. თოვლის დნობა ტყეში შენელებულია, ხოლო ნიადაგი უფრო ნაკლებ სიღრმეზე იყინება ვიდრე მინდორში.

მასალები და მეთოდები. აბასთუმნის შემოვლითი საავტომობილო გზის გაყვანა განხორციელდა ქუთაისი (სალორია)-ბაღდათი-აბასთუმანი-ბენარას საავტომობილო გზის მონაკვეთის ფარგლებში. განხორციელებელი პროექტის მიმდებარე ტერიტორიების კლიმატური ფონი წარმოდგენილია მრავალრიცხოვან ლიტერატურაში [3.4 და სხვ.].

ამ გამოკვლევების თანახმად თვით აბასთუმანში და იმ ტერიტორიაზე სადაც განხორციელდა შემოვლითი გზის გაყვანა საშუალო წლიური ტემპერატურა ძირითადად 6-8⁰ ფარგლებში, ხოლო ნალექების წლიური ჯამი 700-1000 მმ ფარგლებში მერყეობს. უფრო დეტალური კლიმატური ინფორმაცია შესაძლებელია მივიღოთ ცხრილ 1-დან, სადაც წარმოდგენილია ტემპერატურის და ნალექების საშუალო და ექსტრემალური მონაცემების წლიური სვლა აბასთუმნის მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებების მიხედვით და აგრეთვე საშუალო ტემპერატურის საშუალო კვადრატული გადახრები (s), რომელიც ახასიათებს ტემპერატურის მრავალწლიურ რყევადობას.

ცხრილი 1. ჰაერის ტემპერატურის და ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელობები აბასთუმნის მეტეოსადგურის მონაცემებით მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის მიერ რეკომენდებული პერიოდისათვის (1961-2010წწ) [5]

ელემენტი	სიდიდე	თვე												წელი
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ტემპერატურა	საშ.	-4.7	-3.7	0.9	6.3	10.9	13.9	17.4	17.2	13.1	7.8	2.2	-2.7	6.5
	მაქს.	1.2	1	4.5	9.8	12.6	17.2	19.6	21.2	15.6	10.7	5.1	0.8	8.4
	მინ.	-11.2	-11.7	-3.1	1.7	8.8	11	15.2	14.7	10.8	4.6	-1.7	-6.2	4.9
	s	2.9	2.9	2.5	1.8	1.0	1.2	1.2	1.3	1.4	1.9	2.1	2.6	0.8
ნალექები	საშ.	47	45	39	50	88	100	70	55	50	51	50	47	700
	მაქს.	115	174	85	135	146	232	175	201	103	164	207	110	972
	მინ.	20	19	18	27	52	56	34	21	26	20	20	21	550

ცხრილის თანახმად 50-წლიანი პერიოდის განმავლობაში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა მერყეობდა 4.9-8.4⁰ ფარგლებში, ხოლო ატმოსფერული ნალექების წლიური ჯამები მერყეობდა 550-972მმ ფარგლებში. შესაბამის ცვლილებებს განიცდიდა ტემპერატურის და ნალექების საშუალო თვიური მნიშვნელობები.

აბასთუმნის შემოვლითი გზის გაყვანასთან დაკავშირებით მოხდა ტყის მასივის გაჩეხვა, რაც, ბუნებრივია, გამოიწვევს გარკვეულ მიკროკლიმატურ ცვლილებებს. ეს ცვლილებები დაექვემდებარება ზემოდ განხილულ ზოგადი ხასიათის ცნობებს ტყის გაჩეხვის შესაძლო გავლენის შესახებ მიკროკლიმატზე. თუ როგორი იქნება მათი რაოდენობრივი მაჩვენებლები ეს დამოკიდებულია არსებულ ადგილობრივ კლიმატურ პირობებზე, გაჩეხილი ტყის მასშტაბებზე, გასაყვანი გზის ხასიათზე, მის საფარზე. მოსალოდნელი მიკროკლიმატური ცვლილებები მიახლოებით შეიძლება შევაფასოთ ანალოგიის მეთოდის გამოყენებით [6-9].

შედეგების განხილვა. გზის გაყვანასთან დაკავშირებით ტყის გაჩეხვა უპირველეს ყოვლისა გამოიწვევს პირდაპირი რადიაციის გაზრდას და შესაბამისად ტემპერატურის მომატებას. ტემპერატურის რაოდენობრივი ცვლილების შეფასება შესაძლებელია ნ.ბერუჩაშვილის [6] მოდელური ექსპერიმენტების საფუძველზე. ამ ექსპერიმენტების თანახმად კავკასიის პირობებისათვის საშუალო წლიური ტემპერატურა ტყის ლანდშაფტებში დაახლოებით 1⁰-ით ნაკლებია, ხოლო ნალექების წლიური ჯამი 100-150 მმ-ით მეტი უტყეო ლანდშაფტთან შედარებით. ტემპერატურათა სხვაობა უდიდესია აღმოსავლეთ საქართველოსა და სამხრეთ საქართველოს მთიანეთის პირობებში და 1-1.5⁰-ს შეადგენს, თუმცა ტემპერატურათა სხვაობას წლიური სვლა

გაჩნია. ტყის და უტყეო ლანდშაფტს შორის მოდელურ ტემპერატურათა სხვაობები წარმოდგენილია ცხრილში 2.

ცხრილი 2. ტემპერატურათა სხვაობა ტყის და უტყეო ლანდშაფტს შორის მოდელური ექსპერიმენტების თანახმად, °C

თვე												წელი
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
-0.7	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.7	-1.8	-1.7	-1.4	-1.0	-0.9	-0.7	-1.1

ცხრილში 2 წარმოდგენილი სიდიდეები ფაქტიურად გვიჩვენებენ, თუ რამდენი გრადუსით შეიძლება გაიზარდოს ჰაერის ტემპერატურა ტყის გაჩეხვის შემთხვევაში. თუ ამ ცვლილებებს შევადარებთ ცხრილ 1-ში წარმოდგენილ ტემპერატურის საშუალო კვადრატულ გადახრებს, დავრწმუნდებით, რომ ყველა თვეში და საშუალოდ წელიწადში ტემპერატურის ცვლილება ნაკლებია სამმაგ საშუალო კვადრატულ გადახრაზე, რაც მათემატიკურ სტატისტიკაში ცნობილი 3-სიგმას კრიტერიუმს აკმაყოფილებს და იმას ნიშნავს, რომ ტემპერატურის ეს ცვლილება 99.73%-შემთხვევაში მისი კლიმატური ნორმის ფარგლებში ვარირებს.

ცხრილი 2-ის თანახმად ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა გაჩეხილი ტყის ადგილას მოიმატებს დაახლოებით 1⁰-ით. ცხრილი 1-ის თანახმად კი ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონი 3.5⁰-ია, ანუ 8.4-3.9=3.5, რაც 3-ჯერ და მეტი ადმატება ტყის გაჩეხვის შედეგად მიღებულ მოსალოდნელ ცვლილებას. წლის განმავლობაში ტემპერატურის ყველაზე მნიშვნელოვანი ცვლილება მოსალოდნელია ზაფხულის თვეებში. მაგალითად ივლისში საშუალო თვიური ტემპერატურა გაიზრდება 1.8⁰-ით, მაშინ როდესაც ცხრილი 1-ის თანახმად საშუალო თვიური ტემპერატურის ცვლილების დიაპაზონია 4.4⁰ (19.6-15.2=4.4). ტემპერატურა უმნიშვნელოდ შეიცვლება ზამთარში, თებერვალში ტემპერატურა გაიზრდება 0.5⁰-ით, ხოლო მისი ბუნებრივი რყევადობის დიაპაზონი 2.9⁰-ს ადმატება. ამრიგად მოსალოდნელი ცვლილება საშუალო თვიური და წლიური ტემპერატურების ექსტრემალური მნიშვნელობების ფარგლების მხოლოდ მცირე დიაპაზონშია. ამდენად ეს შეფასებები ადასტურებს, რომ მოსალოდნელი ცვლილებები ტემპერატურის ბუნებრივი მრავალწლიური რყევადობის ფარგლებში რჩება.

ტყის გაჩეხვის შედეგად ჰაერის შეფარდებითი სინოტივე შესაძლოა მხოლოდ რამოდენიმე პროცენტით შემცირდეს, ძირითადად ზაფხულის ხარჯზე, ზამთარში კი მისი ცვლილება მოსალოდნელი არ არის, ქარის სიჩქარის რამდენადმე გაიზრდება. ტყის გაჩეხვა, მისი მცირე ფართობის გამო, ვერ მოახდენს გავლენას ადგილისათვის დამახასიათებელი ჰაერის აღმავალი მოძრაობების შესუსტებაზე, ტურბულენტობის შემცირებაზე, კონდენსაციური პროცესების შესუსტებასა და ნალექების შემცირებაზე. ნალექების რაოდენობა დარჩება კლიმატური ნორმების ფარგლებში.

გზის მოასფალტების შემდეგ წარმოიქმნება დამატებითი ეფექტი: ასფალტი შთანთქავს მზის ენერჯიას, ხურდება და თვითონ ასხივებს სითბოს. ამის შედეგად ზაფხულის ცხელ დღეებში ტემპერატურა უფრო მეტი სიდიდით გაიზრდება, ხოლო შეფარდებითი სინოტივე შესაძლოა რამოდენიმე პროცენტით შემცირდეს.

აღნიშნული ცვლილებები მოსალოდნელია უშუალოდ იმ ტერიტორიაზე, სადაც გაჩეხება ტყე და გაყვანილი იქნება გზა. გზისგან დაშორებით, ტყის პირობებში შენარჩუნებული იქნება ტყისთვის დამახასიათებელი რადიაციული რეჟიმი და არსებული კლიმატური პირობები.

აღსანიშნავია, რომ საქართველოს ბუნებრივ ლანდშაფტებში ძლიერაა გამოხატული კომპენსაციური მექანიზმები, ამიტომ ტყის გაჩეხვა დიდ ფართობზეც კი არ იწვევს ბუნებრივი გარემოს კარდინალურ გარდაქმნას. მითუმეტეს, როდესაც საუბარია შედარებით მცირე ფართობზე, აქ არსებითი კლიმატური ცვლილებები არ არის მოსალოდნელი. შემოვლითი გზიდან მოშორებით კი, რამოდენიმე მეტრ მანძილზე, ტყეში და დასახლებაში, კლიმატური ელემენტების რაიმე მნიშვნელოვანი ცვლილებები არ იქნება, ისინი მრავალწლიური ნორმის ფარგლებში დარჩებიან [10].

ძირითადი შედეგები:

1. აბსოლუტური შემოვლითი გზის გაყვანასთან დაკავშირებით ტყის გაჩეხვა უპირველეს ყოვლისა გამოიწვევს პირდაპირი რადიაციის გაზრდას და შესაბამისად ტემპერატურის მომატებას. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა გაჩეხილი ტყის ადგილას მოიმატებს დაახლოებით 1⁰-ით. ტემპერატურის ყველაზე მნიშვნელოვანი მატება მოსალოდნელია ზაფხულის თვეებში 1.7-1.8⁰-ით, ხოლო უმნიშვნელო ზამთარში 0.5-0.7⁰. ეს ცვლილებები ტემპერატურის ბუნებრივი მრავალწლიური რყევადობის ფარგლებში რჩება.

2. ტყის გაჩეხვის შედეგად ჰაერის შეფარდებითი სინოტივე შესაძლოა მხოლოდ რამოდენიმე პროცენტით შემცირდეს, ძირითადად ზაფხულის ხარჯზე, ზამთარში კი მისი ცვლილება მოსალოდნელი არ არის. მოსალოდნელია ქარის სიჩქარის რამდენადმე გაზრდა.
3. ტყის გაჩეხვა, მისი მცირე ფართობის გამო, ვერ მოახდენს გავლენას ადგილისათვის დამახასიათებელი ჰაერის აღმავალი მოძრაობების შესუსტებაზე, ტურბულენტობის შემცირებასა, კონდენსაციური პროცესების შესუსტებასა და ნალექების შემცირებაზე. ნალექების რაოდენობა დარჩება კლიმატური ნორმების ფარგლებში.
4. გზის მოასფალტების შემდეგ წარმოიქმნება დამატებითი ეფექტი: ასფალტი შთანთქავს მზის ენერგიას, ხურდება და თვითონ ასხივებს სითბოს. ამის შედეგად ზაფხულის ცხელ დღეებში ტემპერატურა უფრო მეტი სიდიდით გაიზრდება, ხოლო შეფარდებითი სინოტივე შესაძლოა რამოდენიმე პროცენტით შემცირდეს.
5. აღნიშნული ცვლილებები მოსალოდნელია უშუალოდ იმ ტერიტორიაზე, სადაც გაჩეხება ტყე და გაყვანილი იქნება გზა. გზისგან დაშორებით, ტყის პირობებში და დასახლებაში შენარჩუნებული იქნება ტყისთვის დამახასიათებელი რადიაციული რეჟიმი და არსებული კლიმატური პირობები. კვლევა შესრულებულია სახელმწიფო დაკვეთის შესაბამისად.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Molchanov A. A. The impact of forests on the environment. 1973, 188 p.(RUS).
2. Lashchinsky, N.N. Structure and dynamics of pine forests .- Novosibirsk: Nauka, 1981, 220 p. (RUS).
3. Climatic and Agroclimatic Atlas of Georgia. Tbilisi, 2011, 190 p. .(GEO).
4. Elizbarashvili E. The Climate of Georgia, Tbilisi, 2017, 361 p. (GEO).
5. Hydrometeorological Institute's satellite bases.(GEO)..
6. Beruchashvili N.L. Caucasus-landscape, models, experiments, 1996,350P (RUS).
7. Runova EM, Savchenkova VA Influence of felling on microclimate features. 1989,250 P(RUS).
8. .Elizbarashvili E. Climatology, Sokhumi University, 2020, 215 p.(GEO).
9. Elizbarashvili E., Kheladze T. On the influence of the Inguri reservoir on the local climate. Reports of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, v. 136, no. 2, 1989, pp. 321-324. (RUS)
10. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili Sh. E., Kutaladze N.B. Tropical Nights in Georgia. Russian Meteorology and Hydrology , 2018, 43(9): p.625-631 DOI:10.3103/S1068373918090091

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-47-51

უაკ:551.583

აბასთუმნის შემოვლითი გზის გარემოს მიკროკლიმატზე ზემოქმედების შეფასება/ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ც., ელიზბარაშვილი ., სულხანიშვილი ნ./სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.47-51. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

კვლევა ეხება აბასთუმანი-ში შემოვლითი საავტომობილო გზის გაყვანის შედეგად გარემოს მიკროკლიმატურ ცვლილებებს. პროექტი განხორციელდა ქუთაისი-ბაღდათი-აბასთუმანი-ბენარას გზის მონაკვეთზე და მოიცავდა ტყის გარკვეული ფართობის გაჩეხვას.

ტყე ქმნის სპეციფიკურ მიკროკლიმატს: ამცირებს მზის პირდაპირ რადიაციას, ტემპერატურას, ქარის სიჩქარეს და აორთქლებას, ხოლო ზრდის ჰაერის შეფარდებით სინოტივეს. ტყის გაჩეხვა იწვევს ამ ბალანსის ნაწილობრივ დარღვევას.

მრავალწლიანი (1961–2010 წწ.) მეტეოროლოგიური მონაცემების და მოდელური შეფასებების საფუძველზე დადგინდა, რომ: ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა გაჩეხილ ტერიტორიაზე გაიზრდება დაახლოებით 1°C -ით; ყველაზე მნიშვნელოვანი მატება მოსალოდნელია ზაფხულში ($1.7-1.8^{\circ}\text{C}$), ხოლო ზამთარში ცვლილება უმნიშვნელოა ($0.5-0.7^{\circ}\text{C}$); შეფარდებითი სინოტივე შესაძლოა რამდენიმე პროცენტით შემცირდეს, ძირითადად ზაფხულში; ქარის სიჩქარე ოდნავ გაიზრდება; ნალექების წლიური რაოდენობა კლიმატური ნორმის ფარგლებში დარჩება; გზის ასფალტის საფარი დამატებით გააძლიერებს ზაფხულში ზედაპირული გათბობის ეფექტს.

შეფასება აჩვენებს, რომ მოსალოდნელი ცვლილებები არ სცდება ბუნებრივი მრავალწლიური კლიმატური რყევების ფარგლებს (3-სიგმას კრიტერიუმის ფარგლებში) და ლოკალურ ხასიათს ატარებს. გზისგან რამდენიმე მეტრის დაშორებით ტყისთვის დამახასიათებელი მიკროკლიმატი შენარჩუნდება.

დასკვნის მიხედვით, პროექტი არ იწვევს არსებით კლიმატურ გარდაქმნებს და ზემოქმედება იქნება შეზღუდული და ლოკალიზებული.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-47-51

UDC:551.583

Assessment of the impact of the Abastumani bypass road on the microclimate of the environment/Elizbarashvili E., Elizbarashvili M., Diasamidze Ts., Elizbarashvili . , Sulkhanishvili N./Transactions of the IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.47-51. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The study concerns the microclimatic changes in the environment as a result of the construction of the bypass road in Abastumani. The project was implemented on the Kutaisi-Baghdati-Abastumani-Benara road section and included the felling of a certain area of forest. The forest creates a specific microclimate: it reduces direct solar radiation, temperature, wind speed and evaporation, and increases the relative humidity of the air. Deforestation leads to a partial disruption of this balance. Based on long-term (1961–2010) meteorological data and model estimates, it was determined that: the average annual air temperature in the cleared area will increase by approximately 1°C; the most significant increase is expected in summer (1.7–1.8°C), while the change in winter is insignificant (0.5–0.7°C); relative humidity may decrease by several percent, mainly in summer; wind speed will increase slightly; annual precipitation will remain within the climatic norm; asphalt road surface will additionally enhance the effect of surface heating in summer. The assessment shows that the expected changes do not go beyond the limits of natural long-term climatic fluctuations (within the 3-sigma criterion) and are of a local nature. A microclimate characteristic of the forest will be maintained a few meters away from the road. According to the conclusion, the project will not cause significant climate changes and the impacts will be limited and localized.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-47-51

УДК: 551.583

Оценка воздействия Абастуманской объездной дороги на микроклимат окружающей среды/Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Ц., Элизбарашвили, Сулханишвили Н./Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.47-51. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Исследование посвящено микроклиматическим изменениям окружающей среды в результате строительства объездной дороги в Абастумани. Проект был реализован на участке дороги Кутаиси-Багдати-Абастумани-Бенара и включал вырубку определенного участка леса. Лес создает специфический микроклимат: он снижает прямое солнечное излучение, температуру, скорость ветра и испарение, а также повышает относительную влажность воздуха. Вырубка леса приводит к частичному нарушению этого баланса. На основе долгосрочных (1961–2010 гг.) метеорологических данных и модельных оценок было установлено, что: среднегодовая температура воздуха на расчищенной территории повысится примерно на 1°C; наиболее значительное повышение ожидается летом (1,7–1,8°C), тогда как зимой изменение незначительно (0,5–0,7°C); относительная влажность может снизиться на несколько процентов, главным образом летом; скорость ветра незначительно увеличится; годовое количество осадков останется в пределах климатической нормы; асфальтовое покрытие дороги дополнительно усилит эффект нагрева поверхности летом. Оценка показывает, что ожидаемые изменения не выходят за пределы естественных долгосрочных климатических колебаний (в пределах критерия 3-сигма) и носят локальный характер. Микроклимат, характерный для леса, будет поддерживаться в нескольких метрах от дороги. По заключению, проект не вызовет значительных климатических изменений, а его воздействие будет ограниченным и локализованным.

**Современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавахеги
Элибарашвили Элибар*, Элибарашвили Мария**, Диасамидзе Цицино*, Элибарашвили
Шалва*, Челидзе Нана***

* Институт Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета

** Тбилисский Государственный Университет им. Джавахишвили

Резюме. В статье рассмотрены современные тенденции изменения экстремальных температур в регионе Самцхе–Джавахеги в условиях интенсивного глобального потепления. Исследование выполнено на основе данных трех метеорологических станций — Ахалкалаки (1717 м), Ахалцихе (962 м) и Боржоми (789 м) — за период 1961–2020 гг. Используются климатические индексы экстремальных температур, рекомендованные ВМО и МГЭИК (Тхх, Тnn, Тхп, Тпх, Тх90р, Тn10р). Статистическая значимость трендов оценивалась по р-критерию (уровень значимости 0,05). Установлено, что изменения суточных максимумов температуры (Тхх) носят разнонаправленный характер: в Ахалцихе и Боржоми отмечен положительный тренд, в Ахалкалаки — отрицательный, однако во всех случаях изменения статистически незначимы. Аналогичная картина наблюдается для абсолютных минимумов температуры (Тnn), при этом в Ахалцихе выявлен статистически значимый рост (0,7 °С за десятилетие). Более выраженные изменения характерны для индекса Тпх (максимум абсолютных минимумов температуры): в Ахалцихе и Боржоми зафиксирован статистически значимый рост (0,4 и 0,3 °С за десятилетие соответственно), что свидетельствует о смягчении холодных экстремумов. В Ахалкалаки изменения носят отрицательный, но статистически незначимый характер. Анализ процентильных индексов показал снижение числа дней с экстремально высокими температурами (Тх90р) в Ахалкалаки (статистически значимо), тогда как в Ахалцихе и Боржоми изменения незначительны. В то же время изменения холодных экстремумов (Тn10р) имеют разнонаправленный характер: в Ахалкалаки отмечен рост числа таких дней, а в Ахалцихе и Боржоми — их уменьшение; последние изменения статистически значимы. Ключевые слова: экстремальные температуры, тренд, статистическая значимость

Введение. Проведенные за последние годы исследования некоторых климатических индексов Грузии [1-7 и др.], рекомендованных экспертной группой мониторинга и индексов Межгосударственной комиссии экспертов по изменению климата (МГЭИК) Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) для оценки региональных климатических изменений в условиях глобального потепления [8,9], расширили наши представления о климате и изменении климата Грузии в условиях глобального потепления. В частности было установлено, что наиболее чувствительными индикаторами изменения климата являются экстремальные температуры, жаркие дни, тропические ночи и морозные дни.

В [1] исследованы ежегодные изменения индексов экстремальных климатических явлений в Грузии за период 1971–2010 гг с использованием гомогенизированных рядов суточных минимальных и максимальных температур и осадков. В [2,3] по материалам наблюдений 50 метеорологических станций за период 1936–2013 годы исследованы динамика числа жарких дней, их повторяемость, интенсивность, и продолжительность на территории Грузии, определены периоды наступления жарких дней в течении года и их максимальная интенсивность в различных физико-географических условиях, выполнено районирование территории Грузии по скорости изменения числа жарких дней. В [4] по материалам наблюдений 30 метеорологических станций Грузии за период 1936–2013 годы исследована география, статистическая структура, интенсивность, продолжительность и динамика тропических ночей, построена геоинформационная карта числа тропических ночей за базовый период ВМО, определены период наступления и повторяемости их различных градаций, установлены закономерности многолетнего изменения. В [5] по материалам наблюдений 25 метеорологических станций за период 1936–2013 годы исследована статистическая структура морозов и морозных дней в горных районах Грузии, определены непрерывная продолжительность морозов, период наступления и повторяемости различных градаций числа морозных дней, установлены закономерности их многолетнего изменения.

В настоящей статье исследованы современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавахеги в условиях интенсивного глобального потепления.

Материалы и методы. В исследовании использованы материалы наблюдений трех метеорологических станций-Ахалкалаки (1717м н.у.м), Ахалцихе(962м н.у.м), и Боржоми(789м н.у.м) за период 1961-2020 годы. Климат региона: умеренно континентальный, сравнительно сухой, с холодной зимой. Ландшафты: высокие плато, горные луга, степные участки, вулканические формы, среднегорные хребты, густые леса, перевалы. Рассмотрены следующие климатические индексы экстремальных температур (см.табл.1)

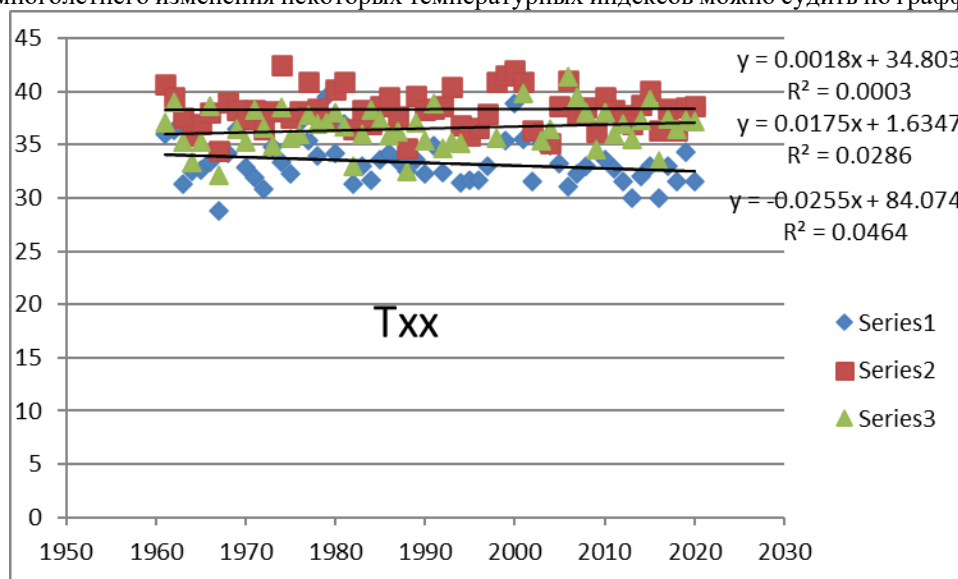
Таблица 1. Индексы экстремальных температур

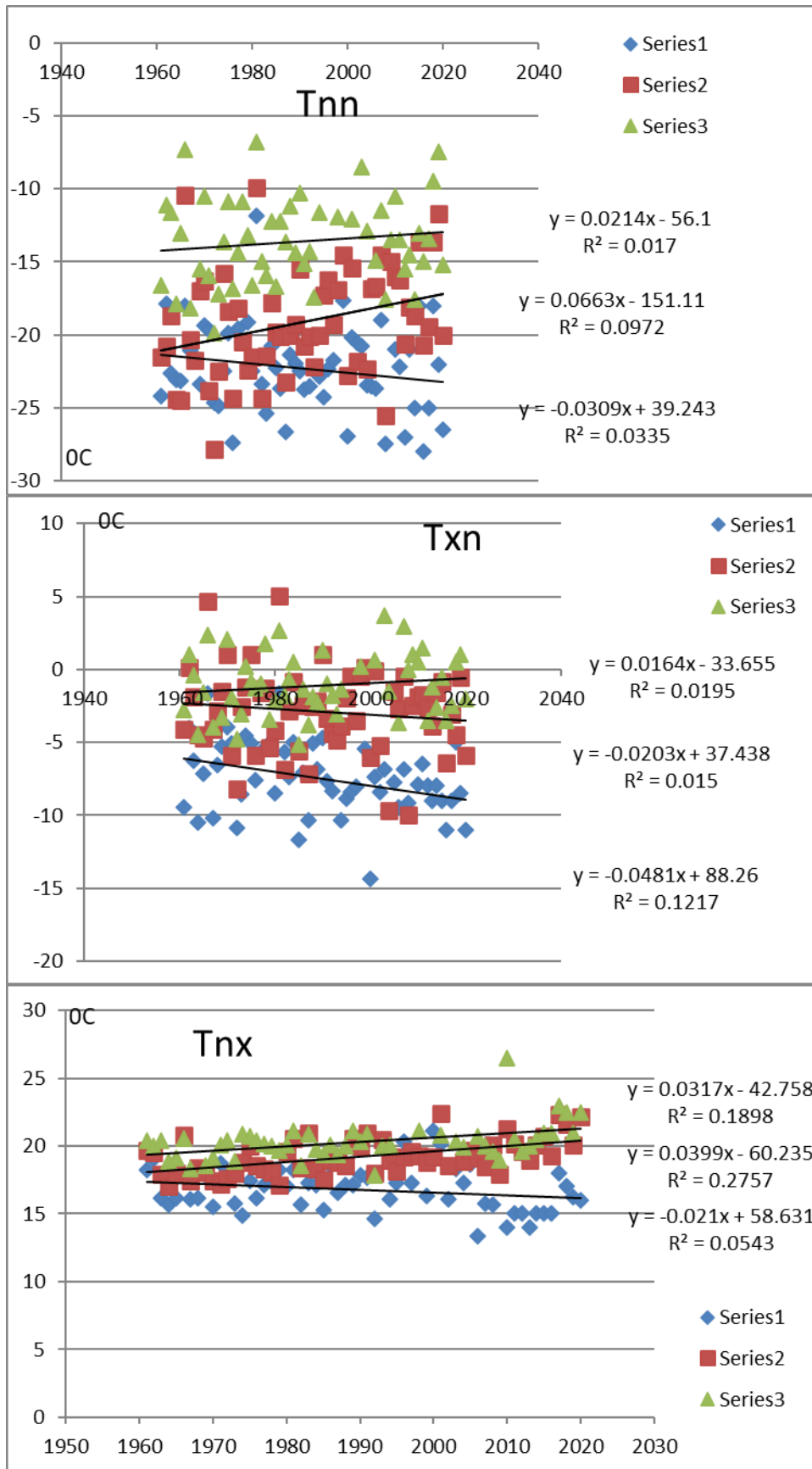
Индекс	Название	Определение	Единица
T _{хх}	суточный максимум температуры	суточный максимум температуры за период исследования	°C
T _{нн}	суточный минимум температуры	суточный минимум температуры за период исследования	°C
T _{хп}	минимум абсолютных максимумов температуры	минимум из абсолютных максимумов температуры	°C
T _{пх}	максимум абсолютных минимумов температуры	максимум из абсолютных минимумов температуры	°C
T _{х90р}	90%-аяпроцентиль максимумов температуры	число дней, когда максамальная температура воздуха превышает пороговое значение, 90%-ую процентиль максимумов температуры	число дней за год
T _{п10р}	10%-аяпроцентиль минимумов температуры	число дней,когда минимальная температ воздуха ниже порогового значения, 10%-ного процентиля минимумов температуры.	число дней за год

Тренд многолетнего изменения климатических индексов оценивался с помощью p –вероятности ошибки первого рода при отклонении нулевой гипотезы (уровень значимости). В качестве нулевой гипотезы было принято, что многолетнее изменение индексов экстремальных температур (тренд) за период 1961-2020 гг имеет случайный характер. Соответственно алтернативная гипотеза, исключающая нулевую, означала истинность изменения этих характеристик во времени (значимость тренда). Если значение p мало (менее или равно 0.05) нулевая гипотеза отвергалась и тренд считался значимым [10].

Обсуждение результатов.

О тенденциях многолетнего изменения некоторых температурных индексов можно судить по графикам (см рис.1).





რის.1. ტენდენციები მრავალწლიანი ცვლილების რამდენიმე ინდექსში ექსტრემალური ტემპერატურის, შესაბამისი წრფივი რეგრესიის განტოლებები და დეტერმინაციის კოეფიციენტი (R^2): 1-ახალკალაკი, 2-ახალციხე, 3-ბორჯომი

Из рис.1 следует, что динамика суточного максимума температуры (T_{xx}) за исследуемый период имел положительный тренд в Ахалцихе и Боржоми, а в Ахалкалаки имел отрицательный тренд. однако эти изменения статистически незначимы.

Аналогичная тенденция отмечается в изменении абсолютных минимумов температуры (T_{nn}). В Ахалцихе и Боржоми температуры увеличивались соответственно со скоростью 0.7 и 0.2 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость соответственно 10% и 2%.. Вклад тренда статистически значим для Ахалцихе. В Ахалкалаки абсолютный минимум температуры также уменьшалась со скоростью 0.3 °C, однако это изменение статистически также незначимо.

В изменении минимумов абсолютных максимумов температуры (T_{xn}) в Ахалцихе и Боржоми отмечается незначительный тренд, а в Ахалкалаки температура уменьшалась со скоростью 0.5 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость 12%, что статистически значимо.

Изменения максимумов абсолютных минимумов температуры (T_{nx}) более значительны. Так, в Ахалцихе и Боржоми температуры увеличивались соответственно со скоростью 0.4 и 0.3 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость соответственно 28% и 19%. Эти изменения статистически значимы. В Ахалкалаки максимумы из абсолютных минимумов температуры уменьшались со скоростью 0.2 °C за декаду, вкладом тренда в их изменчивость всего 5%, вследствие чего это изменение статистически незначимо.

В таблице 2 представлены уравнения линейной регрессии за период 1961-2020гг. и соответствующие коэффициенты детерминации (R^2) для 90%-ых перцентилей годовых максимумов температуры и 10%-ых перцентилей годовых минимумов температуры, жирным шрифтом выделены статистически значимые значения

Таблица 2 Уравнения линейной регрессии и соответствующие коэффициенты детерминации (R^2)

Пункт	Уравнение 90%-ая перцентиль максимумов	R^2	Уравнение 10%-ая перцентиль минимумов	R^2
Ахалкалаки	$y=-0.459x+954$	0.15	$y=0.296x-555$	0.14
Ахалцихе	$y=-0.214x+461$	0.05	$y=-0.402x+831$	0.23
Боржоми	$y=-0.169x+379$	0.03	$y=-0.2795x+600$	0.11

Из таблицы следует, что скорости изменения 90%-ых перцентилей годовых максимумов температуры отрицательны и составляют 1-5 дней, вклад тренда в их изменчивость в Ахалкалаки составляют 15%, что статистически значимо. Изменения в Ахалцихе и Боржоми статистически незначимы.

Скорость изменения 10%-ых перцентилей годовых минимумов температуры в Ахалкалаки положительна и составляет около 3 дней за декаду, вкладом тренда в их суммарную изменчивость 14%, а скорости изменения 10%-ых перцентилей годовых минимумов температуры в Ахалцихе и Боржоми отрицательны и составляют 3-4 дня за декаду. Вклад тренда в суммарную изменчивость перцентилей температуры составляет соответственно 23% и 11%. Эти изменения статистически значимы.

Заключение. Проведённое исследование позволило выявить особенности современных изменений экстремальных температур в регионе Самцхе–Джавахети за период 1961–2020 гг. в условиях интенсивного глобального потепления.

Установлено, что наибольшие и статистически значимые изменения связаны с трансформацией холодных температурных экстремумов, особенно в Ахалцихе и Боржоми. Рост максимумов абсолютных минимумов температуры (T_{nx}), а также уменьшение числа дней с экстремально низкими температурами (T_{n10p}) в этих пунктах свидетельствуют о смягчении зимних условий и снижении суровости холодного периода.

В то же время динамика экстремально высоких температур выражена слабее и носит преимущественно статистически незначимый характер. Снижение 90%-ых перцентилей максимумов температуры (T_{x90p}) в Ахалкалаки является единственным статистически значимым изменением среди показателей жарких экстремумов.

Выявлена пространственная неоднородность климатических изменений: в высокогорной зоне (Ахалкалаки) тенденции выражены слабее и отличаются по направлению от низкогорных районов (Ахалцихе, Боржоми). Это подчёркивает важную роль высотной поясности и физико-географических условий в формировании регионального отклика на глобальное потепление.

В целом полученные результаты подтверждают продолжающуюся трансформацию температурного режима региона, прежде всего за счёт ослабления холодных экстремумов, что имеет существенное значение для природных экосистем, сельского хозяйства и социально-экономического развития Самцхе–Джавахети.

ЛИТЕРАТУР-REFERENCES

1. Keggenhoff I., Elizbarashvili M., Amiri-Farahani A., King L. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971–2010. *Weather and Climate Extreme*, 2014, 4(2014)75–85
2. Elizbarashvili E. Sh., Kutaladze N. B., Keggenhoff I., Elizbarashvili M. E., Kikvadze B. M., Gogiya N. M. Climate Indices for the Moistening Regimen in the Territory of Georgia amidst Global Warming. - *European Researcher*, Vol. (66), № 1-1, 2014, p. 102-107
3. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Kutaladze N. B., Elizbarashvili Sh. E., Chelidze N. Z. Long-term Changes in the Number and Temperature of Hot Days in Georgia under Global Warming *Russian Meteorology and Hydrology*, 2017, Vol. 42, No. 10, pp. 665–670. DOI: 10.3103/S1068373917100065
4. [Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Elizbarashvili Sh. E., Kutaladze N. B. Tropical Nights in Georgia. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, 43\(9\): p. 625-631 DOI: 10.3103/S1068373918090091](#)
5. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Elizbarashvili Sh. E., Kutaladze N. B., Gogiya N. M. Characteristics of Frost Days in the Mountain Regions of Georgia *Russian Meteorology and Hydrology*, 2019, Vol. 44, No. 2, pp. 145–151. DOI: 10.3103/S1068373919020080
6. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Kutaladze N. B., Keggenhoff I., Kikvadze B. M., Gogiya N. M. Geography and dynamics of some temperature indices for assessing the climate change in Georgia. — *Russian Meteorology and Hydrology*, Volume 40, Issue 1, 2015. DOI: 10.3103/S1068373915010069
7. Elizbarashvili E. Sh., Elizbarashvili M. E., Kutaladze N. B., Keggenhoff I., Elizbarashvili Sh. E., Kikvadze B. M., Gogiya N. M. Spatiotemporal Variations in Climate Moisture Indices in Georgia under Global Warming *Russian Meteorology and Hydrology*, 2016, Vol. 41, No. 4, pp. 261–267. DOI: 10.3103/S1068373916040051
8. <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
9. Peterson, T.C. [Climate Change Indices](#). *WMO Bulletin*, 2005, 54 (2), 83-86
10. Rumshiskii L.Z. *Mathematical processing of experimental results*. Moscow, Nauka, 1971, 192 p. (Rus)

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57

უკ:551.583

ექსტრემალური ტემპერატურების თანამედროვე ცვლილების ტენდენციები სამცხე-ჯავახეთში. ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ც., ელიზბარაშვილი შ., ჭელიძე ნ. სტუპ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.52-57. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

სტატია განიხილავს სამცხე-ჯავახეთის რეგიონში ექსტრემალური ტემპერატურის მიმდინარე ტენდენციებს ინტენსიური გლობალური დათბობის პირობებში. კვლევა ეფუძნება სამი მეტეოროლოგიური სადგურის - ახალქალაქის (1717 მ), ახალციხის (962 მ) და ბორჯომის (789 მ) მონაცემებს 1961-2020 წლების პერიოდისთვის. გამოყენებული იქნა მსოფლიო მეტეოროლოგიური ორგანიზაციის (WMO) და IPCC-ის მიერ რეკომენდებული ექსტრემალური ტემპერატურის კლიმატური ინდექსები (Txx, Tnn, Txn, Tnx, Tx90p, Tn10p). ტენდენციების სტატისტიკური მნიშვნელობა შეფასდა p-ტესტის გამოყენებით (მნიშვნელობის დონე 0.05). აღმოჩნდა, რომ დღიური ტემპერატურის მაქსიმუმის (Txx) ცვლილებები მრავალმხრივია: ახალციხესა და ბორჯომში დადებითი ტენდენცია დაფიქსირდა, ხოლო ახალქალაქში უარყოფითი. თუმცა, ყველა შემთხვევაში, ცვლილებები სტატისტიკურად უმნიშვნელოა. მსგავსი ტენდენცია შეინიშნება აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურისთვის (Tnn), ახალციხეში სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ზრდით (0.7°C ათწლეულში) დაფიქსირებული. უფრო გამოხატული ცვლილებები შეინიშნება Tnx ინდექსში (მაქსიმალური აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა): ახალციხესა და ბორჯომში სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი ზრდა დაფიქსირდა (შესაბამისად, 0.4 და 0.3°C ყოველ ათწლეულში), რაც მიუთითებს ცივი ექსტრემუმების შერბილებაზე. ახალქალაქში ცვლილებები უარყოფითია, მაგრამ სტატისტიკურად უმნიშვნელო. პერცენტილური ინდექსების ანალიზმა აჩვენა, რომ ახალქალაქში უკიდურესად მაღალი ტემპერატურის დღეების რაოდენობა (Tx90p) შემცირდა (სტატისტიკურად მნიშვნელოვანი), ხოლო ახალციხესა და ბორჯომში ცვლილებები უმნიშვნელოა. ამასობაში, ცივი ექსტრემუმების ცვლილებები (Tn10p) გასხვავებულია: ასეთი დღეების რაოდენობა გაიზარდა ახალქალაქში, ხოლო შემცირება - ახალციხესა და ბორჯომში; ეს უკანასკნელი ცვლილებები სტატისტიკურად მნიშვნელოვანია.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57

UDC:551.583

Current Trends of Extreme Temperature Changes in Samtskhe-Javakheti. Elizbarashvili, E., Elizbarashvili, M., Diasamidze, T., Elizbarashvili, Sh., Chelidze, N. Transactions of the IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp52-57. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

This article examines current trends of extreme temperatures in the Samtskhe-Javakheti region under conditions of intense global warming. The study is based on data from three meteorological stations—Akhalkalaki (1,717 m), Akhaltsikhe (962 m), and Borjomi (789 m) – for the period of 1961–2020. Climate indices of extreme temperatures

recommended by the WMO and IPCC (Txx, Tnn, Txp, Tnx, Tx90p, Tn10p) were used. The statistical significance of trends was assessed using the p-test (significance level 0.05). It was found that changes in daily temperature maxima (Txx) are multidirectional: a positive trend was observed in Akhaltsikhe and Borjomi, while a negative trend was observed in Akhalkalaki. However, in all cases, the changes are statistically insignificant. A similar trend is observed for absolute minimum temperatures (Tnn), with a statistically significant increase (0.7°C per decade) recorded in Akhalkalaki. More pronounced changes are observed for the Tnx index (maximum absolute minimum temperatures): in Akhaltsikhe and Borjomi, statistically significant increases (0.4 and 0.3°C per decade, respectively) were recorded, indicating a mitigation of cold extremes. In Akhalkalaki, the changes are negative, but statistically insignificant. Analysis of percentile indices revealed a decrease in the number of days with extremely high temperatures (Tx90p) in Akhalkalaki (statistically significant), while in Akhaltsikhe and Borjomi, the changes are insignificant. Meanwhile, changes in cold extremes (Tn10p) are mixed: an increase in the number of such days was observed in Akhalkalaki, while a decrease was observed in Akhaltsikhe and Borjomi; the latter changes are statistically significant

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-52-57

УДК: 551.583

Современные тенденции изменения экстремальных температур в Самцхе-Джавахеги. Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Т., Элизбарашвили Ш., Челидзе Н. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.52-57. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье рассмотрены современные тенденции изменения экстремальных температур в регионе Самцхе–Джавахеги в условиях интенсивного глобального потепления. Исследование выполнено на основе данных трех метеорологических станций — Ахалкалаки (1717 м), Ахалцихе (962 м) и Боржоми (789 м) — за период 1961–2020 гг. Используются климатические индексы экстремальных температур, рекомендованные ВМО и МГЭИК (Txx, Tnn, Txp, Tnx, Tx90p, Tn10p). Статистическая значимость трендов оценивалась по р-критерию (уровень значимости 0,05). Установлено, что изменения суточных максимумов температуры (Txx) носят разнонаправленный характер: в Ахалцихе и Боржоми отмечен положительный тренд, в Ахалкалаки — отрицательный, однако во всех случаях изменения статистически незначимы. Аналогичная картина наблюдается для абсолютных минимумов температуры (Tnn), при этом в Ахалцихе выявлен статистически значимый рост (0,7 °C за десятилетие). Более выраженные изменения характерны для индекса Tnx (максимум абсолютных минимумов температуры): в Ахалцихе и Боржоми зафиксирован статистически значимый рост (0,4 и 0,3 °C за десятилетие соответственно), что свидетельствует о смягчении холодных экстремумов. В Ахалкалаки изменения носят отрицательный, но статистически незначимый характер. Анализ процентильных индексов показал снижение числа дней с экстремально высокими температурами (Tx90p) в Ахалкалаки (статистически значимо), тогда как в Ахалцихе и Боржоми изменения несут незначительный характер. В то же время изменения холодных экстремумов (Tn10p) имеют разнонаправленный характер: в Ахалкалаки отмечен рост числа таких дней, а в Ахалцихе и Боржоми — их уменьшение; последние изменения статистически значимы.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-58-66

უაკ 551.583

მტკვრის წყალსაცავების კასკადის ექსპლუატაციის მოსალოდნელი გავლენა მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე

ელიზბარაშვილი ელიზბარ*, ელიზბარაშვილი მარიამ**,
დიასამიძე ციცილო*, ელიზბარაშვილი შალვა*

* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
email: eelizbar@hotmail.com

** ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

რეიუმე. შეფასებულია მტკვრის წყალსაცავების მშენებარე კასკადის ექსპლუატაციის მოსალოდნელი გავლენა მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე. საპროექტო წყალსატევების მცირე ზომები ვერ მოახდენს არსებით გავლენას ადგილის კლიმატის ცვლილებაზე და მის შესაძლო გავლენაზე ჰიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებზე. ამასთანავე წყალსაცავების მაქსიმალური გავლენა იქნება შეგუბების ზონაში და გავლენის ეფექტი შემოსაზღვრება წყლის კიდედან 500მ მანძილით და მაისიდან ოქტომბრის ჩათვლით იქნება სუსტი გამაგრებელი, წლის დანარჩენ თვეებში კი წყალსატევს ეფექტი ფაქტიურად არ ექნება. ვირტუალური წყალსატევის, რომელიც წარმოადგენს ცალკეული წყალსაცავების გაერთიანებას, გავლენის ეფექტი ტემპერატურის ველზე ნიშნადი შეიძლება იყოს წყლის კიდედან 1 კმ მანძილამდე დაშორებით. წყალსატევის გამაგრებელი გავლენის პერიოდში აპრილი-ოქტომბერში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურების შემცირების სიდიდემ აბსოლუტური მნიშვნელობით წყლის კიდედან 100მ მანძილამდე შეიძლება მიაღწიოს 0.7⁰-ს, ხოლო 500 მ დაშორებით 0.5⁰-ს.

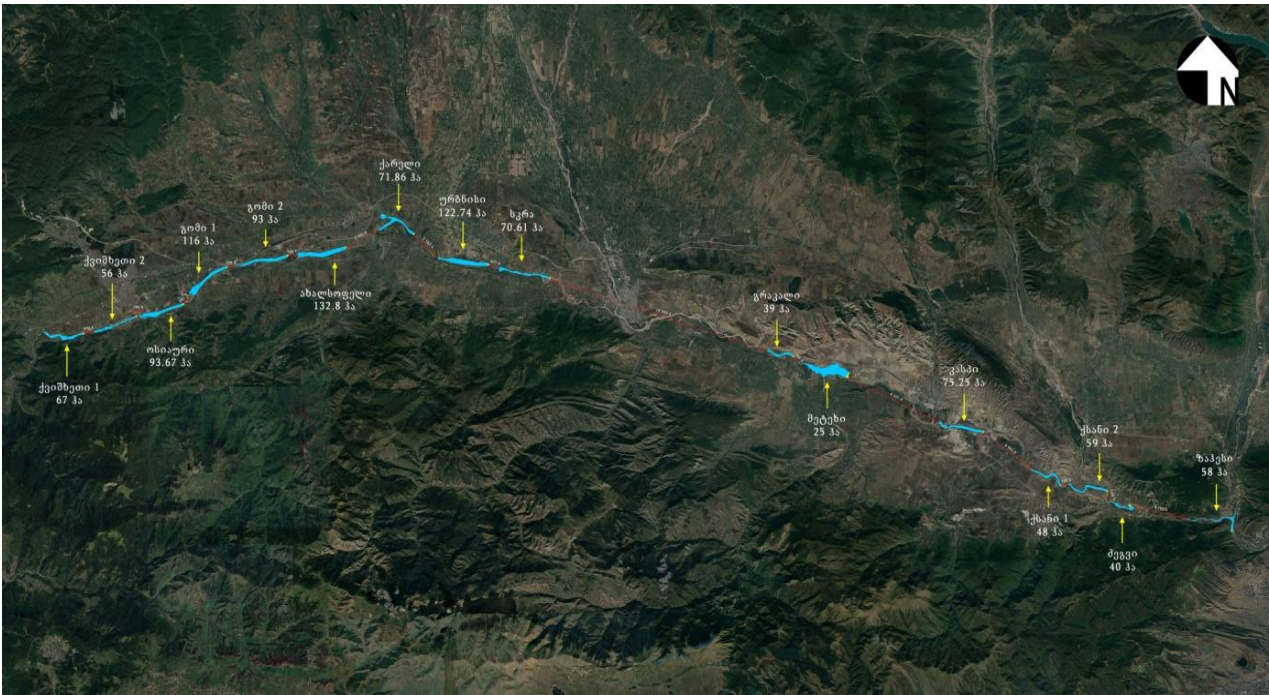
საკვანძო სიტყვები: წყალსაცავი, მიკროკლიმატი, მოდელირება

შესავალი. წყალსაცავი ქმნის თავის საკუთარ მიკროკლიმატს. წყალსაცავის აკვატორიაზე და მიმდებარე ტერიტორიაზე. ძირითადი კლიმატური ელემენტების ცვლილებების სიდიდეები დამოკიდებულია წყალსაცავის სიბურთი ბალანსის, კერძოდ, მისი მთავარი მდგენელის-რადიაციული ბალანსის მკვეთრ ცვლილებებთან, რაც წყლის მასის დიდი სიბურთეობით არის გამოწვეული. მეტეოელემენტების ცვლილებების სიდიდეები კი თავის მხრივ დამოკიდებულია წყალსაცავის ზომებზე, კერძოდ წყლის სარკის ფართობზე, მოცულობაზე, განფენილობაზე და სხვ.[1-4].

პირველი ნაშრომი საქართველოს წყალსაცავების მიკროკლიმატზე გავლენის შესახებ გამოქვეყნდა 1989 წელს [5]. მასში განხილული იყო ჯვრის (ენგურის) წყალსაცავის გავლენა ადგილობრივ კლიმატზე. დადგენილი იყო ამ გავლენის რაოდენობრივი მახასიათებლები.

დღეისათვის, არსებული გამოკვლევების თანახმად, დადგენილია რომ საქართველოს წყალსაცავები წლის თბილი პერიოდის განმავლობაში არეგულირებენ მიმდებარე ტერიტორიის სიბურთ რეჟიმს. სიბურთ გადატანა წყლის ზედაპირიდან ატმოსფეროში ხორციელდება მოლეკულური სიბურთგამტარობის, ტურბულენტური ცვლის სიბურთი კონვექციის, რადიაციული სიბურთგამტარობის და აორთქლების გზით. ეს პროცესები ქმნიან წყლის და ჰაერის ტემპერატურის გარკვეულ თანაფარდობებს, რაც მჭიდრო კავშირშია კლიმატურ პირობებთან.

კვლევის ობიექტი. მტკვრის წყალსაცავების პროექტის განხორციელება დაგეგმილია შიდა ქართლის რეგიონში. საპროექტო ტერიტორია განლაგებულია ზღვის დონიდან 450-720 მეტრ სიმაღლეთა ინტერვალში, მისი კლიმატური ფონი შეიძლება დახასიათდეს აშკარად მომქმედი მეტეოსადგურების ხაზურისა და გორის მონაცემებით, რომლებიც მდებარეობს საპროექტო ობიექტების კლიმატურ ზონაში ზღვის დონიდან შესაბამისად 690 და 588 მეტრ სიმაღლეზე. ნახ 1-ზე წარმოდგენილია წყალსაცავების განლაგების სქემა. როგორც სქემიდან ჩანს აქ წარმოდგენილია წყალსაცავების 2 დაჯგუფება, ერთი ქვიშეთი 1 დან სკრას ჩათვლით, ხოლო მეორე გრაკალიდან ძეგვის ჩათვლით. ამ 2 ჯგუფს შორის მანძილი რამოდენიმე ათეული კილომეტრია. თვითონ წყალსაცავებს შორის უდიდესი მანძილი მეტეხის და კასპის წყალსაცავებს შორის არის და აღემატება 8 კმ-ს, ხოლო ახალსოფლის და ქარელის წყალსაცავებს შორის მანძილი შეადგენს 3 კმ-ს. დანარჩენ წყალსაცავებს შორის მანძილი შეადგენს მხოლოდ რამოდენიმე ასეულ მეტრს.



ნახ.1 წყალსაცავების კასკადის მტკვარზე განლაგების სქემა

მ.კორძაიას [6] მიერ საქართველოს კლიმატური დარაიონების თანახმად, რასაც მან საფუძვლად კიოპენის ჰავათა კლასიფიკაცია დაუდო საკვლევი რეგიონი მდებარეობს აღმოსავლეთ საქართველოს სუბტროპიკული ჰავის ოლქში და მოიცავს კლიმატურ რაიონს ზომიერად ნოტიო ჰავით ცივი ზამთრით და ხანგრძლივი თბილი ზაფხულით.

მასალები და მეთოდები. წყალსატევის მიკროკლიმატზე გავლენის შეფასების შესახებ დღეისათვის სხვადასხვა მიდგომა არსებობს. ისინი შეიძლება წარმოვიდგინოთ 3 ჯგუფად;

1. წყალსაცავის გავლენის შეფასება გეოგრაფიული ანალოგის მეთოდის გამოყენებით:

გეოგრაფიული ანალოგის მეთოდი შეიძლება გამოვიყენოთ, რომ შევადაროთ სხვა, მსგავს ადგილებში არსებულ წყალსაცავებსა და მათ მიკროკლიმატზე გავლენას. გეოგრაფიული ანალოგი უკეთ წარმოადგენს ისეთ ზონებს, სადაც წყალსაცავები უკვე არსებობს და იქ არსებული მიკროკლიმატური ცვლილებები, მაგალითად, ტემპერატურის და ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობების ცვლილებები, უკვე განსაზღვრულია [2,7,8 და სხვ].

2. წყალსაცავიდან აორთქლების შეფასება წყლის ბალანსის, სითბური ბალანსის და სხვადასხვა ემპირიული მეთოდების გამოყენებით;

ამ მეთოდების გამოყენებით, შესაძლებელია დეტალურად შევისწავლოთ, როგორ ახდენს წყალსაცავიდან წყლის აორთქლა (დამატებითი ორთქლის წარმოქმნა) გავლენას გარემო პირობებზე.

მიდგომა ითვალისწინებს წყალსაცავის დამახასიათებელი მეტეოროლოგიური პარამეტრების გაანგარიშებას წყლის ბალანსის განტოლების საფუძველზე, ან ამ განტოლებიდან გამომდინარე სპეციალური ნომოგრამების დახმარებით [9-11].

3. წყალსაცავის გავლენის შეფასება მოდელირების მეთოდით. მოდელირების მეთოდებს შორის ყველაზე აღიარებულია ა.ვოეიკოვის სახელობის მთავარ გეოფიზიკურ ობსერვატორიაში დამუშავებული სპეციალური მეთოდი. მეთოდი ეფუძვნება წყალსატევის და მისი მოსაზღვრე ხმელეთის ტერიტორიაზე განვითარებულ ჰიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებს, ის ითვალისწინებს წყალსაცავის და ხმელეთის ატმოსფეროსთან სითბო და ტენციის პროცესებს და ასახავს სისტემის “წყალი-ატმოსფერო-ხმელეთი“ მეტეოროლოგიური რეჟიმის ფორმირების ძირითად კანონზომიერებებს, რაც განპირობებულია წყლის და ხმელეთის თვისებებს შორის არსებული განსხვავებებით (სითბოტევადობა, შთანთქმა, აორთქლება, რადიაციული ბალანსი, სითბური ბალანსი და ა.შ.).

მოდელირების მეთოდი უფრო გრძელვადიანი, კომპლექსური და ზუსტი მიდგომაა, სადაც გათვალისწინებულია ყველა ის ფაქტორი, რომელიც გავლენას ახდენს მიკროკლიმატზე. ასეთი მიდგომით შეიძლება შეიქმნას კომპლექსური ციფრული მოდელები, რომლებიც ასახავს წყალსაცავის მოქმედებას[3,12]:

ამ მეთოდის თანახმად ჰაერის ტემპერატურისა და პარციალური წნევის ცვლილება ჰაერის ნაკადის წყალსატევიდან ხმელეთზე გადაადგილებისას განისაზღვრება ფორმულებით:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_1 - T' = (T_n - T')(1 - F(T))\varphi, \\ \Delta E &= E_1 - E' = (E_n - E')(1 - F(E))\varphi,\end{aligned}\quad (1)$$

სადაც:

- T_1 და E_1 – ტემპერატურისა და პარციალური წნევის საძიებო მნიშვნელობებია ხმელეთზე წყლის კიდედან მოცემულ მანძილზე;
- T' და E' – ტემპერატურა და პარციალური წნევა ხმელეთზე წყალსაცავის შექმნამდე;
- T_n და E_n – წყალსაცავის ზედაპირის ტემპერატურა და ამ ტემპერატურაზე წყლის ორთქლის გაჯერებული პარციალური წნევა;
- $F(T)$ და $F(E)$ – უგანზომილებო ფუნქციებია, რომლებიც ითვალისწინებენ წყალსაცავის ატმოსფეროსთან სითბო და ტენციის მახასიათებლებს;
- φ – უგანზომილებო ფუნქციაა, რომელიც ითვალისწინებს ხმელეთის ატმოსფეროსთან სითბო და ტენციის მახასიათებლებს.

ფუნქციები $F(T)$, $F(E)$ და φ დამოკიდებული არიან ტურბულენტობის კოეფიციენტებზე, ქარის სიჩქარეზე, სიხისტის პარამეტრებზე და წყალსაცავის ზომებზე. $F(E)$ - არის ფუნქცია, რომელიც ითვალისწინებს წყალსაცავის ატმოსფეროსთან ტენზიონებს. ფუნქციების $(1-F(T))\varphi$ და $(1-F(E))\varphi$ მნიშვნელობები 2მ სიმაღლისათვის მოცემულია [12]-ში. ამ მეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვლილებების გამოსათვლელ მოცემულ განტოლებებში საწყის მონაცემებად ითვლება მეტეოსადგურების ინფორმაცია 2მ სიმაღლეზე. ქვეფენილი ზედაპირიდან სხვადასხვა დონეზე წყალსაცავის გავლენით გამოწვეული ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის სიდიდეების ცვლილების გამოსავლენად გამოიყენება პარამეტრები

α და β ,

რომლებიც წარმოდგენილია აგრეთვე ცხრილების სახით [12]. ამ გამოსახულებებში $(1-F(T))\varphi$ და $(1-F(E))\varphi$ არიან ამ ფუნქციების მნიშვნელობები 2მ სიმაღლეზე, ხოლო $(1-F(T))\varphi^2$ და $(1-F(E))\varphi^2$ - ამავე ფუნქციების მნიშვნელობები ქვეფენილი ზედაპირიდან 2მ სიმაღლეზე წყალსაცავის ზომებისა და წყლის ხაზიდან მოცემულ წერტილამდე. α და β მნიშვნელობები მოყვანილია სპეციალურ ცხრილში [12]. წყალსაცავის სანაპიროზე ჰაერის ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილებების გამოთვლის დროს მხედველობაში მიიღება შესწორებები, რომლებიც განპირობებულია წყალსაცავის განლაგების გეომორფოლოგიური პირობებით, ქვეფენილი ზედაპირის თავისებურებებითა და გარემოს ლანდშაფტზე ზემოქმედების შედეგებით. ტემპერატურისა და ტენიანობის მაქსიმალური ცვლილებები აღინიშნება წყალსაცავის ცენტრში:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_1 - T' = (T_n - T') F(T) \\ \Delta E &= E_1 - E' = (E_n - E') F(E)\end{aligned}$$

უნდა აღინიშნოს, რომ წყალსაცავების გარემოს კლიმატზე გავლენის შეფასებას ხშირ შემთხვევაში ართულებს წყლის ზედაპირის ტემპერატურის შესახებ ინფორმაციის არარსებობა და მისი მიღება რეგიონისათვის შესაბამისი ფუნქციონალური დამოკიდებულებით წარმოდგენს გარკვეულ სიძნელეებს.

განგარიშებებში გამოყენებულია გარემოს ეროვნული სააგენტოს და კლიმატური ცობარების მოაცემები, აგრეთვე ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მოაცემთა ბაზები და ლიტერატურული წყაროები [1,7,8].

შედეგების განხილვა. თითოეული მიდგომის საშუალებით თანმიმდევრობით შევაფასოთ წყალსაცავების კომპლექსის გავლენა მიმდებარე ტერიტორიის მიკროკლიმატზე.

1. **წყალსაცავის გავლენის შეფასება გეოგრაფიული ანალოგის მეთოდის.** გულისხმობს შეფასებას ანალოგ წყალსაცავების გარემოზე ზემოქმედების მრავალწლიანი დაკვირვების და ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე. ასეთი მონაცემების საფუძველზე გამოვლენილია სტატისტიკური კავშირები წყალსაცავის სხვადასხვა პარამეტრებს შორის [2,7,8].

თუ საპროექტო წყალსაცავების წყლის სარკის ზედაპირის სიმაღლის ნიშნულს მივიღებთ ცხრილ 1-ში წარმოდგენილი შეტბორვის დონეების შესაბამისად, წყალსაცავებზე გამოთვლილი ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა და წლიური აორთქლების ფენა იქნება ამავე ცხრილში მოცემული სიდიდეების შესაბამისი. ისინი კარგად შეესაბამება რეალურ სიდიდეებს.

ცხრილი 1. საპროექტო წყალსაცავების პარამეტრები და დაანგარიშებული მეტეოროლოგიური სიდიდეები ანალოგის მეთოდით

წყალსაცავის დასახელება	სარკის ზედაპირი, ჰა	ნორმალური შეტბორვის დონე, მ	ჰაერის ტემპერატურა (T), გრად	აორთქლება (E) მმ, 1კვ.მ	აორთქლება წყალსაცავიდან, მოცულობა (ათასი კუბ.მ) ან წონა (ათასი ტონა)
ქვიშხეთი-1	32	711	9	600	192
ქვიშხეთი-2	34.2	698	9	600	205,2
ოსიაური	29.8	685	10	600	148.8
გომი-1	38.9	672	10	600	233.4
გომი-2	51.2	659	10	600	307.2
ახალსოფელი	46.6	646	10	600	279.6
ქარელი	52.9	629	10	600	317.4
ურბნისი	48.7	616	10	600	292.2
სკრა	38.8	603	11	600	232.8
გრაკალი	14.8	547	11	650	96.2
მეტეხი	25	535	11	650	162.5
კასპი	43.1	502	11	650	280.2
ქსანი-1	39.1	482	12	700	273.7
ქსანი-2	64.8	471	12	700	453.6
მეგვი	40	460	12	700	280
ზაპესი (მომქმედი)	58	448	12	700	406

ანალოგის მეთოდების გამოყენებით [2,7,8] გამოანგარიშებული ცხრილ 1-ში მოცემული ჰაერის წლიური ტემპერატურა კარგად შეესაბამება რეალურ მონაცემებს. დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით განლაგებულ წყალსაცავებზე ჰაერის ტემპერატურა იზრდება 9 დან 12 გრადუსამდე.

რაც შეეხება აორთქლებას წყალსაცავებიდან, ანალოგის მეთოდის თანახმად მათ პირველ ჯგუფში ქვიშხეთი-1 დან სკრას ჩათვლით წლიური აორთქლება იქნება 600 მმ-ს 1 კვ.მ წყლის ზედაპირიდან, ხოლო მეორე დაჯგუფების წყალსაცავებში გრაკალიდან ზაპესის ჩათვლით წლიური აორთქლება მოსალოდნელია 700 მმ 1 კვ.მ წყლის ზედაპირიდან. ცხრილის ბოლო სვეტში მოყვანილია წყლის აორთქლების სიდიდეები თითოეულ წყალსაცავიდან გამოსახული კუბ.მ-ში(მოცულობა) ან ტონაში(წონა). როგორც ცხრილიდან ჩანს აორთქლებული წყლის მოცულობა პროპორციულია წყალსაცავის სარკის ფართობისა და იცვლება 96 ათასიდან (გრაკალი) 453.6 ათასი კუბ.მ (ტონა)-მდე (ქსანი-2).

ანალოგის მეთოდის გამოყენებით შესაძლებელია აგრეთვე ქარის სიჩქარის და რეჟიმის ცვლილების შეფასება. წყალსაცავის შექმნის შემდეგ ხმელეთისა და წყლის უთანაბრო გათბობისა და გაცივების გამო განვითარდება ადგილობრივი ცირკულაცია. წყალსაცავი აღმოჩნდება მთახეობის ცირკულაციის პირობებში. ამ ქარის მოქმედება გააძლიერებს სიჩქარეს. საშუალო წლიურ მონაცემებში ქარის სიჩქარის გაზრდა დაახლოებით 0,7მ/წმ- სიდიდით ფასდება. ამრიგად საპროექტო წყალსაცავების მიდამოებში მოსალოდნელია ისედაც გაბატონებული დასავლეთის, აღმოსავლეთის, ჩრდილო-დასავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის ქარების განმეორადობის გაზრდა და მათი სიჩქარის დაახლოებით 0,7მ/წმ-ით მომატება. ისე, რომ ქარის საშუალო თვიური სიჩქარემ ზაფხულში შესაძლოა მიაღწიოს 3.2-3.6 მ/წ-ს.

ადგილობრივი ცირკულაცია შეაფერხებს ჰაერის აღმავალი დინებების განვითარებას და კონვექციური ღრუბლების წარმოქმნას.

2. წყალსაცავიდან აორთქლების შეფასება წყლის ბალანსის, სითბური ბალანსის და სხვადასხვა ემპირიული მეთოდების გამოყენებით.

პატარა ფართობის წყალსაცავების ზედაპირიდან აორთქლების პროცესების შესწავლა ბუნებრივ პირობებში წარმოადგენს პრობლემას, რომელიც განპირობებულია ატმოსფეროში მიმდინარე რთული თერმოჰიდროდინამიკური მოვლენების დიდი კომპლექსის არსებობასთან. მცირე წყალსაცავების ზედაპირიდან აორთქლების ხვედრითი სიდიდე წყალსაცავების წყლის ბალანსის ფორმირებაში უმნიშვნელოა, მაგრამ იგი თავისი აბსოლუტური სიდიდით შეიძლება გახდეს მნიშვნელოვანი.

მიდგომა ითვალისწინებს წყალსაცავის დამახასიათებელი მეტეოროლოგიური პარამეტრების განზომილებას წყლის ბალანსის განტოლების საფუძველზე, ან ამ განტოლებიდან გამომდინარე სპეციალური ნომოგრამების დახმარებით [9-11].

ასეთი ნომოგრამების დახმარებით გამოაგარიშებულია აორთქლება საპროექტო წყალსაცავებიდან და მათ შექმნამდე ნიადაგიდან (ცხრილი 2).

ცხრილი 2. აორთქლება საპროექტო წყალსაცავებიდან და მათ შექმნამდე ნიადაგიდან

წყალსაცავის დასახელება	სარკის ზედაპირი, ჰა	აორთქლება წყალსაცავიდან (E) მმ 1კვ.მ	აორთქლება ნიადაგიდან (E) მმ 1კვ.მ ემპირიული მეთოდით	აორთქლება ნიადაგიდან (E) მმ 1კვ.მ წყლის ბალანსის და რადიაციული ბალანსის გამოყენებით	სხვაობა. მმ წყალსაცავიდან და ნიადაგიდან აორთქლებულ ტენს შორის, 1კვ.მ ფართობზე	სხვაობა. წყალსაცავიდან და ნიადაგიდან აორთქლებულ ტენს შორის, ცალკეულ წყალსაცავზე, მოცულობა (ათასი კუბ.მ) ან წონა (ათასი ტონა)
ქვიშხეთი-1	32	600	600	550	50	16
ქვიშხეთი-2	34.2	600	600	550	50	17.1
ოსიაური	29.8	600	600	550	50	14.9
გომი-1	38.9	600	600	550	50	19.4
გომი-2	51.2	600	600	550	50	25.6
ახალსოფელი	46.6	600	600	550	50	23.3
ქარელი	52.9	600	600	550	50	26.4
ურბნისი	48.7	600	600	550	50	24.4
სკრა	38.8	600	600	550	50	19.4
გრაკალი	14.8	650	600	500	50-150	7.4-22.2
მეტეხი	25	650	600	500	50-150	12-37.5
კასპი	43.1	650	600	500	50-150	21.5-64.6
ქსანი-1	39.1	700	550	450	150-250	58.6
ქსანი-2	64.8	700	550	450	150-250	97.2
მეგვი	40	700	550	450	150-250	60
ზაჰესი (მომქმედი)	58	700	550	450	150-250	87

როგორც ცხრილი 2 დან ჩანს სხვადასხვა მეთოდებით გამოანგარიშებული ნიადაგიდან აორთქლებული ტენი დიდად არ განსხვავდება ერთმანეთისგან. გამონაკლისია ცხრილში წარმოდგენილი ბოლო 4 წყალსაცავი-ქსანი-1, ქსანი-2, მეგვი და ზაჰესი, რომელთათვისაც წყლის ბალანსის და რადიაციული ბალანსის მეთოდის გამოყენებით გამოანგარიშებული აორთქლება ჩვენის აზრით რეალურთან შედარებით შემცირებულ შედეგს იძლევა, ამიტომაც ცხრილის შემდეგი სვეტის, ანუ წყალსაცავიდან და ნიადაგიდან აორთქლებულ ტენს შორის სხვაობის გამოსაანგარიშებლად ცალკეულ წყალსაცავზე ის მხედველობაში არ მიიღება. შესაბამისად ცხრილი 2-ის ბოლო სვეტში მოყვანილია სხვაობა. წყალსაცავიდან და ნიადაგიდან აორთქლებულ ტენს შორის, ცალკეულ წყალსაცავზე, გამოსახული მოცულობით (კუბ.მ) და წონით (ტონა). ამ მონაცემებიდან გამომდინარეობს, რომ წყალსაცავების ექსპლუატაციის პირობებში უმრავლეს წყალსაცავებზე დაწყებული ქვიშხეთი-1 დან დამთავრებული სკრა-თი წლიური აორთქლება მოიმატებს 50 მმ-ით. გრაკალის, მეტეხის და კასპის წყალსაცავებზე აორთქლების ნაზრდი 50-150 მმ-ს შეადგენს, ხოლო გამოთვლების თანამად ქსანი-1, ქსანი-2, მეგვის და ზაჰესის წყალსაცავებზე აორთქლება სავარაუდოდ 150-250 მმ-ით მოიმატებს ერთ კვ. მეტრზე. თითოეული წყალსაცავიდან კი აორთქლებული წყლის მოცულობა დამოკიდებულია ამ წყალსაცავის სარკეზე, რაც კარგად ჩანს ცხრილი 2-ის ბოლო სვეტში წარმოდგენილი ციფრებიდან, და მერყეობს 7 ათასი-დან (გრაკალი) 97.2 ათასი (ქსანი-2) კუბ.მ ან ტონა ფარგლებში.

ეს ცვლილებები აისახება ატმოსფერული ნალექების მნიშვნელობაში და შესაძლებელია მათი გაზრდა დაახლოებით 50-200 მმ-ით.

3. წყალსაცავის გავლენის შეფასება მოდელირების მეთოდით. მეთოდი კლასიკურია, აპრობირებულია ანალოგიურ შეფასებებში და დღესაც წარმატებით გამოიყენება წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების მიერ [3,12].

ამ მეთოდური მიდგომის საფუძველზე შეფასდა დასაპროექტებელი წყალსაცავების მოსალოდნელი გავლენა მიკროკლიმატზე. წყალსატევების მცირე ზომები საფუძველს იძლევა აგრეთვე ვუზღუდვებელყოთ მისი გრძივი და განივი მიმართულებით განფენილობის სიგრძეები, თუმცა ცხადია, რომ წყალსაცავის მაქსიმალური გავლენა იქნება შეგუბების ზონაში. თავიდანვე ცხადია, რომ რადგანაც წყალსაცავები განლაგებულია მსგავს კლიმატურ პირობებში და მათი ზომები მცირეა და ახლოსაა ერთმანეთთან, მათი გავლენა მიკროკლიმატზე მსგავსი იქნება.

ცხრილი 3 თანახმად წყალსატევების საპროექტო ტერიტორიაზე ზამთრის, გაზაფხულის და შემოდგომის თვეებში ჰაერის აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა უარყოფითია და ზამთარში აღწევს თითქმის მინუს 30 გრადუსს. ამიტომ ზოგიერთ წლებში შესაძლოა წყალსატევის ზედაპირი ყინულით დაიფაროს და მისი მიკროკლიმატზე გავლენა ამ პერიოდის განმავლობაში ნომინალური იქნება. წყალსატევების აქტიური გავლენა კი როგორც წესი მოსალოდნელია გაუყინავი პერიოდისათვის აპრილიდან ნოემბრამდე.

(1) მოდელის გამოყენებისათვის საჭიროა საწყისი კლიმატური მონაცემები. ამისათვის გამოყენებულია საკვლევი ტერიტორიის კლიმატური ფონი[7]. ჰაერის ტემპერატურის მნიშვნელობები გრადიენტების საშუალებით მიიყვანებოდა საპროექტი ტერიტორიის დონეზე. წყლის ზედაპირის ტემპერატურები გამოითვლება ანალოგის მეთოდით, როგორც ადგილის სიმაღლის ტემპერატურის ფუნქცია. ამავე ტემპერატურებისათვის გამოითვლება წყლის ორთქლის გაჯერებული პარციალური წნევა სპეციალური ცხრილებიდან. ამის შემდეგ მოდელის (1) საშუალებით აღწერილი მეთოდიკის საფუძველზე გამოითვლება წყალსაცავების ეფექტი. მიღებული შედეგების მსგავსების მიხედვით წყალსაცავები შეგვიძლია გავაერთიანოთ 3 ჯგუფში:

ა. გომი-2, ქარელი, ქსანი-2, ზაჰესი, ახალსოფელი, ურბნისი ანუ შედარებით დიდი სარკის მქონე წყალსაცავები, მათი ფართობი დაახლოებით 50 ჰა, ან მეტია.

ბ. ქვიშხეთი-1, ქვიშხეთი-2, ოსიაური, გომი-1, სკრა, კასპი, ქსანი-1, ძეგვი, შუალედური ფართობის წყალსაცავები.

გ. გრაკალი და მეტეხი, უმთავრესად მცირე ფართობის ფართობის წყალსაცავები. მიღებული შედეგები წარმოდგენილია ცხრილებში 3.

ცხრილი 3. ჰაერის ტემპერატურისა და წყლის ორთქლის პარციალური წნევის ცვლილება წყლის კიდედან მანძილზე დამოკიდებულებით:

- ა) პირველი ჯგუფის წყალსაცავებისათვის (გომი-2, ქარელი, ქსანი-2, ზაჰესი, ახალსოფელი, ურბნისი);
- ბ) მეორე ჯგუფის წყალსაცავებისათვის (ქვიშხეთი-1, ქვიშხეთი-2, ოსიაური, გომი-1, სკრა, კასპი, ქსანი-1, ძეგვი);
- გ) მესამე ჯგუფის წყალსაცავებისათვის (გრაკალი და მეტეხი).

თვე	ტემპერატურა °C.									წყლის ორთქლის პარციალური წნევა, ჰპა								
	მანძილი, კმ									მანძილი, კმ								
	0,1			0,5			1,0			0,1			0,5			1,0		
	ა	ბ	გ	ა	ბ	გ	ა	ბ	გ	ა	ბ	გ	ა	ბ	გ	ა	ბ	გ
IV	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
V	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	-	-	-
VI	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	-	-	-
VII	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
VIII	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
IX	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
X	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-	-0.1	-0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
XI	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

შენიშვნა: ცხრილში 3 მუქი შრიფტით წარმოდგენილი ციფრები ნიშნავს ცვლილებებს, ტირე აღნიშნავს, რომ არავითარი ცვლილება არ აღინიშნება.

ცხრილი 3-ის თანახმად წყალსატევების გავლენის ეფექტი ტემპერატურის ველზე ნიშნადი შეიძლება იყოს წყლის კიდედან 500 მ მანძილამდე დაშორებით. ამასთანავე წყალსატევების გავლენის ეფექტი მაისიდან ოქტომბრის ჩათვლით უარყოფითი იქნება, ანუ წყალსატევებს ექნებათ გამაგრილებელი ეფექტი. ნოემბრიდან აპრილამდე წყალსატევს გამათბობელი ეფექტი ექნება.

წყალსაცავის მაქსიმალური გავლენა იქნება შეგუბების ზონაში. წყლის კიდედან 100 მეტრამდე მანძილზე წყალსატევების გამაგრილებელი გავლენის პერიოდში მაის-ოქტომბერში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურების შემცირების სიდიდე აბსოლუტური მნიშვნელობით პირველი ჯგუფის წყალსაცავებში (გომი-2, ქარელი, ქსანი-2, ზაჰესი, ახალსოფელი, ურბნისი) არ აღემატება 0.5⁰-ს, ასევე მეორე ჯგუფის წყალსაცავებში (ქვიშხეთი-1, ქვიშხეთი-2, ოსიაური, გომი-1, სკრა, კასპი, ქსანი-1, ძეგვი) -0.5⁰-ს, ხოლო მესამე ჯგუფის წყალსაცავებში (გრაკალი და მეტეხი) -0.4⁰-ს. წყლის კიდედან 500 მ მანძილზე გათბობის პერიოდში ეფექტი ფაქტიურად ნივლირდება, ხოლო აგრილების ეფექტი არ აღემატება 0.3-0.4⁰-ს. წყლის კიდედან 1კმ - ით დაშორებულ მანძილზე ტემპერატურის ცვლილება მისი გაზომვის ცდომილების ფარგლებშია. მიღებული შედეგები კარგ თანხვედრაშია რ.სამუკაშვილის მიერ ჩატარებული გამოკვლევის შედეგებთან, რომლის თანახმად ჯვრის წყალსაცავის გამაგრილებელი ეფექტი ზახულის თვეებში და შემოდგომის პირველ ნახევარში 2-3⁰-ს, ხოლო მცირე ზომის ურავის წყალსაცავის გამაგრილებელი ეფექტი ზაფხულის თვეებში მხოლოდ 0.2-0.3⁰-ს შეადგენს [6].

ანალოგიური ცვლილებებია მოსალოდნელი სინოტივის ველში, კერძოდ წყლის კიდედან 100 მ დაშორებულ მანძილზე წყლის ორთქლის პარციალური წნევის მაქსიმალური მომატება ყველა წყალსაცავზე მოსალოდნელია მაის-ოქტომბერში და შეადგენს 0.3 ჰპა-ს. 500 მ დაშორებულ მანძილზე მისი მნიშვნელობა კლებულობს 0.2 ჰპა-მდე, ხოლო 1 კმ-ზე ფაქტიურად ცვლილებები არ აღინიშნება. თუ გავიღვალისწინებთ, რომ წყლის ორთქლის პარციალური წნევის საშუალო კვადრატული გადახრა 1-1.5 ჰპა -ია, მაშინ ცხადია, რომ ასეთი ცვლილებები არ არის მნიშვნელოვანი და ისინი მისი მრავალწლიური ცვალებადობის ფარგლებში ჯდება.

ამრიგად შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ცალკეული წყალსაცავების აქტიური ზემოქმედების ზონის სიდიდე არ აღემატება წყლის კიდედან 500მ მანძილს. ეს შედეგი კარგ თანხმობაშია ანალოგიური ზომების მოქმედ წყალსაცავებზე ჩატარებულ ექსპერიმენტულ გაზომვებთან.

თუ წარმოვიდგინებთ ვირტუალურ წყალსატევს, რომელიც წარმოადგენს ცალკეული წყალსაცავების გაერთიანებას, შეფასების თანახმად მისი გავლენის ეფექტი ტემპერატურის ველზე ნიშნადი შეიძლება იყოს წყლის კიდედან 1 კმ მანძილამდე დაშორებით. წყალსატევების გამაგრილებელი გავლენის პერიოდში აპრილი-ოქტომბერში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურების შემცირების სიდიდემ აბსოლუტური მნიშვნელობით წყლის კიდედან 100მ მანძილამდე შეიძლება მიაღწიოს 0.7⁰-ს, ხოლო 500 მ დაშორებით 0.5⁰-ს.

ძირითადი შედეგები:

1. მთავარი შედეგი არის ის, რომ ცალკეული წყალსაცავების აქტიური ზემოქმედების ზონის სიდიდე არ უნდა აღემატებოდეს 500მ წყალსაცავის კიდედან, რაც კარგ თანხმობაშია ანალოგიური ზომების მოქმედ წყალსაცავებზე ჩატარებულ ექსპერიმენტულ გაზომვებთან. თუ წარმოვიდგინებთ ვირტუალურ წყალსაცავს, რომლის ფართობიც იქნება ცალკეული წყალსატევების ფართობის ჯამი, მაშინ მისი ზემოქმედების ზონის სიდიდე შესაძლოა გაიზარდოს 1კმ-მდე.

2. გეოგრაფიული ანალოგის მეთოდის გამოყენებით წყალსაცავებზე ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა დასავლეთიდან აღმოსავლეთის მიმართულებით იქნება 9 დან 12 გრადუსამდე. წყალსაცავების პირველ ჯგუფში ქვიშხეთი-1 დან სკრას ჩათვლით წლიური აორთქლება შეადგენს 600 მმ-ს, ხოლო მეორე დაჯგუფების წყალსაცავებში გრაკალიდან ზაჰესის ჩათვლით წლიური აორთქლება მოსალოდნელია 700მმ ერთი კვ. მეტრიდან. აორთქლებული წყლის მოცულობა პროპორციულია წყალსაცავის სარკის ფართობისა და იცვლება 96 ათასიდან (გრაკალი) 453.6 ათასი კუბ.მ (ტონა)-მდე (ქსანი-2).

3. წყალსაცავის შექმნის შემდეგ ხმელეთისა და წყლის უთანაბრო გათბობისა და გაცივების გამო განვითარდება ადგილობრივი ცირკულაცია. წყალსაცავები ერთდროულად აღმოჩნდება აგრეთვე მთახეობის ცირკულაციის პირობებში. ამ ქარების კომბინირებული მოქმედება გააძლიერებს სიჩქარეს. საშუალო წლიურ მონაცემებში ქარის სიჩქარის გაზრდა დაახლოვებით 0,7მ/წმ- სიდიდით ფასდება. მოსალოდნელია გაბატონებული დასავლეთის, ჩრდილო-დასავლეთის, სამხრეთ-აღმოსავლეთის და აღმოსავლეთის ქარების განმეორადობის გაზრდა და მათი სიჩქარის დაახლოვებით 0,7მ/წმ-ით მომატება. ისე, რომ ქარის საშუალო თვიურ სიჩქარემ ზაფხულში შესაძლოა მიაღწიოს 3.2-3.6 მ/წ-ს.

4. წყალსაცავის შექმნა გამოიწვევს აორთქლების მომატებას 50-დან 250მმ-ფარგლებში. აორთქლებული ტენის უდიდესი რაოდენობა გადაადგილდება გაბატონებული ქარების, ანუ დასავლეთის, ჩრდილო-დასავლეთის, სამხრეთ-აღმოსავლეთის და აღმოსავლეთის მიმართულებით. თითოეული წყალსაცავიდან აორთქლებული წყლის მოცულობა დამოკიდებულია ამ წყალსაცავის სარკის ფართობზე და მერყეობს 7 ათასიდან (გრაკალი) 97.2 ათას კუბ.მ ან ტონა (ქსანი-2) ფარგლებში .

5. წყალსაცავის მაქსიმალური გავლენა იქნება შეგუბების ზონაში. წყლის კიდედან 100 მეტრამდე მანძილზე. წყალსატევის გამაგრებელი გავლენის პერიოდში მათი-ოქტომბერში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურების შემცირების სიდიდე აბსოლუტური მნიშვნელობით არ აღემატება 0,4-0,5⁰-ს, ხოლო წყალსატევის გამათბობელი გავლენის პერიოდში საშუალო თვიური ტემპერატურების ნაზრდი შეადგენს მხოლოდ 0,2-ს. წყლის კიდედან 500 მ მანძილზე გათბობის პერიოდში ეფექტი ფაქტიურად ნივლირდება, ხოლო აგრილების ეფექტი არ აღემატება 0,3⁰-ს. წყლის კიდედან 1კმ -ით დაშორებულ მანძილზე ტემპერატურის ცვლილება მისი გაზომვის ცდომილების ფარგლებშია.

6. წყლის კიდედან 100 მ დაშორებულ მანძილზე წყლის ორთქლის პარციალური წნევის მაქსიმალური მომატება მოსალოდნელია მათი-ოქტომბერში და შეადგენს 0.3 ჰპა-ს. 500 მ დაშორებულ მანძილზე მისი მნიშვნელობა კლებულობს 0.2-0.3 ჰპა-მდე, ხოლო 1 კმ-ზე ფაქტიურად ცვლილებები არ აღინიშნება. გაერთიანებულ ვირტუალურ წყალსაცავზე წყლის ორთქლის შესამჩნევი მომატება შესაძლებელია წყლის კიდედან 500 მ დაშორებულ მანძილზე

7. გლობალური დათბობის ეფექტი გაანიველირებს წყალსაცავის გამაგრებელ ეფექტს. გლობალური დათბობის პირობებში ნალექების წლიური ჯამები კლებულობს დაახლოებით 5-30 მმ-ის სიჩქარით 10 წელიწადში და 2050 წლისათვის შესაძლოა შემცირდეს 15-90 მმ-სიდიდით. რადგანაც წყალსაცავის გავლენით ნალექების ზრდა შეფასებულია 100-200მმ-ით, ჯამური ეფექტი შესაძლოა მნიშვნელოვნად შემცირდეს. თუ გავითვალისწინებთ ნალექების წლიური ჯამებისათვის დამახასიათებელ ვარიაციის მაღალ კოეფიციენტებს, მაშინ შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ნალექების ცვლილება უმნიშვნელო იქნება .

8. წყალსაცავების გამაგრებელი ეფექტი აღინიშნება აპრილიდან ოქტომბრის ჩათვლით. თუმცა აპრილში ტემპერატურის ცვლილება უმნიშვნელოა და მხოლოდ ივნისიდან არის ცვლილება ნიშნადი, ამიტომ გაზაფხულის წაყინვების გააქტიურება არ არის მოსალოდნელი. რაც შეეხება შემოდგომის წაყინვებს არ ვფიქრობთ, რომ მათი ინტენსივობა არსებითად გაიზრდება, რადგან გლობალური დათბობის ტენდენციები და წყალსაცავის მიკროკლიმატზე სავარაუდო გავლენის ჯამური ეფექტი, ერთმანეთს ანიველირებს. ამრიგად წყალსაცავების ფუნქციონირება არ მოახდენს მნიშვნელოვან გავლენას საკვლევ ტერიტორიაზე წაყინვების განმეორადობის და ინტენსივობის ზრდაზე.

კვლევა შესრულებულია სახელმწიფო დაკვეთის შესაბამისად.

ლიტერატურა-REFERENCES

1. Elizbarashvili E. Climatology, Sokhumi University, 2020, 215 p.(GEO).
2. Adamenko V.N. Melioration Microclimatology. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1980, 183 p. (RUS).
3. Timofeev M.P. Meteorological Regime of Reservoirs. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1963, 291 p. (RUS).
4. W e b E. K. -A pan-lake evaporation relationship.— “J. Hydrol.”, 1966, vol 4, p. 1— 11.
5. Elizbarashvili E., Kheladze T. On the influence of the Inguri reservoir on the local climate. Reports of the Academy of Sciences of the Georgian SSR, v. 136, no. 2, 1989, pp. 321-324. (RUS).
6. Kordzakhia M. The Climate of Georgia. Tbilisi, 1961., 220p. (GEO).
7. Elizbarashvili E. The Climate of Georgia, Tbilisi, 2017, 361 p. (GEO).
8. Elizbarashvili E., Kereselidze D. Meteorological regime of reservoirs in Georgia and their adjacent territories, Caucasian Geographical Journal, 11, 2011, pp. 32-38. (RUS).
9. Methods for calculating water balances. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1976, 120 p. (RUS).
10. Guidelines for calculating evaporation from the surface of reservoirs. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969, 82 p. (RUS).
11. WMO. Measurement and estimation of evaporation and evapotranspiration. Geneva, WMO. (Tech. Note N 83). (RUS).
12. Recommendations for calculating changes in air temperature and humidity on the coast of reservoirs. Published by GGS, Leningrad, 1981, 16 p. (RUS).

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-58-66

უკ:551.583

მტკვრის წყალსაცავების კასკადის ექსპლუატაციის მოსალოდნელი გავლენა მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე. ელიზბარაშვილი ე., ელიზბარაშვილი მ., დიასამიძე ც., ელიზბარაშვილი შ. სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.58-66. -ქართ., რუხ. ქართ., ინგლ., რუს.

შეფასებულია მტკვრის წყალსაცავების მშენებარე კასკადის ექსპლუატაციის მოსალოდნელი გავლენა მიკროკლიმატურ ცვლილებებზე. სპაროექტო წყალსატევების მცირე ზომები ვერ მოახდენს არსებით გავლენას ადგილის კლიმატის ცვლილებაზე და მის შესაძლო გავლენაზე ჰიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებზე. ამასთანავე წყალსაცავების მაქსიმალური გავლენა იქნება შეგუბების ზონაში და გავლენის ეფექტი შემოსაზღვრება წყლის კიდედან 500მ მანძილით და მაისიდან ოქტომბრის ჩათვლით იქნება სუსტი გამაგრილებელი, წლის დანარჩენ თვეებში კი წყალსატევს ეფექტი ფაქტიურად არ ექნება.

ვირტუალური წყალსატევის, რომელიც წარმოადგენს ცალკეული წყალსაცავების გაერთიანებას, გავლენის ეფექტი ტემპერატურის ველზე ნიშნადი შეიძლება იყოს წყლის კიდედან 1 კმ მანძილამდე დაშორებით. წყალსატევის გამაგრილებელი გავლენის პერიოდში აპრილი-ოქტომბერში ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურების შემცირების სიდიდემ აბსოლუტური მნიშვნელობით წყლის კიდედან 100მ მანძილამდე შეიძლება მიაღწიოს 0.7⁰-ს, ხოლო 500 მ დაშორებით 0.5⁰-ს.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-58-66

UDC:551.583

Expected Impact of the Operation of the Mtkvari Reservoir Cascade on Microclimatic Changes. Elizbarashvili, E., Elizbarashvili, M., Diasamidze, T., Elizbarashvili, Sh. Transactions of the IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.58-66. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The expected impact of the operation of the Mtkvari reservoir cascade under construction on microclimatic changes has been assessed. The small size of the designed reservoirs will not have a significant impact on climate change in the area, and its possible impact on hydrometeorological processes. At the same time, the maximum impact of the reservoirs will be in the floodplain zone, and the effect of the impact will be limited to a distance of 500 m from the water edge. It will be weakly cooling from May to October, while in the remaining months of the year, the reservoir will have practically no effect.

The effect of the impact of a virtual reservoir, which is a combination of separate reservoirs, on the temperature field, can be significant at a distance of up to 1 km from the water edge. During the cooling effect of the reservoir, in April-October, the absolute magnitude of the decrease in average monthly air temperatures can reach 0.7⁰ within 100 m of the water edge, and 0.5⁰ at a distance of 500 m.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-58-66

УДК: 551.583

Ожидаемое влияние эксплуатации каскада водохранилищ Мтквари на микроклиматические изменения. Элизбарашвили Е., Элизбарашвили М., Диасамидзе Т., Элизбарашвили Ш. Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.58-66. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Была проведена оценка ожидаемого воздействия эксплуатации строящегося каскада водохранилищ Мтквари на микроклиматические изменения. Небольшие размеры проектируемых водохранилищ не окажут существенного влияния на изменение климата в этом районе и его возможное воздействие на гидрометеорологические процессы. При этом максимальное воздействие водохранилищ будет наблюдаться в пойменной зоне, а эффект будет ограничен расстоянием в 500 м от кромки воды и будет представлять собой слабое охлаждение с мая по октябрь, в то время как в остальные месяцы года водохранилище практически не будет оказывать никакого воздействия. Воздействие виртуального водохранилища, представляющего собой комбинацию отдельных водохранилищ, на температурное поле может быть значительным на расстоянии до 1 км от кромки воды. При охлаждающем эффекте водохранилища абсолютная величина снижения среднемесячной температуры воздуха в апреле-октябре может достигать 0,70 на расстоянии до 100 м от кромки воды и 0,50 на расстоянии до 500 м.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-67-71

UDC: 551.506.3

Some results of precipitation distribution in the territory of Georgia
Mikheil Pipia ^{*/*}, Nazibrola Beglarashvili ^{*/**}, Nino Jamrishvili ^{***},**
Nino Shavishvili^{*}

^{*}Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University

^{**}Samtskhe-Javakheti State University

^{***}Mikheil Nodia Institute of Geophysic of Ivane Javakhishvili State University

e-mail: m.pipia@gtu.ge

Abstract

The distribution of precipitation in Georgia depends on the geographical location, the nature of the terrain and the characteristics of atmospheric processes, and is characterized by great diversity. The heaviest precipitation falls on the Black Sea coast and in those areas of Western Georgia where orographic conditions contribute to the development of ascending movements of air masses on the slopes of mountain ranges.

In the article, based on data from 35 meteorological stations for the period 2016-2022, the distribution of precipitation by regions of Georgia was studied, the annual precipitation amount was determined, and regions with heavy precipitation were identified.

The results obtained will allow the relevant services to carry out preventive measures to mitigate the effects of individual hazardous natural phenomena (floods, high waters, mudflows, landslides).

Key words: *precipitation, natural phenomena, climate*

Introduction

Precipitation distribution in Georgia is uneven due to its physical and geographical features. Western Georgia experiences heavier precipitation than Eastern Georgia.

Frequent and intense precipitation causes natural disasters such as floods, landslides, and other events. In recent years, the frequency of such events has increased in Georgia, due, among other things, to climate change. For example, on January 11, 2021, heavy precipitation across Georgia caused problems in both western and eastern Georgia. In the village of Bashi in Samtredia Municipality, agricultural fields and the first floors of residential buildings were flooded, while in Tskaltubo Municipality, arable land was flooded. In the town of Surami, water penetrated homes. Heavy rains in the village of Latani in Mestia Municipality caused a rock collapse on a road. Similar events have repeatedly occurred in recent years across Georgia [1-3;6;9].

Studying precipitation distribution will help us implement preventative measures against natural disasters.

Area under study

The study area is Georgia. Its physical and geographical features, the interaction of the Caucasus Mountains and the Black Sea, and the different climatic conditions of Western and Eastern Georgia determine the uneven distribution of precipitation across Georgia.

Materials and Methods

The results of precipitation distribution in Georgia are based on data for 2016-2022 provided by the National Environmental Protection Agency.

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

Results

Based on the materials on precipitation in Georgia, including data from 35 meteorological stations for the period 2016-2022, a table of precipitation distribution by the relevant stations (Table 1) and regions of Georgia (Table 2) was compiled.

Tab. 1. Average annual precipitation (mm) in Georgia according to meteorological stations (2016-2022)

Point	Precipitation (mm.)	Elevation (m)
Akhalkalaki	670	1707
Khertvisi	565	1250
Keda	2330	256
Tsalka	700	1482
Khulo	1520	923
Bakuriani	980	1700

Sagarejo	680	772
Kobuleti	2800	10
Borjomi	705	850
Dedoplistskaro	560	800
Telavi	755	490
Akhaltikhe	650	1029
Tbilisi, Digomi	480	520
Khashuri/Agara	620	640
Gori	580	588
Chokhatauri	1750	150
Mta-Sabueti	1230	1246
Tianeti	620	1100
Poti	2170	2
Zestafoni	1350	160
Zemo Chaladidi	1850	3
Magharoskari	810	920
Sachkhere	1080	500
Fasanauri	860	1050
Nokalakevi	1898	140
Kutaisi	1485	120
Zugdidi	1740	100
Ambrolauri	1080	550
Alpana	1160	560
Legakhare	1525	220
Shovi	1280	1600
Luji	1540	1000
Khaishi	795	700
Bolnisi	655	550
Lagodekhi	1200	450

According to meteorological stations, the average annual precipitation rate in Georgia ranges from 480 mm (Tbilisi, Digomi) to 2800 mm (Kobulti, Adjara region).

Tab. 2. Average annual distribution of precipitation by regions of Georgia (2016-2022)

Region	Precipitation (mm.)
Adjara	2220
Guria	1750
Imereti	1290
Kakheti	800
Mtskheta-Mtianeti	765
Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti	1265
Samegrelo-Zemo Svaneti	1600
Samtskhe-Javakheti	725
Kvemo Kartli	675
Shida Kartli	600
Tbilisi	480

Based on Table 2, a corresponding histogram was compiled (Fig. 1).

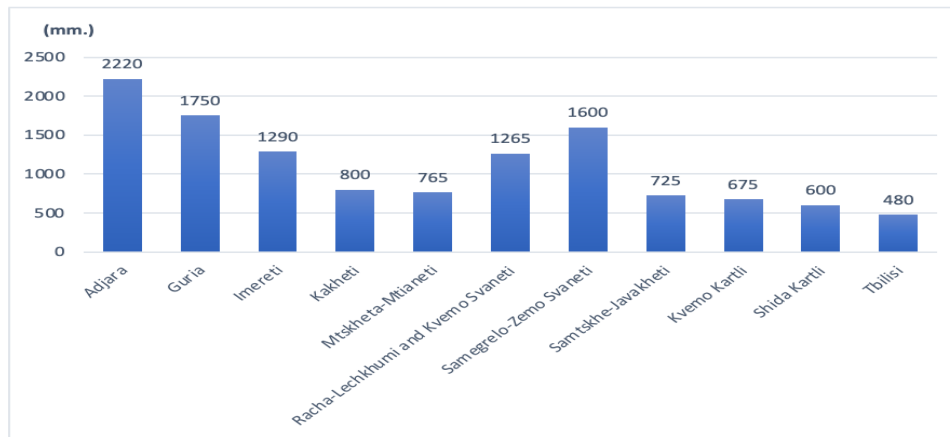


Fig. 1. Average annual precipitation (mm) by region in Georgia (2016-2022)

Precipitation ranking

Tab. 3. Distribution of Average Annual Precipitation (mm) by Increment in Georgian Regions, Based on Data from 1961-2022

0-500	Tbilisi
501-750	Shida Kartli, Kvemo Kartli, Samtskhe-Javakheti
751-1000	Kakheti, Mtskheta-Mtianeti
1001-1500	Imereti, Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti
1501-2000	Samegrelo-Zemo Svaneti, Guria
2001 and above	Adjara

According to Table 3, we compiled a geoinformation map showing the distribution of average precipitation across Georgia by region (Fig. 2).

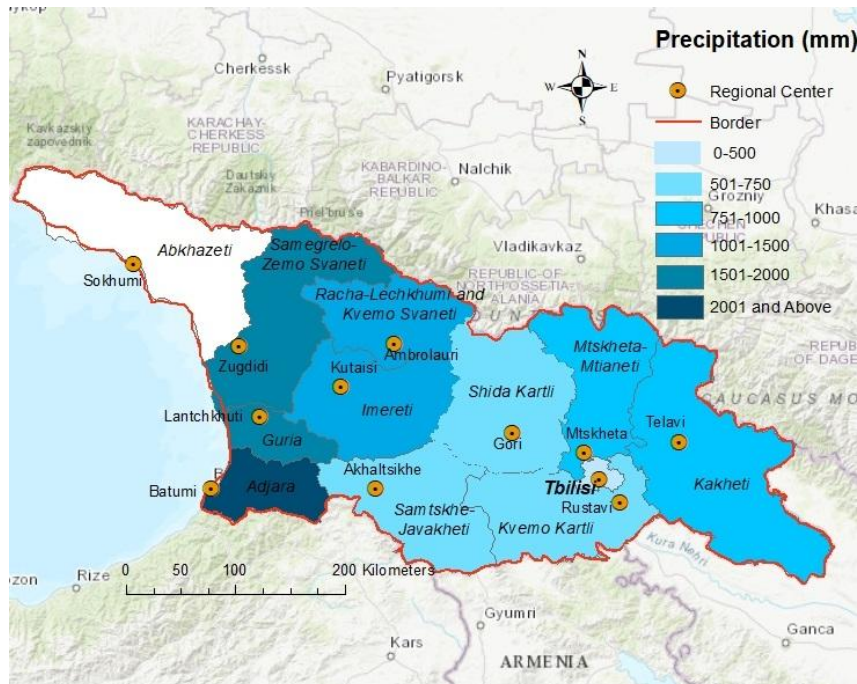


Fig. 2. Distribution map of the average annual amount of precipitation (mm) by regions of Georgia, based on data from 1961-2022

Discussion

An analysis of precipitation data for 2016-2022 showed that Western Georgia is traditionally characterized by heavy rainfall. However, the frequency of intense and heavy precipitation events in Western and Eastern Georgia is increasing, largely due to global climate change. Such events pose a significant threat to both agricultural crops and human life. We have examined individual cases from recent years in various studies. [4-5; 7-8; 10].

Conclusions

As studies have shown, based on data from 2016-2022, Western Georgia receives more precipitation during the year than Eastern Georgia. The regions of Samegrelo-Zemo Svaneti and Adjara stand out in particular, where the annual total precipitation is 1500-2000 mm and more than 2000 mm, respectively. Meanwhile, the least precipitation falls in Tbilisi (Eastern Georgia), where it does not exceed 500 mm during the year.

Note: The report on the mentioned study entitled “Precipitation in the territory of Georgia in 2016-2022” was made at an international scientific conference held in 2025 in Burgas (Bulgaria). - 34th International Conference "Ecology and Safety"

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Dangerous hydrometeorological phenomena in the Caucasus, edited by Dr. of Engineering Sciences G. G. Svanidze, Dr. of Geographical Sciences Ya. A. Tsutskiridze, (1980), http://elib.rshu.ru/files_books/pdf/img-224121250.pdf
2. Climate of Georgia, E Elizbarashvili - Monograph, Institute of Hydrometeorology of GTU, 2017
3. Mariam Elizbarashvili, Nazibrola Beglarashvili, Mikheil Pipia, Elizbar Elizbarashvili, Nino Chikhradze. Seasonal temperature and precipitation patterns in Caucasus landscapes // Atmosphere, Volume 16, Issue 7, Publisher MDPI, 2025, Pages 889, <https://doi.org/10.3390/atmos16070889>
4. Beglarashvili N, Elizbarashvili I, Jamrlishvili N, Janelidze I, Pipia M, Tavidashvili Kh. Analysis of Heavy Precipitation in the Adigeni and Chokhatauri Municipalities on July 21, 2025 Based on Satellite Measurements, // 1st International Scientific Conference “Modern problems in Geophysics”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-434-1, ISSN 3088-4349 (2025), PP. 125-128, <https://openlibrary.ge/handle/123456789/10766>
5. Pipia Mikheil, Meladze Maia, Davitashvili Magda, Beglarashvili Nazibrola, Jamrlishvili Nino, Pipia Givi. Statistical Analysis of Atmospheric Precipitation in the Racha-Lechkhumi and Kvemo Svaneti Region of Georgia in 1936-2023, // Reliability: Theory & Applications, Volume 20, Issue SI 9 (87), (2025), pp.92-101, <https://cyberleninka.ru/article/n/statistical-analysis-of-atmospheric-precipitation-in-the-racha-lechkhumi-and-kvemo-svaneti-region-of-georgia-in-1936-2023>
6. Elizbarashvili E., Pipia M., Elizbarashvili Sh., Beglarashvili N., Diasamidze Ts., Samukashvili R., Chelidze N., Shavishvili N. Climatic regularities of the spatiotemporal distribution of temperature and precipitation in the Kvemo Kartli region, // Transactions IHM, GTU. (2025). -vol.136, pp.38-45, doi.org/10.36073/1512-0902-2025-136-38-45
7. Beglarashvili N., Jamrlishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Some Results of Analysis of Heavy Precipitation in Tbilisi on July 7, 2024 Based on Ground-Level and Satellite Measurements, // International Scientific Conference “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, (2025), pp. 164-167, https://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10617/1/41_MM-180.pdf
8. Beglarashvili N., Jamrlishvili N., Janelidze I., Pipia M., Tavidashvili Kh. Analysis of Strong Precipitation in Tbilisi on August 29, 2023, // International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes", Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, (2025), pp.143-146. https://openlibrary.ge/bitstream/123456789/10421/1/35_IG_90.pdf
9. Elizbarashvili E.Sh., Elizbarashvili M.E., Elizbarashvili Sh. E., Pipia MG, Chelidze N.Z. Catastrophic Precipitation in Georgia, // European Geographical Studies, v. 6(1), (2019), pp. 50-60. DOI: [10.13187/egs.2019.1.50](https://doi.org/10.13187/egs.2019.1.50)
10. Amiranashvili Avtandil G., Brocca Luca, Chelidze Tamaz L., Svanadze David T., Tsamalashvili Tamar N., Varamashvili Nodar D. Statistical Analysis of Annual and Semi-Annual Sum of Atmospheric Precipitation Data for 59 Municipalities (11 Regions) of Georgia with Landslide Hazard Zones from 2015 to 2024, // Journal of the Georgian Geophysical Society, e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.28(1), (2025), pp. 50 – 63, <https://ggs.openjournals.ge/index.php/GGS/article/view/9249>

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-67-71

UDC: 551.506.3

Precipitation distribution in Georgia according to data for 2016-2022 / Mikheil Pipia, Nazibrola Beglarashvili, Nino Jamrlishvili, Nino Shavishvili / Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.67-71. - Georg., Summ. Georg., Eng., Rus. The distribution of precipitation in Georgia depends on the geographical location, the nature of the terrain and the characteristics of atmospheric processes, and is characterized by great diversity. The heaviest precipitation falls on the Black Sea coast and in those areas of Western Georgia where orographic conditions contribute to the development of ascending movements of air masses on the slopes of mountain ranges. In the article, based on data from 35 meteorological stations for the period 2016-2022, the distribution of precipitation by regions of Georgia was studied, the annual precipitation amount was determined, and regions with heavy precipitation were identified.

The results obtained will allow the relevant services to carry out preventive measures to mitigate the effects of individual hazardous natural phenomena (floods, high waters, mudflows, landslides).

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-67-71

უკ:551.506.3

ნალექების განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე 2016-2022 წლების მონაცემების მიხედვით / მიხეილ ფიფია, ნაზიროლა ბეგლარაშვილი, ნინო ჯამრიშვილი, ნინო შავიშვილი / სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ. 67-71 -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს. საქართველოში ნალექების განაწილება დამოკიდებულია გეოგრაფიულ მდებარეობაზე, რელიეფის ბუნებასა და ატმოსფერული პროცესების მახასიათებლებზე და ხასიათდება დიდი მრავალფეროვნებით. ყველაზე ძლიერი ნალექები მოდის შავი ზღვის სანაპიროზე და დასავლეთ საქართველოს იმ რაიონებში, სადაც ოროგრაფიული პირობები ხელს უწყობს მათაა ქედების ფერდობებზე ჰაერის მასების აღმავალი მოძრაობების განვითარებას. სტატიაში, 2016-2022 წლების პერიოდის 35 მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების საფუძველზე, შესწავლილია ნალექების განაწილება საქართველოს რეგიონების მიხედვით, განისაზღვრა წლიური ნალექების რაოდენობა და გამოვლინდა ძლიერი ნალექების მქონე რეგიონები. მიღებული შედეგები საშუალებას მისცემს შესაბამის სამსახურებს, განახორციელონ პრევენციული ღონისძიებები ცალკეული საშიში სტიქიური მოვლენების (წყალდიდობა, ადიდება, ღვარცოფი, მეწყერი) შედეგების შესამცირებლად.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-67-71

УДК: 551.506.3

Распределение осадков в Грузии по данным за 2016-2022 годы / Михаил Пипия, Назирола Бегларашвили, Нино Джамришвили, Нино Шавишвили / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с. 67-71 - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус. Распределение осадков в Грузии зависит от географического положения, характера местности и особенностей атмосферных процессов и характеризуется большим разнообразием. Наибольшее количество осадков выпадает на побережье Черного моря и в тех районах Западной Грузии, где орографические условия способствуют развитию восходящих движений воздушных масс на склонах горных хребтов. В статье на основе данных 35 метеорологических станций за период 2016-2022 годов изучено распределение осадков по регионам Грузии, определено годовое количество осадков и выявлены регионы с обильными осадками. Полученные результаты позволят соответствующим службам проводить профилактические мероприятия по смягчению последствий отдельных опасных природных явлений (наводнений, паводков, селевых потоков, оползней).

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-72-79

UDC. 551.583

Agrometeorological Characteristics and Phenological Forecasts of Citrus under Modern Climate Conditions

Meladze Maia, Meladze Giorgi

Institute of hydrometeorology of Georgian Technical University

m.meladze@gtu.ge

Abstract. The ecological features of citrus (tangerine, orange, lemon) and the agro-meteorological conditions of their production regions (Adjara, Guria, Samegrelo) are reviewed. The main agro-meteorological characteristics of the citrus distribution regions are given (sums of active temperatures, atmospheric precipitation, relative humidity, number of frost-free days, hydrothermal coefficient). Forecast equations for determining the phenological phases of ripening and flowering of citrus crops are compiled.

The analysis of the climate change scenario shows, that the dynamics of climate change will affect the change in such important agro-meteorological parameters as the duration of the vegetation period, the sum of active temperatures ($>10^{\circ}\text{C}$), etc. Taking into account the above, it was revealed that the predicted changes will have a positive impact on the production of citrus. Against the background of an extended growing season, their distribution area will expand according to vertical zonation. According to the developed scenario, an increase in the duration of the growing season with an increase in air temperature by 1°C is favorable for the full formation of citrus fruits in areas where they are less provided with the sum of temperatures. According to the mentioned scenario, with an increase in temperature by 1°C , the sum of active temperatures (above 10°C) will increase by $240\text{-}260^{\circ}\text{C}$ and as a result, the distribution zones of citrus will first rise by $100\text{-}150\text{m}$ higher than their base (current) distribution zones.

Keywords: Citrus, active temperature, atmospheric precipitation, phenological forecast

Introduction. Typical representatives of the humid subtropical climate (Black Sea coast - Adjara, Guria, Samegrelo) are citrus crops such as lemon, orange, tangerine. Their growth and development depend on agro-meteorological conditions, which determine the possibility of their cultivation, yield and fruit quality. They require a special amount of heat, vegetation begins at a temperature of $10\text{-}11^{\circ}\text{C}$, flowering is observed at a temperature of $16\text{-}18^{\circ}\text{C}$ and lasts $15\text{-}20$ days. The root system of plants begins to develop at a temperature of $11\text{-}12^{\circ}\text{C}$. Fruits begin to grow after the end of flowering and continue to grow intensively for up to 2 months, then this process gradually slows down and stops when the ripening period arrives. Fruit growth depends on the average air temperature and optimal soil moisture. A temperature of $22\text{-}23^{\circ}\text{C}$ is favorable for the growth of these citrus crops.

During the vegetation period, between phenological phases, from bud opening to flowering, the sum of active temperatures above 10°C is required for lemon ("Akhalkartuli"), orange ("Washington Navel") and tangerine ("Unshiu") $400\text{-}560^{\circ}\text{C}$; from flowering to maturity - the sum of active temperatures is $3500\text{-}3700^{\circ}\text{C}$. The amount of atmospheric precipitation from the flowering phase to the maturity phase is $1100\text{-}1750$ mm. In dry zones, additional melioration measures are necessary. Excessive humidity increases the risk of fungal diseases. Relative humidity of $70\text{-}80\%$ is optimal, especially during the flowering period. These crops are characterized by weak frost resistance. Fruits are damaged at temperatures of $-1, -2^{\circ}\text{C}$. Lemon crops die from frost at temperatures of $-8, -9^{\circ}\text{C}$, oranges at $-10, -11^{\circ}\text{C}$, and tangerines at $-11, -12^{\circ}\text{C}$.

Citrus crops develop normally and give high yields on light, nutrient-rich, well-drained, humus-rich soils ($\text{pH}=5.5\text{-}7.5$). In the Black Sea coastal zone of Western Georgia, these crops are grown on peat, humus-carbonate, red soil soils. Wet, strongly alkaline and sandy soils are unfavorable for these citrus crops. Southern, southwestern and southeastern slopes are favorable. It should be noted that the plants should be protected from strong winds by arranging windbreaks [1].

Research object and methodology. The objects of the study were the regions of citrus cultivation - Adjara, Guria and Samegrelo. The Adjara region is located in the humid subtropical zone of Western Georgia, the upper limit of which extends from sea level to an altitude of $500\text{-}600$ m. Above this altitude, it has relatively moderate and continental climatic conditions. The region is bordered by Turkey to the south, the Samtskhe-Javakheti region to the east, the Guria region to the north, and the Black Sea to the west.

The Guria region is characterized by partly hilly, high-mountainous and somewhat sloping, fairly extensive relief conditions directed towards the Black Sea, from sea level to an altitude of 100 m. Hilly and hilly areas are located from sea level to an altitude of approximately 400 m. The region is bordered by the Adjara region to the south, the Samtskhe-Javakheti region to the southeast, the Imereti region to the northeast, the Samegrelo-Zemo Svaneti region to the north, and the Black Sea to the west.

The Samegrelo region is characterized by a flat, hilly terrain. The lowland part of the region (up to $100\text{-}150$ m above sea level) extends quite widely towards the Black Sea. The region is bordered by the Caucasus Mountains to the north, the Imereti region to the east, the Guria region to the south, the Abkhazia region and the Black Sea to the west. As a result of the influence of the Black Sea in the region, the flat, lowland and hilly areas of Samegrelo (up to $500\text{-}600$ m above sea level) are in humid subtropical climate conditions.

For the study regions, multi-year meteorological observation data have been processed and analyzed using the method of mathematical statistics. The meteorological and agro-meteorological databases of the Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University have been used; the multi-year baseline (current) meteorological observation data of the National Environmental Agency of Georgia for the vegetation period. A scenario (2020-2050) has been developed for Western Georgia, with an increase in air temperature of 1°C. For this, the baseline (current) and forecast future scenario data (2020-2050) of multi-year observations conducted at the meteorological stations of the National Environmental Agency have been used and processed. The climatic parameter of the latter (average air temperature) has been calculated using the ECHAM4 model and according to the A2 scenario.

Results and Discussion. Agroclimatic zone, located from sea level to 500 m altitude, the sum of active temperatures is 4400-3600°C. Citrus fruits develop well in this zone, however, in some years the fruits of citrus crops do not reach full maturity (oranges), especially in the Adjara and Guria regions. The full maturity of mandarin fruits (early varieties) is ensured every year from sea level to 200 m altitude, late mandarin 8-9 times every ten years or more. In the Samegrelo region it is provided every year. At this altitude, the maturity of orange fruits (early varieties) is provided 1-2 times in Adjara and Guria, and 3-4 times in the Samegrelo region. According to the scenario, with a temperature increase of 1°C up to 300 m altitude, full maturity of tangerine (early, late) is expected every year in all regions, only at an altitude of 300 m in Adjara-Guria, full maturity of late tangerine is expected 8-9 times every ten years. Orange (early) at the same altitude 3-4 times (Adjara, Guria), 4-5 times (Samegrelo, Abkhazia) every ten years. Full maturity of tangerine up to 400 m altitude is expected in all regions 8-9 times (early), 6-7 times (late) every ten years. As for the maturity of lemon fruit, it is desirable to harvest it at the time of technical ripeness (light green, slightly yellowish). In this form, lemon fruit indicates a high content of vitamin “C”. Therefore, the sum of temperatures above 10°C, 3800-4000°C, is quite sufficient for it, which ensures the technical ripeness of fruits in the zone every year. In this zone, it is necessary to reliably protect lemon culture from winter frosts. Table 1 shows the main agroclimatic characteristics of citrus-producing regions of Western Georgia [2, 3].

Table 1. Main agroclimatic characteristics of citrus-producing regions in the warm period (IV-X)

Meteo-station	active temperature sum (>10°C)	sum of atmospheric precipitation (mm)	Relative humidity (%)	Frost-free period duration (days)	HTC
Akhalsheni	4300	1470	78	304	3.4
Batumi	4320	1440	80	302	3.3
Keda	3880	800	77	257	2.0
Kobuleti	3990	1360	81	246	3.4
Chakvi	4230	1500	80	282	3.5
Anaseuli	4150	1140	79	277	2.7
Atsana	4020	1130	80	272	2.8
Dablatsikhe	4160	980	74	272	2.3
Supsa	4060	1370	83	267	3.3
Ureki	4380	1180	80	288	2.7
Abasha	4310	790	-	270	1.8
Anaklia	4250	900	83	263	2.1
Zugdidi	4160	1010	79	250	2.4
Martvili	4210	1110	76	257	2.6
Senaki	4520	1000	76	288	2.2
Tsalenjikha	4000	1160	77	255	2.9
Chkhorotsku	4130	1200	-	250	2.9

Sunshine is one of the important factors for the normal course of physiological processes in agricultural crops. If sunshine cannot provide this process, photosynthesis is inhibited, assimilation is weakened, as a result of which the plant has difficulty supplying water and nutrients dissolved in it from the soil. All this affects the productivity of the plant. Therefore, it is necessary to take into account the duration of sunshine in order to create better agroclimatic conditions for plants. The course of the duration of sunshine is satisfactory for the growth and development of citrus fruits and the formation of the crop during the vegetation period of the Adjara region. Frequent sunny days during the flowering and ripening phase of plants are unfavorable. Such days can have a negative impact on the ripening of citrus fruits (late varieties of tangerines and oranges). During the active vegetation period of plants (VI-VIII), average air temperatures in the humid subtropical zone reach 18-23°C, which is favorable for the development of citrus crops. In autumn, according to temperature indicators (20-14°C), conditions for ripening their fruits are better for early tangerines and oranges up to 200-300 m altitude.

In the humid subtropical zone of the Adjara region, in some years, absolute minimum air temperatures of -8, -10°C and above can be observed. Such temperatures are critical, because lemon and orange plants can freeze to the root collar, and tangerines can be severely damaged. Therefore, for 4-5 years, it is possible that we will not be able to get a harvest from

these crops. Therefore, in the fall (November-December), farmers and private sector farmers should use agrotechnical measures to protect against frost (wrapping young citrus plants with three-layer burlap and other materials, piling soil on the trunk of 5-6-year-old plants to a height of 30-35 cm, and other methods). The critical-damaging temperatures for these crops are: -7°C for lemon, -9°C for orange, -11°C for tangerine. The average absolute minimum air temperature in Chakvi, Alambari (Kobuleti region) and Batumi is -4°C , in Khelvachauri, Makhinjauri and Akhalshehi -5°C , in Chakvi -6°C . In areas where the temperature is -4 , -5 and -6°C , lemon crops (without protection from frost) can freeze once, twice and three times (respectively) every ten years.

Analysis of meteorological observation materials shows that absolute minimum negative air temperatures in the region will be observed in the coastal lowlands of the Black Sea until the end of April, with the exception of Kobuleti. In the citrus growing areas of the Adjara region, negative temperatures are observed everywhere in late autumn (November). However, these temperatures are not particularly critical or damaging for citrus. However, their frost resistance for wintering is weak, since they are not yet fully acclimatized and are also not in a deep state of rest. Therefore, farmers should use agrotechnical measures to protect citrus crops from frost in a timely manner in autumn (October-November).

The territory of the region is From the level of 150-200 m to a height of 10°C , with a temperature sum of 4000°C and above, 50% is provided, the temperature sum of 4000°C and above is satisfactory for the full ripening of lemon, tangerine (early variety) fruits (will ripen fully 9 times every ten years), the late tangerines variety (Unshiu) will ripen 7 times every ten years. Oranges will ripen fully 3 times every ten years, only in Akhalshehi, Kafandiba, Chakvi and Khelvachauri districts up to an altitude of 100 m [4, 5].

I - Agroclimatic zone covers the coastal lowland of the Black Sea, including the territories of Kobuleti and Khelvachauri, up to an altitude of 100-200 m above sea level. The sum of active temperatures in this zone is more than 4000°C , atmospheric precipitation in the cold period is 1150-1290 mm, in the warm period (IV-X) - 1360-1500 mm. The last frosts in the zone are observed on average on 4.III-15.III, and the first frosts on 2.XII-7.I. The number of days without frost is on average 246-304 days. The zone has favorable conditions for the development of citrus fruits (tangerine, lemon, orange). It should be noted that full ripening of oranges is possible only 5-6 times every ten years.

II - Agroclimatic zone is located at an altitude of 200-400 m above sea level. The sum of temperatures is 3000 - 4000°C , atmospheric precipitation in the cold period - 850-1100 mm, and in the warm period - 800-1330 mm. The duration of the frost-free period (days) is 255-273 days.

The late variety of oranges and tangerines (Unshiu) produced in this zone will not give the desired results due to the lack of the sum of active temperatures. In addition, in these zones (I and II) lemon crops without frost protection measures can freeze 2-3 times, and tangerines once every twenty years. Therefore, in case of severe frosts (-8 , -10°C and above), in order to protect them, the plants should be covered with dry soil (up to 30-35 cm) in the fall. The rooted stem will not freeze, it will survive, and after removing the frozen parts of the plant, we will get young shoots from the stem, which will yield a harvest in 2-3 years. As for young citrus plants, they must be wrapped.

In the Guria region, citrus crops are grown in a humid subtropical zone. In some years, the absolute minimum air temperature in the region can drop to -10 , -12°C and above, which is critical (damaging) for citrus crops. Such temperatures cause their root collars to freeze. As a result, the harvest is expected to be postponed for 4-5 years. Therefore, frost protection measures provided for by agricultural technology should be carried out in November-December. The absolute minimum air temperatures critical to citrus are: -7°C for lemons, -9°C for oranges, -11°C for tangerines.

In the regions of the Guria region, absolute minimum air temperatures are quite often observed until the end of April. For example, in Dablatsikhe -5°C , in Anaseuli -6°C , in Atsana -7°C , in Ureki -4°C , in Lanchkhuti -9°C . Based on the analysis of these absolute minimum temperatures, in some years severe damage to citrus crops is possible. Therefore, agricultural specialists and farmers should choose areas relatively protected from frost when planting new citrus (lemon, tangerine, orange) plantations. In April-May, precipitation in the region is significantly reduced, almost 3-4 times compared to other months. Despite this, it does not pose a particular threat to plants. However, in some years a further decrease in precipitation in this period (IV-V) (50-40 mm and less) is not ruled out. In such a case, a moisture deficit may be noted in the soil, which will negatively affect the flowering of citrus crops. In such unfavorable conditions, it will be necessary to provide the soil with moisture (soil loosening-cultivation, irrigation, etc.).

The territory of the region is mainly provided with 50% of the sum of temperatures of 4000°C and above, depending on the districts, which is sufficient for the full ripening of early varieties of tangerine and lemon fruits. At the mentioned temperature (4000°C), 90% and above, except for Ureki (Ozurgeti) and other districts, the full ripening of citrus fruits cannot be ensured. As for the orange crop, the full ripening of its fruits is expected 2-3 times every ten years, only in Ureki, Anaseuli (Ozurgeti), Lanchkhuti and Dablatsikhe (Chokhatauri). For example, tangerines (Unshiu, a late variety), which require 4200°C and more for full fruit ripening, will reach full maturity in Ureki (Ozurgeti) on November 10, in Lanchkhuti on November 15, in Dablatsikhe and Anaseuli on November 20, in Supsa (Lanchkhuti) on November 25, in Atsana (Ozurgeti) on November 27.

I - Agroclimatic zone is located at an altitude of 10-200 m above sea level. The sum of air temperatures in the zone above 10°C is 4000°C and more. The sum of atmospheric precipitation in the cold period is 800-850 mm, in the warm period - 1000-1370 mm. In this zone, the last frosts are observed on average on 10.III-18.III, and the first frosts on 16.XII-25.XII. The number of days of the frost-free period is 274-290 days. Tangerine and lemon can develop normally in this zone. As for orange, the full maturity of its fruits is ensured 3-4 times every ten years due to the lack of the sum of active temperatures.

II - Agroclimatic zone. Located at an altitude of 200-300 m above sea level. The sum of active temperatures is 3000 - 4000°C . Atmospheric precipitation in the cold period - 850-900 mm, in the warm period - 1000-1200 mm. In the zone, the last frosts are observed on 11.III-21.III, the first frosts on 11.XII-24.XII. The number of frost-free days is 265-288 days.

The given zone has quite favorable agroclimatic resources for the normal development of citrus fruits (tangerine, lemon). It should be noted that in zones I and II, freezing of lemon crops is expected 3-4 times, orange crops 2-3 times every ten years, and tangerine crops once every 15 or more years.

The humid subtropical zone of the Samegrelo region is not immune from severe frosts (-8, -10°C and above) that can severely damage or completely freeze citrus crops and thus cause damage to the economy of the subtropical farming sector. The critical freezing temperature of the root neck of the „Georgian lemon” is -7°C, and of the „Meyer” -9°C. In Poti and Kheta (Khobi), the „Georgian lemon” will freeze to the root neck twice every ten years, and the „Meyer” once.

In the region, the sum of temperatures from sea level to an altitude of 200-300 m completely provide the full maturity of tangerine and lemon fruits, while the full maturity of orange fruits cannot be providing, as they require a sum of active temperatures of 4300°C and higher. Such a temperature can be providing only in the Abasha, Senaki, Khobi districts and partly in the areas adjacent to Poti.

I - Agroclimatic zone covers the territory along the Black Sea coast from sea level to 200 m altitude, where the Abasha, Zugdidi, Martvili, Senaki, partly Tsalenjikha, Khobi and Chkhorotsku districts are located. The sum of active temperatures in the zone is on average 4400°C and slightly higher. The sum of atmospheric precipitation in the cold period is 630-850 mm, in the warm period - 800-1160 mm. The last frosts are observed on average on 15.III-20.III, the first frosts on 2.XII-7.XII. The duration of the frost-free period (days) is on average 252-260 days. In this zone, the above-mentioned factors fully providing the full maturity of citrus fruits from sea level to 200 m above sea level. In this zone, the production of citrus crops, in addition to providing heat, depends on the minimum winter temperatures, where the average characteristics of the absolute minimum air temperature are within the range of -5, -6°C. These temperatures are not critical for citrus, although they are somewhat dangerous for lemons (without protection from frost). In this zone, the area of citrus can be expanded on elevated slopes. In such places, the probability of -8°C frosts, which lead to complete freezing of only lemon is 10-15%, that is Lemons will completely freeze 1-2 times every ten or more years. It is also possible to single out favorable areas for the production of oranges and tangerines without frost protection, where the probability of frosts of -9, -11°C is noted at 10%. Therefore, oranges will completely freeze once every ten years, and tangerines 1-2 times every twenty years.

II - Agroclimatic zone includes the territory adjacent to zone I, as well as the territories of Zugdidi, Chkhorotsku, Tsalenjikha and Martvili districts. It is located at an altitude of 200-500 m above sea level. The sum of active temperatures decreases from 4200°C to 3700°C. The sum of atmospheric precipitation in the warm period is 1160-1220 mm. The last frosts are observed on average on 21.III-29.III, the first frosts on 23.XI-6.XII. The duration of the frost-free period is 236-257 days. In this zone, agroclimatic conditions are favorable only for the development of tangerine and lemon crops (with protection from frost for the latter), where the average absolute minimum temperatures do not exceed -7, -8°C. The distribution area of the mentioned crops in this zone includes foothill areas up to 200-250 m altitude, in some places up to 300 m altitude. At altitudes of the mentioned areas, the probability of frosts of -11, -12°C and above, which can lead to complete freezing of the tangerine crop, will be observed by 10-20%. That is, tangerine will freeze 1-2 times every ten or more years. In some years, when negative temperatures decrease to a critical minimum (-11, -12°C), it will be necessary to use frost protection methods.

Orange - an important export crop. It is used both for fresh fruit and for the production of juice and essential oils. Orange (*Citrus sinensis*) belongs to the family of the Tegan. It is a perennial, heat-loving, evergreen plant. It grows best in subtropical and tropical zones. It is mainly propagated by seedlings obtained by grafting. Seed propagation is rarely used. The optimum temperature is 15–30°C. It prefers light, fertile, well-drained soils. Excessively moist and saline soils are unfavorable, the optimum pH is 5.5–7.5. It requires regular watering, especially during the flowering and fruit formation period. Its main pests are: citrus leaf mite, aphid, and scale. The most common diseases are fungal rot, citrus canker, and phytophthora. The determination of the amount of orange harvest is still in the flowering phase. It is necessary to collect the fruits in a timely manner so that the plant is better prepared for winter and all measures for protection against frost are taken [6, 7, 8].

Four varieties of orange are distinguished by their fruits. In the subtropical conditions of Georgia, the „Hamlin” orange variety is widespread. Its place of origin is Florida (USA). It is characterized by medium-strength growth, early ripening and good ripening [9]. It is distinguished by a pleasant aroma and taste. It ripens in the first half of November and is characterized by regular fruiting and frost resistance. The most frost-resistant of the industrial varieties of orange is “Washington Navel”. It is a low or medium-sized plant with a spreading trunk. The skin of the fruit is smooth, yellow or reddish orange, rich in essential oil. The pulp is juicy and sweet-sour, with a pleasant taste. Its negative side can be considered the cracking of the fruit during frequent autumn rains and the reduction of its durability during storage. As for the red-fleshed orange, it belongs to the group of oranges of European/Italian origin, whose fruit has a red-pink pulp with a specific taste (Figure 1).

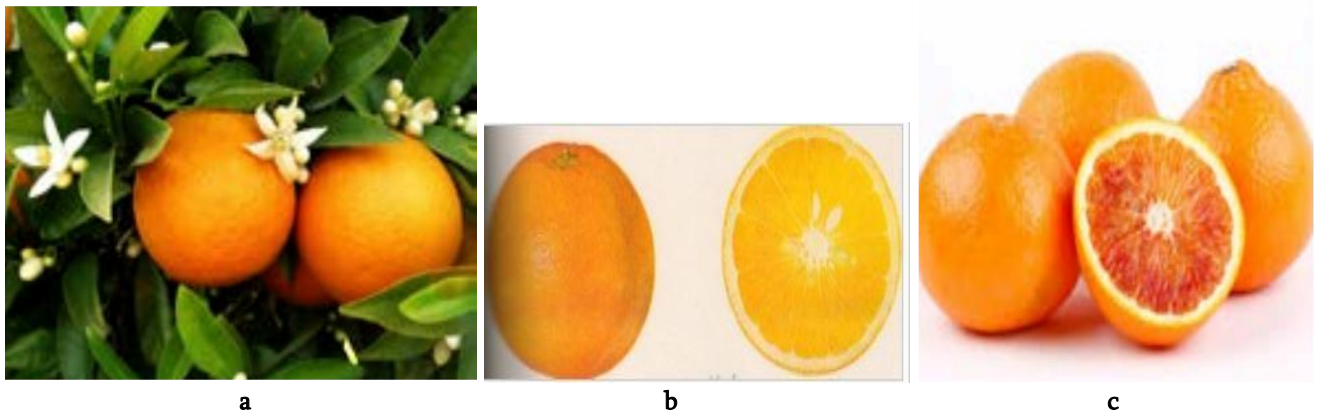


Fig. 1. Orange varieties: a - „Washington Navel”; b - „Hamlin”; c - „Red-fleshed orange”

Tangerine - a citrus evergreen tree or shrub, which is especially important for the subtropical zone. It is characterized by a sweet or sweet-sour taste and is seeded or seedless, depending on the variety. The optimum temperature for tangerine is 12-30°C; it is damaged at temperatures below -6°C (especially during flowering); requires lighting and a place protected from the wind. When choosing a place for growing tangerine, microclimatic conditions should be taken into account - relief, height above sea level. Biological requirements of individual varieties for overwintering conditions. In the case of its production, light or medium mechanical composition soils (pH - 5.5–7.0), with good drainage, are preferable. It does not adapt to excessively wet, saline soils. Among the varieties widespread in Georgia, the famous „Unshiu”, whose homeland is considered to be Japan. Currently, its distribution covers an area of 19 thousand hectares. Its tree is strong-growing, compact, with an oval trunk. The fruit has a sweet-sour taste. It contains 6.17% sugars, acidity is 0.98%, vitamins - 36-38%. This variety is high-yielding, withstands frosts of -10, -12°C. „Kovano-Wase” is an early form of „unshiu”, ripens very early. It is characterized by a sweet-sour taste, high marketable quality and is widely used for export. It enters fruiting in the second-third year after planting, the fruits ripen in the first half of October. Among its early varieties, the following are known: „Miyagawa-Wase”, „Okitsu-Wase”, „Miko-Wase”, „Tiahara-Wase”. The variety „Georgian Early” is a somatic mutant of “Unshiu”. It is characterized by an aromatic, sweet-sour taste compared to “Unshiu” and the fruits ripen 25 days earlier. The dates of picking mandarins vary depending on the region and variety. The early varieties „Kovano Vase” and „Georgian Early” are harvested from the second half of October, the late variety „Unshiu” in November (Figure 2).

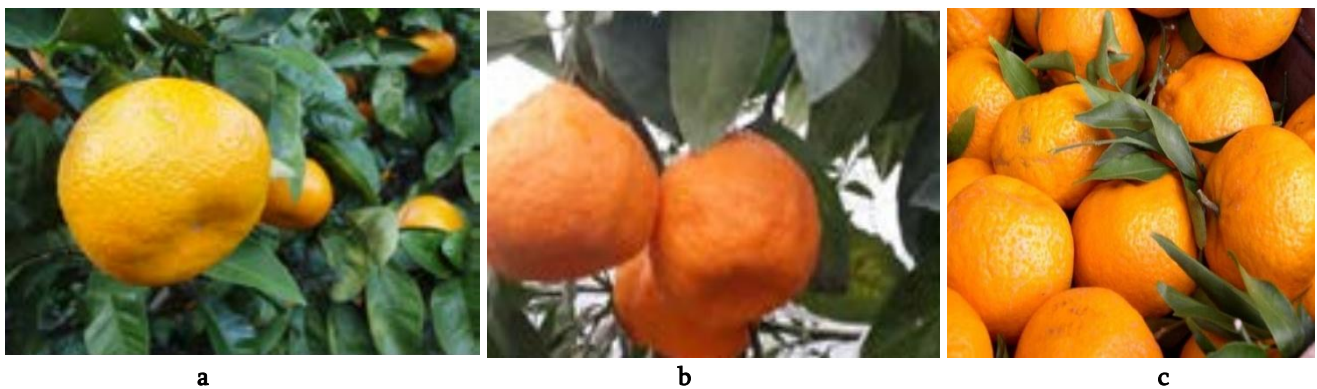


Fig. 2. Tangerine varieties: a - „Unshiu”; b - „Kovano Vase”; c - „Georgian Early”

Lemon - an evergreen tropical plant. Its fruits are oval or oblong, yellow, with a sour taste, are used raw, as citric acid. Due to its specific aroma, essences are prepared from its fruits. It contains: acids 3.5-8.1%, sugars - 1.9-3%, vitamin C - 45-140 mg/100g, as well as vitamins P and B, pectin substances, phosphorus, potassium, calcium and magnesium. Lemon culture is very demanding on temperature conditions. The optimal temperature for its development is 18–25°C, flowers, buds and fruits die at temperatures of -1, -1.5°C, ripe fruits - 1.5, 2.8°C. In the lemon-producing regions of Georgia, its vegetation begins in spring and ends in late autumn. The flowering phase occurs in spring, and before harvesting, an average of 200-220 days are required, with active temperature sums of at least 3500°C. On the Black Sea coast, active temperature sums are within 4100-5000°C, which is sufficient for lemon cultivation. Of all citrus crops, it is most damaged by prolonged droughts. Despite the fact that lemon is light-loving, it adapts well to shading. It successfully develops on light, humus-rich, well-drained soils and is characterized by high water requirements.

The following lemon varieties are mainly distributed in the Guria and Samegrelo regions of Adjara: „Georgian Lemon”, „Villafranca”, „Meyer”, „Dioscuria”. Local (Georgian) forms of lemon are local populations selected over centuries, well adapted to the conditions of Western Georgia, distinguished by their aroma and stable fruiting. „Georgian lemon” is one of the most common varieties in Georgia. It is characterized by high yield, large fruit size and thin skin. „Villafranca”, characterized by high aroma, medium acidity and good fruit yield. Along with other common varieties (e.g. „Lubon”,

„Eureka”), this variety is well adapted to the local subtropical climate. „Meyer” lemon is a hybrid of lemon and orange, less acidic. It is relatively tolerant of low temperatures (Figure 3).

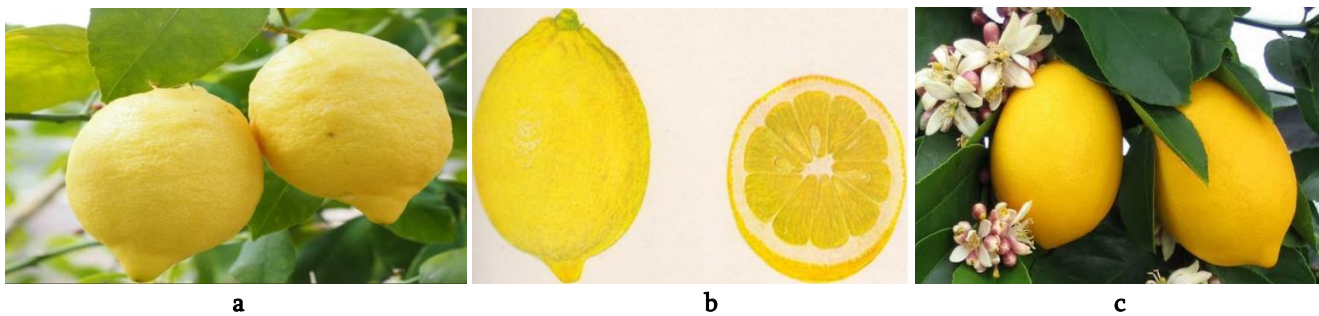


Fig. 3. Lemon varieties: a - „Georgian lemon”; b - „Villafranca”; c - „Meyer”

The forecast of flowering of lemon, orange and tangerine is based on the dependence of flowering dates on the duration of the period from February 1 to the date of bud break; the forecast of fruit maturity - on the dependence of maturity dates on the duration of the period from March 1 for lemon and orange, from April 1 for tangerine. The following regression equations are used to forecast the flowering dates of the above crops:

$$y = -0.72x + 94 \text{ for lemon}$$
$$y = -0.81x + 101 \text{ for orange}$$

In the formulas, y is the expected flowering date (number of days from the date of bud break to the date of flowering); x - the number of days from February 1 to the date of bud break.

The following regression equations have been compiled to predict the maturity dates of tangerines, lemons and oranges:

$$n = -0.68n_1 + 200 \text{ for tangerine („Unshiu”)}$$
$$n = -0.73n_1 + 245 \text{ for lemon („Villafranca”)}$$
$$n = -0.81n_1 + 257 \text{ for orange („Washington Navel”)}$$

In the equations, n is the date of fruit ripening (i.e. the number of days from the date of the beginning of flowering to the date of fruit ripening), n_1 is the number of days from March 1 for lemons and oranges, from April 1 to the date of the beginning of flowering for tangerines. The forecast error is 7-8 days, and the lead time is 4-5 days.

Based on the baseline meteorological data and the scenario-developed temperature increase by 1°C , the dates of a stable transition of the average daily air temperature above (in spring) and below (in autumn) by 10°C were determined, and the sums of active temperatures were calculated between these dates. The given data are related to the height above sea level (m), since the change in the mentioned indicators is directly related to the heights. These indicators were processed by the method of mathematical statistics, where close correlations were revealed. Based on the above connections, regression equations have been compiled (scenario, with a temperature increase of 1°C for Western Georgia):

$$n = 0.027h + 51 \text{ (for determining the date of temperature above } 10^\circ\text{C)}$$
$$T = -16.711n - 1.127h + 5496 \text{ (for determining the sum of active temperatures)}$$

In the equations, n - the date of the air temperature exceeding 10°C is 1 - from February (i.e. the number of days from February 1 to the date of the temperature exceeding 10°C), h - height above sea level (m), T - the sum of active temperatures above 10°C .

According to the equations, when determining the sums of active temperatures, first of all, the date of the air temperature exceeding 10°C must be determined using the appropriate equation (i.e. the number of days from February 1 to the date of the temperature exceeding 10°C). By inserting the obtained number of days into the equation for determining the sum of active temperatures, the appropriate sum of temperatures is obtained.

Conclusion. Analysis of existing climate data and climate change scenarios shows that the dynamics of climate change, over the next few decades, will have a noticeable impact on changes in such important agro-meteorological parameters as the duration of the growing season (will increase), the sum of active temperatures (will increase), etc. Taking into account the above, it was revealed that current and projected climate changes will in some cases have a positive impact on the production of some citrus crops. Against the background of an extended growing season, their distribution area will expand according to vertical zonation. Citrus species, such as orange culture, will reach full maturity. However, it will be necessary to additionally use effective irrigation systems (drip), mulching. Global temperature increase will also contribute to the spread of pests and diseases. The changed precipitation regime, in particular, intensive precipitation, may lead to soil erosion and a reduction or loss of crops. Prolonged droughts are also a threat.

According to the developed scenario, with an increase in air temperature by 1°C, the determination of the dates of the onset of temperatures above 10°C (in spring) and below it (in autumn) showed that in spring it begins on average 6 days earlier, and in autumn it ends below 10°C by the same number of days later, compared to the dates of the onset of the base (existing) multi-year air temperature above 10°C. Therefore, according to the scenario, the duration of the vegetation period increases, which will be favorable for the growth and development of citrus crops and the full formation of the crop. In particular, in areas where crops are less provided with the sum of temperatures.

Due to global climate warming, according to the scenario, with a temperature increase of 1°C, the sum of active temperatures (above 10°C) will increase by 240-260°C and more. As a result, the distribution zones of citrus crops will initially rise by 100-150 m, compared to their base (current) distribution zones.

ლიტერატურა-REFERENCES

1. Meladze M. Agrometeorology and Agroclimatology. Publ. house „UNIVERSAL”, Tbilisi, 2024, p.360, (Georg.)
2. Meladze G., Meladze M. Agroclimatic resources of Western Regions of Georgia. Publ. „Universal”, Tbilisi 2012, p. 435 (Georg.).
3. Meladze M., Meladze G. Transformation of agroclimatic zones of Samegrelo-Zemo Svaneti in Conditions of global warming. Scientific conference: Actual problems of Geography, TSU, 2019, pp. 96-102
4. Meladze G., Meladze M. Global warming: tendency of change the agroclimatic features of Samegrelo-Zemo Svaneti. Transactions of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, vol. 127, 2019, pp. 46-52, (Georg.).
5. Meladze G., Meladze M. Agroclimatic Zoning of Western region of Georgia. Annals of Agrarian Sciences Science, vol.15, №1, 2019, pp. 422-432
6. Lovatt, C.J., Krueger, R.R. Morphological and yield characteristics of „Washington navel” orange and „Tahiti” lime trees produced with buds from „floral” versus „vegetative” mother shoots. Acta Horticulture, The Hague, v.3, n.1065, 2015, p.1831-1837
7. Meladze M., Meladze G. Impact of frosts on agricultural crops and its forecast in the territory of Adjara. Works of Alexandre Javakhishvili Geographical Society of Georgia, vol. IV (XXII), 2024, pp.127-134, (Georg.).
8. Micheliud, N.G., Castro, D.C., Favaro, M.A., Buyatti, M.A., Pillati, R.A., Gariglio, N.F. Response of some citrus species to frost damage at the central area of Santa Fe, Argentina. Revista FCA UNCUYO, Mendoza, v.48, n.2, 2016, pp.43-56
9. Martinez-Fuentes, A., Mesejo, C., Munoz Fambuena, N., Teig, C., Conzales Mas, M.C., Iglesias, D.J., Primo Millo, E., Agusti, M. Fruit load restricts the flowering promotion effect of paclobutrazol in alternate bearing Citrus spp. Scientia Horticultural, Amsterdam, v.151, 2013, p.122-127
10. Santos, C.M.A., Ribeiro. R.V., Magalhase Filho, J.R., Machado, D.F.S.P., Machado, E.C. Low substrate temperature imposes higher limitation to photosynthesis of orange plants as compared to atmospheric chilling. Photosynthetica, Prague, v.49, n.4, 2011, pp.546-554

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-72-79

UDC: 551.583

Agrometeorological characteristics and phenological forecasts of citrus under modern climate conditions /Maia Meladze, Giorgi Meladze/ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.72-79. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The ecological features of citrus (tangerine, orange, lemon) and the agro-meteorological conditions of their production regions (Adjara, Guria, Samegrelo) are reviewed. The main agro-meteorological characteristics of the citrus distribution regions are given (sums of active temperatures, atmospheric precipitation, relative humidity, number of frost-free days, hydrothermal coefficient). Forecast equations for determining the phenological phases of ripening and flowering of citrus crops are compiled.

The analysis of the climate change scenario shows, that the dynamics of climate change will affect the change in such important agro-meteorological parameters as the duration of the vegetation period, the sum of active temperatures (>10°C), etc. Taking into account the above, it was revealed that the predicted changes will have a positive impact on the production of citrus. Against the background of an extended growing season, their distribution area will expand according to vertical zonation. According to the developed scenario, an increase in the duration of the growing season with an increase in air temperature by 1°C is favorable for the full formation of citrus fruits in areas where they are less provided with the sum of temperatures. According to the mentioned scenario, with an increase in temperature by 1°C, the sum of active temperatures (above 10°C) will increase by 240-260°C and as a result, the distribution zones of citrus will first rise by 100-150m higher than their base (current) distribution zones.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-72-79

უკ: 551.583

ციტრუსოვანი კულტურების აგრომეტეოროლოგიური მახასიათებლები და ფენოლოგიური პროგნოზები კლიმატის თანამედროვე პირობებში /მაია მელაძე, გიორგი მელაძე/ სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.- ტ.139.-გვ. 72-79. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

განხილულია ციტრუსების (მანდარინი, ფორთოხალი, ლიმონი) ეკოლოგიური თავისებურებანი და მათი მწარმოებელი რეგიონების (აჭარა, გურია, სამეგრელო) აგრომეტეოროლოგიური პირობები. მოცემულია ციტრუსების გავრცელების რაიონების ძირითადი აგრომეტეოროლოგიური მახასიათებლები (აქტიურ ტემპერატურათა ჯამები, ატმოსფერული ნალექები, შეფარდებითი ტენიანობა, უყინვო დღეთა რიცხვი, ჰიდროთერმული კოეფიციენტი). შედგენილია ციტრუსოვანი კულტურების სიმწიფის და ყვავილობის ფენოლოგიური ფაზების განსაზღვრის საპროგნოზო განტოლებები.

კლიმატის ცვლილების სცენარის ანალიზი აჩვენებს, რომ კლიმატის ცვლილების დინამიკა გავლენას მოახდენს ისეთი მნიშვნელოვანი აგრომეტეოროლოგიური პარამეტრების ცვლილებაზე, როგორცაა, სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა, აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი და ა.შ. აღნიშნულის გათვალისწინებით, გამოიკვეთა, რომ პროგნოზირებული ცვლილებები პოზიტიურ გავლენას მოახდენს ციტრუსოვანი კულტურების წარმოებაზე. გახანგრძლივებული სავეგეტაციო პერიოდის ფონზე გაფართოვდება მათი გავრცელების არეალი ვერტიკალური ზონალობის მიხედვით. შემუშავებული სცენარით, ჰაერის ტემპერატურის 1°C-ით მატებისას სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობის ზრდა ხელსაყრელია ციტრუსოვანი კულტურათა ნაყოფების სრული ფორმირებისათვის იმ ადგილებში, სადაც ისინი ტემპერატურის ჯამით ნაკლებად არიან უზრუნველყოფილი. აღნიშნული სცენარით, ტემპერატურის 1°C-ით მატებისას აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი (10°C-ის ზევით) მოიმატებს 240-260°C-ით და შედეგად ციტრუსოვანი კულტურების გავრცელების ზონები პირველად 100-150 მ-ით აიწევს მაღლა, მათი გავრცელების საზღვარი (მიმდინარე) ზონებთან შედარებით.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-72-79

УДК: 551.583

Агрометеорологические характеристики и фенологические прогнозы цитрусовых культур в современных климатических условиях /Майя Меладзе, Георгий Меладзе/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с. 72-79. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Рассмотрены экологические особенности цитрусовых культур (мандарин, апельсин, лимон) и агрометеорологические условия регионов их производства (Аджария, Гурия, Самегрело). Приведены основные агрометеорологические характеристики регионов распространения цитрусовых (суммы активных температур, атмосферные осадки, относительная влажность, количество безморозных дней, гидротермический коэффициент). Составлены уравнения прогнозирования для определения фенологических фаз созревания и цветения цитрусовых культур.

Анализ сценария изменения климата показывает, что динамика изменения климата повлияет на изменение таких важных агрометеорологических параметров, как продолжительность вегетационного периода, сумма активных температур и др. С учетом вышеизложенного выявлено, что прогнозируемые изменения окажут положительное влияние на производство цитрусовых культур. На фоне продленного вегетационного периода их ареал распространения расширится по вертикальному зональному признаку. Согласно разработанному сценарию, увеличение продолжительности вегетационного периода при повышении температуры воздуха на 1°C способствует полноценному формированию цитрусовых плодов в районах с недостаточным количеством температур. По указанному сценарию, при повышении температуры на 1°C сумма активных температур (выше 10°C) увеличится на 240-260°C, и в результате зоны распространения цитрусовых культур в первые поднимутся на 100-150 м выше по сравнению с их базовыми (текущими) зонами распространения.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-80-81

UDC: 551.578.46

Regularities of snow cover changes in winter mountain resorts of Georgia against the background of climate change

Liana Kartvelishvili^{*/**}, Lia Megrelidze^{*/**}

^{*}Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University

^{**}National Environmental Agency of Georgia

e-mail: l.megrelidze22@gmail.com

Abstract

Mechanisms for mitigating and protecting against the negative impacts of climate change on the tourism sector are discussed. Data (from the National Environmental Protection Agency's climate database) on changes in snow cover duration at Georgian winter resorts (Mestia, Goderdzi, Gudauri, and Bakuriani) were collected. Two 30-year periods (1956-1985) and (1956-2015) were compared, and patterns were identified and assessed.

Keywords: Snow cover, climate, tourism

Relevance of the topic

In the mountainous regions of Georgia, against the background of noticeable climate change, mountain and ski tourism shows special sensitivity to spatial-temporal fluctuations of snow cover. The feasibility of its further development requires systematic research and exploration of the geographical-synoptic aspects of global climate change and the practical application of the obtained, scientifically proven results. Currently, the relevance of studying the problem posed is determined by the wide and organic connections between global climate change and the growing trend in the development of tourism in mountainous regions [1].

The feasibility of its further development requires systematic research and investigation of the geographical-synoptic aspects of global climate change and the practical application of the obtained, scientifically proven results. Currently, the relevance of studying the problem is determined by the broad and organic connections between global climate change and the growing trend of tourism development in mountainous regions.

Research Objective

Solving this problem requires the following goal. Mitigating and protecting the negative impact of climate change on the tourism sector requires recording data (from the National Environmental Agency's climate database) on changes in snow cover duration within the Georgian winter resorts (Mestia, Goderdzi, Gudauri, Bakuriani) and comparing the differences between two 30-year periods (1956-1985) and (1956-2015), identifying patterns, and evaluating them.

Research results

In order to process data on snow cover, meteorological stations with a long series of multi-year observations of the main characteristics of snow cover were selected. It was found out:

Mestia: In the first period, the snow season covered the period from November 30 to March 19, and the average duration of the cover was 108 days. In the second period, the duration of the snow cover was reduced by 17% compared to the first period.

Gudauri: The average snow season in the first period of observations was 23

It lasted between November and May 5. The duration of snow cover during the entire period was 162 days. The snow cover trend was negative. The duration of snow cover during the second period was reduced by 12% compared to the first.

Goderdzi: The snow season during the first observation period lasted on average from November 8 to May 10. The duration of snow cover during the entire observation period was 182 days, and the snow cover trend was positive. The duration of snow cover during the second period was reduced by 3% compared to the first.

Bakuriani: The snow season during the first period fluctuated between November 26 and March 28. The duration of snow cover during the entire observation period was 122 days. And the snow cover trend was negative. The duration of snow cover during the second period was reduced by 8% compared to the first.

The analysis of the obtained data shows that the duration of the mountain-skiing season, along with climatic factors, is determined by the physical-geographical factors of the location of the tourist facility (height above sea level). A ski area is considered reliable in terms of snow cover when the snow cover (artificial or natural depth) exceeds 30 cm for 100 days.

Interpretation of the research results

Based on the above data, it is advisable to: include climate change issues in tourism policies, strategies and implementation plans; assess and take into account possible risks caused by climate change when investing; cooperate with the meteorological service, transport, insurance sectors: transfer ski runs to high hypsometric levels or to cold slopes of northern exposure; A ski area is considered reliable in terms of snow cover when the depth of snow cover (artificial or natural) during the day. 30 cm exceeds 100. According to its annual distribution, it was found that: the average snow cover depths in Bakuriani were recorded in February (61.3 cm), and the minimum in June and September (0.1 cm). The maximum depth of snow cover, 130 cm, was recorded in Bakuriani in March 1956. In Gudauri, the greatest average depth of snow cover was recorded in March (115.1 cm), the minimum in October (0.7 cm), and the maximum of 330 cm in February 2008.

Adaptation measures. Integrating climate change issues into tourism policies, strategies and implementation themes; Assessing and considering potential risks due to climate change when investing; Integrating adaptation issues into consulting and educational programs in the tourism industry; Raising awareness among businessmen, tour operators and stakeholders about the impact of climate change on the tourism sector; Finding/attracting finance for the implementation of adaptation projects; Relocating ski runs to higher hypsometric levels or slopes with cold winter exposure; Leveling ski slopes; Mobilizing snow at winter mountain resorts to ensure sufficient snow for skiing and sledding; Planning measures to prevent beach erosion due to rising sea levels, implementing the construction of free beaches.

ლიტერატურა - REFERENCES

[1]. Kartvelishvili L., Tatishvili M., Amiranashvili A. Weather, Climate and the Regularities of Their Changes in Georgian Conditions. Universal Publishing House, Tbilisi 2023.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-80-81

უკ: 551.578.46

კლიმატის ცვლილების ფონზე საქართველოს ზამთრის მთის კურორტებზე თოვლის საფარის ცვლილების კანონზომიერებები /ლიანა ქართველიშვილი, ლიანა მეგრელიძე /სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.- ტ.139.-გვ. 80-81-ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

Обсуждаются механизмы смягчения и защиты от негативного воздействия изменения климата на туристический сектор. Были собраны данные (из климатической базы данных Национального агентства по охране окружающей среды) об изменениях продолжительности снежного покрова на зимних курортах Грузии (Местия, Годердзи, Гудаури, Бакуриани). Были сопоставлены два 30-летних периода (1956-1985) и (1956-2015), выявлены и оценены их закономерности.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-80-81

УДК: 551.578.46

Закономерности изменений снежного покрова на зимних горных курортах Грузии на фоне изменения климата /Лиана Картвелишвили, Лиа Мегрелидзе/Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.80-81 - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Обсуждаются механизмы смягчения и защиты от негативного воздействия изменения климата на туристический сектор. Были собраны данные (из климатической базы данных Национального агентства по охране окружающей среды) об изменениях продолжительности снежного покрова на зимних курортах Грузии (Местия, Годердзи, Гудаури, Бакуриани). Были сопоставлены два 30-летних периода (1956-1985) и (1956-2015), выявлены и оценены их закономерности.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-80-81

UDC: 551.578.46

Regularities of snow cover changes in winter mountain resorts of Georgia against the background of climate change / Liana Kartvelishvili, Lia Megrelidze/ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.80-81. - Georg., Summ. Georg., Eng. Rus.

Mechanisms for mitigating and protecting against the negative impacts of climate change on the tourism sector are discussed. Data (from the National Environmental Protection Agency's climate database) on changes in snow cover duration at Georgian winter resorts (Mestia, Goderdzi, Gudauri, and Bakuriani) were collected. Two 30-year periods (1956-1985) and (1956-2015) were compared, and patterns were identified and assessed.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-82-87

უკ.502.754.58

კლიმატური ფაქტორები და დეკორატიული მცენარეების ეკოლოგიური ადაპტაცია ქამადაძე დალი, ჯაბნიძე ნანა

ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი;
ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტი;
Kamadadze.d@bsu.edu.ge

რეზიუმე

ნამუშაოში განხილულია ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საკოლექციო ნაკვეთზე გავრცელებული იაპონური კამელიის (*Camellia japonica* L.) ჯიშების ყვავილობის ვადები და ყვავილის შეფერილობის თავისებურებები, მათ შორის არსებული კორელაციური კავშირები. იაპონური კამელია ხასიათდება უხვი და ხანგრძლივი ყვავილობით, აგრეთვე ყვავილების ფერის, ზომისა და ფორმის დიდი მრავალფეროვნებით. აღნიშნული ნიმუშები მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული გარემო-ფაქტორებზე, განსაკუთრებით ტემპერატურულ რეჟიმზე, რაც მკვეთრად აისახება როგორც ყვავილობის ხანგრძლივობაზე, ისე შეფერილობაზე. დადგენილია, რომ იაპონური კამელია ყვავილობას იწყებს მაშინ, როდესაც ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურა შეადგენს დაახლოებით 6,5–10 °C-ს, ხოლო ინტენსიური ყვავილობა მიმდინარეობს 10–19 °C ტემპერატურის პირობებში. იაპონური კამელიის ჯიშ „ჰიბისკუს-ის“ შემთხვევაში გამოვლინდა ყვავილის შეფერილობის მკვეთრი დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. 8,5–9,0 °C-ზე დაბალი ტემპერატურის პირობებში ვითარდება ვარდისფერი ყვავილები, ხოლო შედარებით მაღალი ტემპერატურის (16,6–19°C) პირობებში მცენარე ივითარებს ინტენსიურად წითელ ყვავილებს.

საკვანძო სიტყვები: კლიმატური ფაქტორები, ყვავილობა, ფენოლოგია, შეფერილობა, ტემპერატურა

შესავალი

კლიმატური ფაქტორები მნიშვნელოვან როლს ასრულებს დეკორატიული მცენარეების ზრდა-განვითარებასა და ფენოლოგიურ პროცესებში, განსაკუთრებით ისეთი სახეობის შემთხვევაში, როგორცაა *Camellia japonica*. იაპონური კამელია გამოირჩევა მაღალი დეკორატიულობით, მრავალფეროვანი ყვავილის ფორმებითა და შეფერილობით, რაც დიდწილად დამოკიდებულია გარემო პირობებზე. კლიმატური ფაქტორებიდან დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ტემპერატურას, ჰაერის ტენიანობას, ნალექების რაოდენობასა და განაწილებას, ასევე სინათლის ინტენსივობას. ტემპერატურა განსაზღვრავს ვეგეტაციის დაწყებას, ბუტონიზაციის პერიოდს და ყვავილობის ხანგრძლივობას. ოპტიმალურ პირობებში კამელია ინარჩუნებს სტაბილურ ფენოლოგიურ რიტმს, თუმცა ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილებები შესაძლოა გამოიწვიოს ყვავილობის დაგვიანება ან ნაადრევი დასრულება.

ჰაერის ტენიანობა და ნალექები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მცენარის წყლის ბალანსის რეგულაციისთვის. მაღალი ტენიანობა ხელს უწყობს ნორმალურ ზრდას და ყვავილის ხარისხის შენარჩუნებას, ხოლო გვალვის პირობებში მცირდება დეკორატიულობა და იზრდება სტრესის ფაქტორების გავლენა. სინათლე კი მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ფოტოსინთეზის ინტენსივობაზე და შესაბამისად, მცენარის ბიომასის დაგროვებაზე.

კლიმატური ფაქტორების ერთობლივი მოქმედება განსაზღვრავს ფენოლოგიას თავისებურებებს, რაც გამოიხატება ვეგეტაციის, ბუტონიზაციისა და ყვავილობის ვადებსა და ხანგრძლივობაში. კლიმატის ცვლილების ფონზე აღნიშნული პროცესები კიდევ უფრო მგრძობიარე ხდება, რაც საჭიროებს მათი დეტალურ შესწავლას და ადაპტაციური მექანიზმების გამოვლენას.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს იაპონური კამელიის ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საკოლექციო ნაკვეთზე გავრცელებული იაპონური კამელიის ჯიშების იაპონური კამელიის 15 ჯიშ: Aurora; Delectissima; Aranin; Hibiscus; Beni-karako; Marchioness of Salisbury; Eleonor Franchetti; Anemonaeflora; Anemonaeflora alba; Anemonaeflora rosea; Margaret Walker; Eleqans; Pelaqia; Goffredo Odero; Derbyana (ნახ. 1).

იაპონური კამელიის ჯიშების იდენტიფიკაცია განხორციელდა კამელიების საერთაშორისო ნომენკლატურის მიხედვით (Trujillo 2002; Gonos...1999; ბარათაშვილი ..2019).

მცენარის ზრდა-განვითარების ბიოლოგიის შესწავლისათვის ვატარებდით ფენოლოგიურ დაკვირვებებს. ვახდენდით ვეგეტაციის, ბუტონიზაციისა და ყვავილობის დასაწყისისა და დასასრულის ვადებისა და ხანგრძლივობის აღრიცხვას. (Еременко 2004; Семёнова 2015).

შედეგები

დეკორატიულ მცენარეებში ყვავილის ნიშნთა შიდა სახეობრივი ცვალებადობის შესწავლას დიდი ყურადღება ეთმობა. ამ ნიშნებიდან განსაკუთრებულ ყურადღებას აქცევენ ყვავილის შეფერილობას, სურნელებას, ფორმას, სიდიდეს და სხვა. მკვლევართა უმრავლესობა იაპონური კამელიის მცენარის შესწავლის დროს დიდ მნიშვნელობას ანიჭებდა ყვავილისა და გვირგვინის ფურცლების ზომის, ფორმის და ფერის ცვალებადობას.

ევოლუციის პროცესში მცენარეები შეეგუა ყვავილობაზე გადასვლას გარემოს განსაზღვრული ფაქტორების არსებობის შემთხვევაში: გრძელი ან მოკლე დღე, დაბალი ტემპერატურის ზემოქმედების განსაზღვრული პერიოდი და ა.შ. გარემოსთან მსგავსი ადაპტაციის პროცესში ბუნებრივი გადარჩევის გზით მოხდა განსაზღვრული გენების, გენური სისტემების სელექცია: მაგალითად არაბიდოპსისის შემთხვევაში ყვავილობას დიდი დღის განმავლობაში განსაზღვრავს CO გენი, რომელიც განსაზღვრულ ფოტოპერიოდში ტრანსკრიპციის პროცესების მაკოდირებელია, ხოლო გენი GA 1 მონაწილეობს ჰიბერელინის სინთეზში, რომელიც აუცილებელია მცენარის ყვავილობაზე გადასვლისათვის მოკლე დღის პირობებში. ამავდროულად გენი *ihy* მონაწილეობს მცენარის მიერ დღისა და ღამის ხანგრძლივობის „გაზომვაში“ ანუ განსხვავებული გარემო პირობები განსაზღვრავს სხვადასხვა გენების (გენური სისტემების) ჩართვას, რომლსაც მცენარე მიჰყავს „საბოლოო პროდუქციამდე“- ყვავილობამდე, ნაყოფებისა და თესლების განვითარებამდე. ამავდროს *IHY* გენის რეცესიული მუტაცია (*ihy*) განსაზღვრავს ფოტოპერიოდისაგან დამოუკიდებლად ყვავილობის შეფერხებას (Blazquez...2003; Samach...2005; Halliday...2003). მსგავსი გენები ნაპოვნია მცენარეთა სხვა სახეობებისათვისაც.

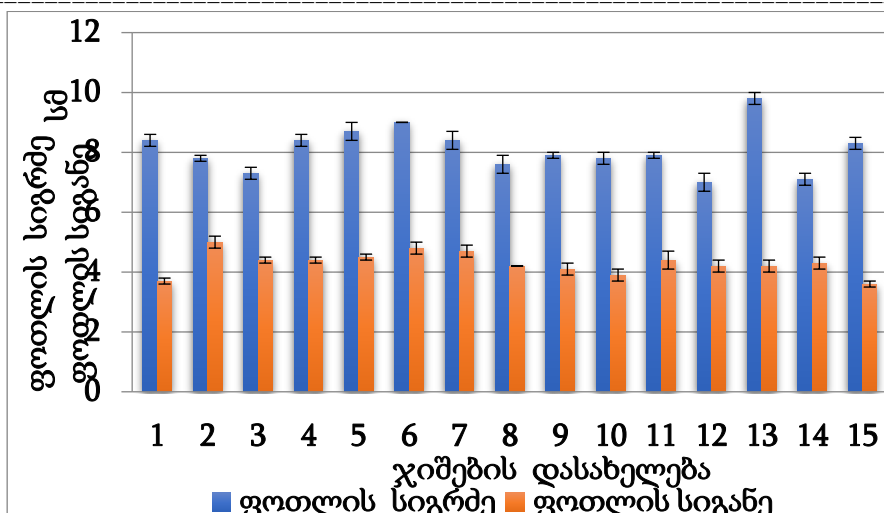
ყვავილის პიგმენტაციის შესწავლა მნიშვნელოვანია მცენარეთა სელექციაში და წარმოადგენს გენურ ინჟინერიაში ყვავილის ფერის ცვლილების გასაღებს (Tanaka...2008)

იაპონური კამელია უხვი ყვავილობით ხასიათდება, მრავალფეროვანია ყვავილის ფერი, სიდიდე, ფორმა, და გარემო ფაქტორებისაგან დამოკიდებულებით მნიშვნელოვნად ცვალებადობს. უკანასკნელი განსაკუთრებით ძლიერ ვლინდება ყვავილის ფორმასა და შეფერილობაში.

იაპონური კამელია კავკასიის შავი ზღვის სანაპიროზე წარმოდგენილია ფორმათა დიდი მრავალფეროვნებით, იმის გამო რომ თავდაპირველად კამელიის გამრავლება ხდებოდა მხოლოდ თესლით, წლების განმავლობაში ჩამოყალიბდა სრულად განსხვავებული პოპულაციები ე. წ. ადგილობრივი პოპულაცია. ამას ადასტურებს კამელიის სხვადასხვა სახეობის მცენარეთა მორფოლოგიური ნიშნების ძლიერი ცვალებადობა.

2014 წელს, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიტოპათოლოგიისა და ბიომრავალფეროვნების ინსტიტუტის საკოლექციო ნაკვეთზე გაშენდა კამელიის კოლექცია. კოლექციაში არის კამელიის 3 სახეობა, 73-მდე იაპონური კამელიის ჯიში, ჰიბრიდი და ფორმა მათ შორის იაპონური კამელიის 5 ახალი ჯიში: Contesasa Lavinia Maggi, Monshio, Pilnitz, Amalia Melzi, Minato-no-akebono რომელიც ინტროდუცირებული გერმანიისა და ჩეხეთის ბოტანიკური ბაღიდან.

შესწავლილი იქნა იაპონური კამელიის ცვალებადობა ყვავილის ფორმისა და ფერის მიხედვით. გამოვლინდა, რომ იგი მნიშვნელოვნად ცვალებადობს ყვავილის პარამეტრების მიხედვით. დიაგრამაზე მოტანილია ყვავილის სიდიდის ცვალებადობის ამსახველი მონაცემები ჯიშისაგან დამოკიდებულებით. როგორც მონაცემები ცხადყოფენ, რომ ყველაზე დიდი ზომის ყვავილებით გამოირჩევიან ჯიშები: Hibiscus, Eleonor Franchetti, Anemonaeflora rosea, Pelagia, Beni-karako, Delectissima და Goffredo Odero, ხოლო ყველაზე მცირე ზომის - Aurora და Elegans.



ნახ. 1. იაპონური კამელიის ყვავილის ბიომეტრული მონაცემები ჯიშების მიხედვით:

1.Aurora; 2. Marchioness of Salisbury; 3. Hibiscus; 4. Eleonor Franchetti; 5.Aranin; 6. Anemonaeflora; 7. Anemonaeflora alba; 8. Anemonaeflora rosea; 9. Margaret Walker; 10. Eleqans; 11. Pelaqia; 12. Beni-karako; 13. Delectissima; 14. Goffredo Odero; 15. Derbyana.

კვლევის შედეგებმა ასევე გვიჩვენა, რომ ზოგიერთ მცენარეზე აღინიშნება მხოლოდ ერთი ფორმისა და შეფერილობის ყვავილი, მაშინ როდესაც სხვა შემთხვევაში გვხვდება ერთ მცენარეზე სხვადასხვა სიდიდის, შეფერილობისა და ფორმის ყვავილი.

ცხრილი 1. ყვავილის შეფერილობის ცვალებადობა იაპონური კამელიის ხვადასხვა ჯიშში

ჯიშის დასახელება	წითელი %	თეთრი %	ვარდისფერი %	თეთრი ვარდისფერი ლაქებით %	თეთრი ვარდისფერი ზოლებით %	ვარდისფერი თეთრი ლაქებით %	ვარდისფერი ზოლებით %	ღია ვარდისფერი %	ჭრელი %
Eleanor Franchetti					51	6	43		
Eleqans			4				90		
Marchioness of Salisbury							55		
Margaret Walker	17	5		8	51	8		11	17
Goffredo odero	37	40						15	37
Aranin		63	37						
Anemonaeflora Alba		63	37						
Anemonaeflora resea			95			5			
Aurora	50	20	10		15	5			50
Pelaqia			16						
Delectissima		67	20		13				
Hibiscus	87	13							87
Hibiscus2017 წელს		57	35		3			5	
Hibiscus2018 წელს		30	55		5			10	
Eleanor Franchetti					51	6	43		

ყვავილის შეფერილობა იცვლება, როგორც ჯიშის ისე ორგანიზმის დონეზე (ინდივიდუალური ცვალებადობა). ერთ მცენარეზე სხვადასხვა შეფერილობის (2-დან 7-მდე) ყვავილის განვითარებით გამოირჩევიან ჯიშები: Delectissima; Aranin, Anemonaeflora Alba, Anemonaeflora rosea, Marchioness of Salisbury, Eleqans, Pelaqia, Margaret Walker, Goffredo odero, Eleonor Franchetti, Aurora და Hibiscus. მთლიანობაში ყველაზე მაღალი სიხშირით აღინიშნება ყვავილის ვარდისფერი შეფერილობა, შემდეგი ადგილი ამ მიმართებით

უკავია მუქ წითელ და თეთრ შეფერილობას, ხოლო ბოლო - მეწამულ და იასამნისფერ შეფერილობას, უკანასკნელი ორი შეფერილობა ერთი ჯიშის ფარგლებში იშვიათად აღინიშნება;

შეფერილობასთან ერთად იაპონურ კამელიაში ძლიერ ცვალებადობს ყვავილის აგებულება, ფორმა, სიდიდე ასე, მაგალითადა, ცხრილი 1 და 2 ცხრილიში მოტანილი მონაცემების შედარებითი ანალიზი ცხადყოფს, რომ ზოგიერთ ჯიშში (Eleqans, Anemonaeflora Alba, Anemonaeflora rezea და სხვა) ერთ მცენარეზე აღინიშნება, როგორც განსხვავებული შეფერილობის ისე განსხვავებული ფორმისა და აგებულების ყვავილი.

ცხრილი 2. ყვავილის აგებულების ცვალებადობა იაპონური კამელიის სხვადასხვა ჯიშში%

ჯიშის დასახელება	ყვავილის ცენტრში მტკრიანების კონა, %	ყვავილი პეტალოიდებითა და მტკრიანებით %	ყვავილი პეტალოიდებით, მტკრიანების გარეშე, %
Eleqans	79	21	
Aranin	55	45	
Anemonaeflora	15	65	20
Anemonaeflora Alba		55	45
Anemonaeflora rezea	25	20	75
Beni-karako	81	19	
Derbyana	25	75	



ა



ბ



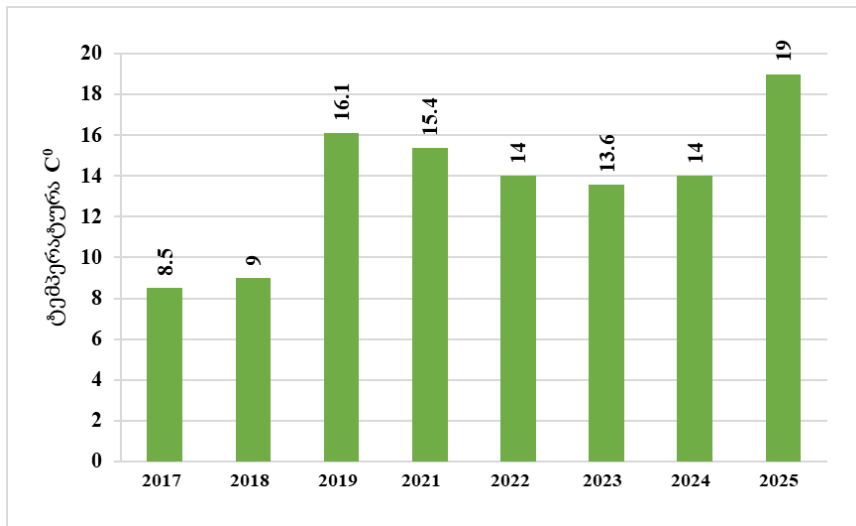
გ



დ

ნახ.2. Camellia japonica L. ჯიშები Hibiscis (ა. წითელი ყვავილები, ბ. თეთრი ყვავილები, გ. ვარდისფერი ყვავილი თეთრი არშია, დ. ვარდისფერი ყვავილი)

იაპონური კამელია ჯიშ ჰიბისკუსის მიმართ დადგენილია ყვავილის შეფერილობის დამოკიდებულება ტემპერატურასთან, Hibiscus-ი ჩვეულებრივ ივითარებს ღია წითელი ფერის ყვავილებს, მაგრამ 2015 წლის გაზაფხულზე (26 მარტი) მასზე აღინიშნა ღია ვარდისფერი ყვავილი. ვფიქრობთ, რომ ყვავილის ფერი ამ შემთხვევაში შეიცვალა ტემპერატურისგან დამოკიდებულებით, რადგან 2017 და 2018 წლებთან შედარებით 2017 – 2018 წლებში მარტის თვის საშუალო ტემპერატურა საკმაოდ დაბალი იყო (8,5-9C°), შესაბამისად აღინიშნულ ჯიშს განუვითარდა ვარდისფერი ყვავილი (ნახ. 3).



ნახ. 3. ქობულეთის ჰაერის საშუალო ტემპერატურის ცვალებადობა 2017-2025 წწ.

ჩვენი აზრით, იაპონურ კამელიაში, ყვავილის შეფერილობის ცვალებადობა ტემპერატურისაგან დამოკიდებულებით სხვა მრავალ ფაქტორთან ერთად განპირობებულია ანტოციანების, განსაკუთრებით ციანიდინ-3-გლუკოზიდისა და ციანიდინ-3-გალაქტოსიდის დაგროვების განსხვავებულ ინტენსივობით.

დასკვნა: იაპონური კამელიის ჯიშების ყვავილობის ხანგრძლივობა განსხვავებულია და იგი ძირითადად დამოკიდებულია გენოტიპის თავისებურებებსა და კლიმატურ პირობებზე. იაპონური კამელია ყვავილობას იწყებს ჰაერის საშუალო დღე-ღამური ტემპერატურის 6,5-10C°-ის პირობებში, ხოლო ინტენსიურ ყვავილობას-10-19C°-ის პირობებში. ტემპერატურის 6,5C°-ზე ქვევით დაცემისას ყვავილობა ჩერდება. ყვავილობის ვადების მიხედვით იაპონურ კამელიის ჯიშები იყოფა სამ ჯგუფად: ა) ადრე მოყვავილე (ნოემ ბერ-დეკემბერი); ბ) შედარებით გვიან მოყვავილე (იანვარ-თებერვალი); გ) გვიან მოყვავილე (მარტი-აპრილი). აღნიშნული ნიშნის მიხედვით გამოვლენილია იაპონური კამელიის ჯიშების სამი ჯგუფი: ხანგრძლივად მოყვავილე ჯიშები (5 თვე); ჯიშები ყვავილობის საშუალო ხანგრძლივობით (3-3,5 თვე); შედარებით ხანმოკლე ყვავილობის ჯიშები (2,5 თვე). იაპონური კამელია ჯიშ ჰიბისკუსის მიმართ დადგენილია ყვავილის შეფერილობის დამოკიდებულება ტემპერატურასთან. 8,5-9,0C°-ზე დაბალი ტემპერატურის პირობებში მცენარეზე ვითარდება ვარდისფერი ყვავილი, ხოლო შედარებით მაღალი (16,6-19C°) ტემპერატურის პირობებში მცენარე ივითარებს წითელ ყვავილებს.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Trujillo D. J., Trujillo S. M. et.al Camellia Nomenclature. Southern California Camellia Society. 2002. 190 p.
2. Gonos Arthur A., Bracc Sergioi. Camellia Nomenclature. Southern California Camellia Society. 1999. 184 p
3. ზარათაშვილი დ. ქამადაძე დ. იაპონური კამელიის ატლასი. ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი. 2019. გვ. 88.
4. Еременко А.Н. Сезонное развитие растений и растительных сообществ южных Курильских островов. Владивосток, 467 с.
5. Семёнова М.В. Фенология. Учебно-методический комп лекс. Рабочая программа для студентов направления, Ландшафтная архитектура, профиль Декоративное растениеводство и питомники, очная форма обучения. Тюмень, 24 с.
6. Blazquez M.A., Ahn J.H., Weigel D. A thermosensory pathway controlling flowering time in Arabidopsis thaliana. Nat. Genet. 33, pp.168-171.
7. Samach A., Wigge P. A. Ambient temperature perception in plants. Curr. Opin. Plant Biol., 8, pp.483-486.
8. Halliday K.J., Salter M.G., Thingnaes E., Whitelam G.C. Phytochrome control of flowering is temperature sensitive and correlates with expression of the floral integrator FT. Plant J., 33, pp. 875-885.
9. Tanaka Y., Sasaki N. and Ohmiya A. Biosynthesis of plantpigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. Plant J. 54, pp.733-749.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-88-94

ურთიერთობა: 581.4:581.19

აჭარის მაღალმთიანეთში გავრცელებული *Lilium ponticum* K. Koch-ის კვლევა ბიოლოგიურად აქტიური ნივთიერებების შემცველობაზე დალი ბერიძე¹, ალიოზა ბაკურიძე², მარიამ მეტრეველი¹, მალხაზ ჯოხაძე²

¹ ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

² თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო უნივერსიტეტი

d.beridze@bsu.edu.ge

რეზიუმე

წინამდებარე კვლევა ეხება აჭარის მაღალმთიანეთში გავრცელებული *Lilium ponticum* K. Koch-ის ბიოქიმიური და ფიტოქიმიური შემადგენლობის შესწავლას GC-MS მეთოდით. მცენარის ექსტრაქტში გამოვლენილია სხვადასხვა ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთი, მათ შორის კარბონული ორგანული, ცხიმოვანი და ფენოლური მჟავები (რემემჟავა, ვაშლის, გალის, პროტოკატეჟის მჟავები, სტეარინისა და α -ლინოლენის მჟავა), ასევე შაქრები (გლუკოზიდური და ფურანოზიდური წარმოებულები, პენტიტოლი, ლაქტოზა), ირიდოიდები (აუკუბინი) და სტეროიდული ნაერთი — სიტოსტეროლი.

მაღალმთიანი ეკოსისტემების კონტექსტში სახეობა გამოირჩევა ეკოლოგიური ადაპტაციითა და ენდემური გავრცელებით, რაც კიდევ უფრო ზრდის მის სამეცნიერო ღირებულებას.

კვლევისას გამოყენებულ იქნა ტრადიციული ექსპედიცია-ექსკურსიის მეთოდი, რომლის ფარგლებში განისაზღვრა მცენარეთა გავრცელების ადგილები და შეგროვდა მასალა ჰერბარიუმისთვის და ექსპერიმენტისთვის. მცენარეული ნედლეულიდან მომზადდა მეთანოლიანი ექსტრაქტები, რომლებიც დამუშავდა BSTFA/EtAc (40:10) ნარევიტ და გაანალიზდა Agilent Technologies 7000 GC/MS/MS Triple Quad სისტემაზე Elite-5MS სვეტის გამოყენებით. ანალიზი განხორციელდა EI რეჟიმში (70 eV), TIC სკანირების პირობებში, ხოლო ნაერთების იდენტიფიკაცია მოხდა NIST მონაცემთა ბაზასთან შედარების საფუძველზე.

მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ *Lilium ponticum* წარმოადგენს ბიოლოგიურად აქტიური მეორადი მეტაბოლიტებით მდიდარ სახეობებს, რაც ხაზს უსვამს მათ მნიშვნელოვან ფარმაცოლოგიურ და ბიოტექნოლოგიურ პოტენციალს. აღნიშნული სახეობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კავკასიის მაღალმთიანი ეკოსისტემების კონტექსტში მათი ენდემურობისა და ეკოლოგიური ადაპტაციის გამო.

საკვანძო სიტყვები: ბიომრავალფეროვნება, ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთები, მაღალმთიანი ეკოსისტემები, კლიმატის ცვლილება.

შესავალი

მაღალი მთის ეკოსისტემების შესწავლა განსაკუთრებით აჭარის, პრობლემურია რთული გეოგრაფიული რელიეფის, მკაცრი კლიმატური პირობებისა და ლოგისტიკური სირთულეების გამო. აქ ხშირია მიუწვდომელი ტერიტორიები, რაც ართულებს სისტემურ საველე კვლევებს და ნიმუშების რეგულარულ შეგროვებას. გარდა ამისა, მაღალმთიან ზონებში ბიომრავალფეროვნება ხშირად არის უნიკალური და მაღალი ენდემიზმით ხასიათდება, რაც საჭიროებს დეტალურ და სენსიტიურ მიდგომას. კლიმატის ცვლილების ფონზე ეს ეკოსისტემები კიდევ უფრო მოწყვლადი ხდება, რადგან ტემპერატურის მატება და ნალექების რეჟიმის ცვლილება იწვევს სახეობების არეალის გადაადგილებასა და პოპულაციების შემცირებას. შესაბამისად, მათი მონიტორინგი მოითხოვს ინტერდისციპლინურ მეთოდებსა და გრძელვადიან კვლევებს. ამ გამოწვევების გათვალისწინებით, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაღალმთიანი ეკოსისტემებში გავრცელებული მცენარეების სიღრმისეული შესწავლა. მათ შორის განსაკუთრებულ ინტერესს იწვევს ფიტოქიმიური კვლევები, რომლებიც საშუალებას იძლევა გამოავლინოთ ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების მრავალფეროვნება. არსებული ლიტერატურული წყაროების მიხედვით, მაღალმთიანი ფლორა მდიდარია უნიკალური მეორადი მეტაბოლიტებით (22), რაც ზრდის მათ სამეცნიერო მნიშვნელობას.

ცნობილია *Lilium* გვარის ფიტოქიმიური შემადგენლობა, შეიცავს- კარბონულ ორგანულ მჟავებს, ცხიმოვან და ფენოლურ მჟავებს (1,2,12). ფენოლური ნაერთები და მათი ანტიოქსიდანტური აქტივობა ფართოდ არის აღწერილი აღნიშნული გვარის სახეობებში (2,14). მცხიმოვანი მჟავების, მათ შორის α -ლინოლენის და სტეარინის მჟავების არსებობა შეესაბამება გვარისთვის აღწერილ ლიპიდურ პროფილს (12,19). შაქრების ჯგუფი, მათ შორის გლუკოზიდური და ფურანოზიდური წარმოებულები, ასევე პოლიოლები (პენტიტოლი), დამახასიათებელია ბოლქვოვან მცენარეებში და განსაკუთრებით *Lilium* გვარის

წარმომადგენლებში (11,13). ირიდოიდული ნაერთები, მათ შორის აუკუბინი და მისი წარმოებულები, აღწერილია როგორც ბიოაქტიური კომპონენტები სხვადასხვა მონოკოტილედონურ მცენარეებში (16). სტეროიდული ნაერთები, განსაკუთრებით სიტოსტეროლი, ფართოდ გვხვდება *Lilium* სახეობებში და დაკავშირებულია მათ ფარმაკოლოგიურ აქტივობასთან (9,15).

საკვლევი ობიექტი მრავალწლიანი ბალახოვანი მცენარეა. 70-150 სმ სიმაღლის. ღერო ხშირფოთლიანია, ფოთლები ფართოლანცეტაა, ქვემოდან ძარღვების გასწვრივ შებუსუსული, მოკლე ბეწვით, ოდნავ ხაოიანი. ყვავილსაფარი გოგირდისფერია, ფორმით წაკვეთილუკუკონუსური, ლანცეტა ფორმის, ძირისკენ შევიწროებული, პრიალა, შიგნიდან მრავალი მუქი მეწამული ფერის წინწკლებით მოფენილი. ყვ. ნაყ. V-IX. იზრდება მთის შუა, ზედა და სუბალპურ სარტყლებში – მდელოებზე, ტყის პირა ადგილებში, ქვიან და ღორღიან ეკოტოპებზე. მაღალბალახეულობის ერთ-ერთი ძირითადი კომპონენტია. დეკორატიულია აჭარაში გავრცელებულია ტბეთი, კალთა, მთა -სარი ჩაირი, ჩირუხი, საყორნია(21). ჩვენს მიერ დაფიქსირებული კორდინატებია ბეშუმში ჩვენს მიერ დაფიქსირებული კორდინატები-N41°35'523'', E 042°35'172'', H 2181მ.TLC+

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

კვლევის ობიექტს წარმოადგენდა მაღალ მთაში გავრცელებული *Lilium ponticum* K.Koch. კვლევის მეთოდს წარმოადგენდა ტრადიციული ექსპედიცია-ექსკურსიის მეთოდი. ექსპედიციის დროს დავაფიქსირეთ მცენარის გავრცელების ზუსტი არეალები, ავიღეთ საჭერბარიუმე და საექსპერიმენტო მასალა.

მცენარის ნედლეულიდან მოვამზადეთ მეთანოლიანი ექსტრაქტი. დაემატა 50–55 მკლ BSTFA/EtAc (40:10) და გაცხელდა 70°C ტემპერატურაზე 20 წუთის განმავლობაში. გაცივების შემდეგ 1 მკლ ნიმუში გამოვიკვლიეთ ტანდემური ქრომატო-მასსპექტრომეტრული მეთოდის პირობებში.

კვლევისათვის გამოყენებული იქნა შემდეგი პირობები: ხელსაწყო — Agilent Technologies 7000 GC/MS/MS Triple Quad; სვეტი — Elite-5MS (30 m × 250 μm × 0,25 μm); ღუმელის ტემპერატურა — 60°C–310°C (პროგრამული რეჟიმი); ინჟექტორის ტემპერატურა — 250°C; ტრანსფერლიანის ტემპერატურა — 310°C; აირმატარებელი — ჰელიუმი (1 მლ/წთ); იონიზაციის წყარო — EI, 70 eV; სკანირების რეჟიმი — TIC.

საანალიზო ობიექტში სამიზნე ნივთიერების გამოვლენის მიზნით ქრომატოგრამებზე არსებული პიკების მასსპექტრები შედარდა მონაცემთა ბაზაში (NIST) არსებული ნივთიერებების მასსპექტრებთან.

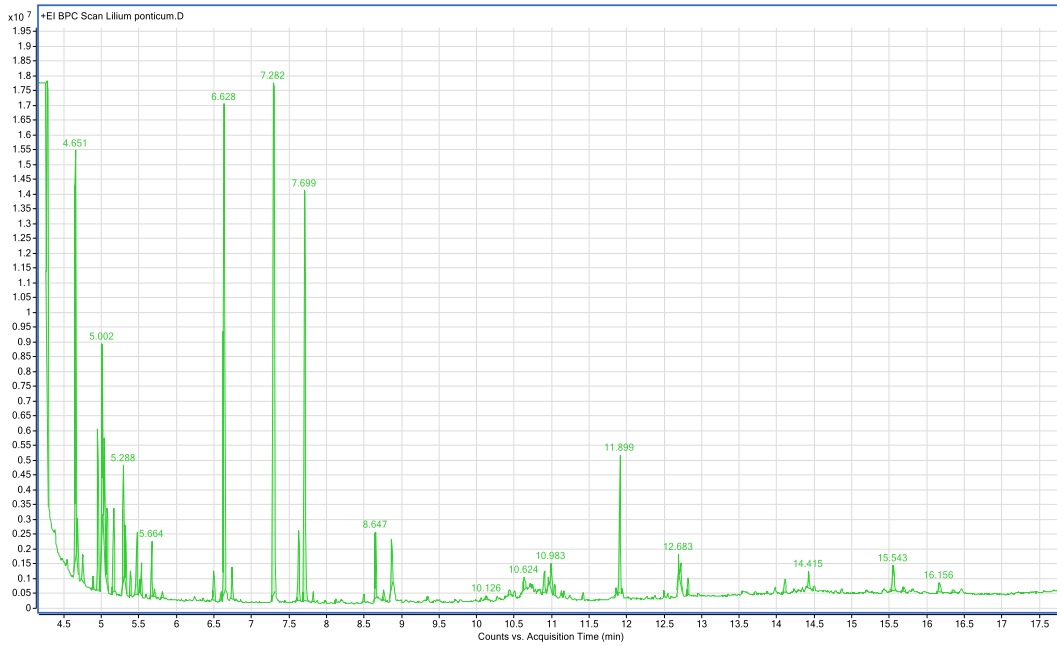
შედეგები

მცენარის ექსტრაქტი შეიცავს კარბონულ ორგანულ მჟავებს, ცხიმოვან მჟავებს და ფენოლურ მჟავებს, მათ შორის: რემქავას, ვაშლის მჟავას, პროტოკატექის მჟავას, გალის მჟავას, მეთილქარვის მჟავას, მირისტის მჟავას, სტეარინის მჟავას და α-ლინოლენის მჟავას. შაქრების ჯგუფს მიეკუთვნება: გალაქტოპირანოზიდი, გლუკოფურანოზიდი, არაბინოფურანოზა, პენტიტოლი, დეოქსიპენტოფურანოზა და ლაქტოზა. ასევე გამოვლენილია ირიდოიდები, კერძოდ აუკუბინი და პირანოქრომენის წარმოებულები. სტეროიდული ნაერთებიდან აღინიშნება სიტოსტეროლი.

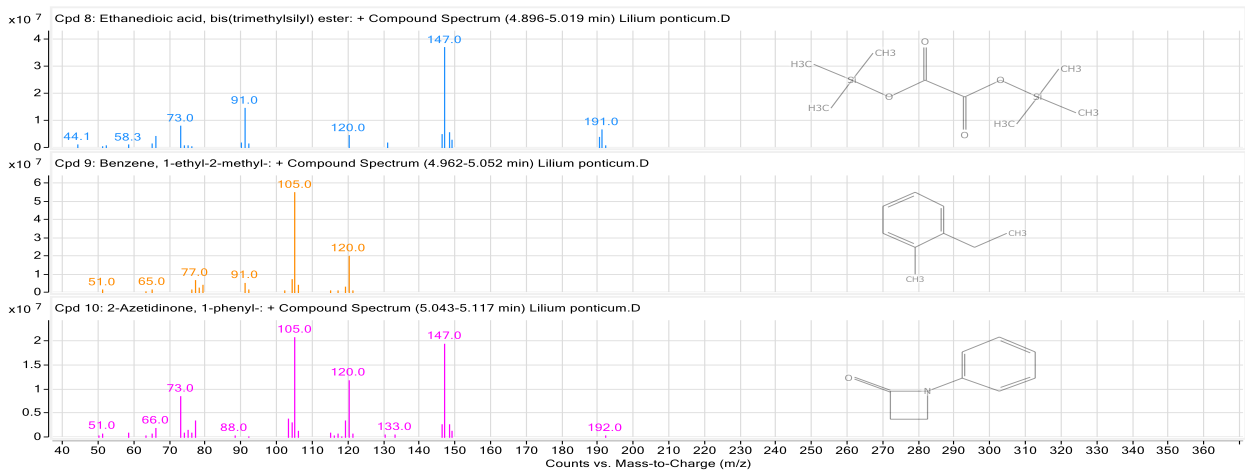
დასკვნა

აჭარის მაღალმთიანეთში გავრცელებული *Lilium ponticum* K. Koch-ის ფიტოქიმიური კვლევის შედეგად გამოვლინდა ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების ფართო სპექტრი. ტანდემური ქრომატო-მასსპექტრომეტრული ანალიზით დადგინდა კარბონული ორგანული, ცხიმოვანი და ფენოლური მჟავების, სხვადასხვა შაქრების, ირიდოიდული და სტეროიდული ნაერთების არსებობა. მიღებული მონაცემები ადასტურებს, რომ აღნიშნული სახეობა წარმოადგენს მეორადი მეტაბოლიტებით მდიდარ მცენარეს და გამოირჩევა პოტენციური ფარმაკოლოგიური მნიშვნელობით.

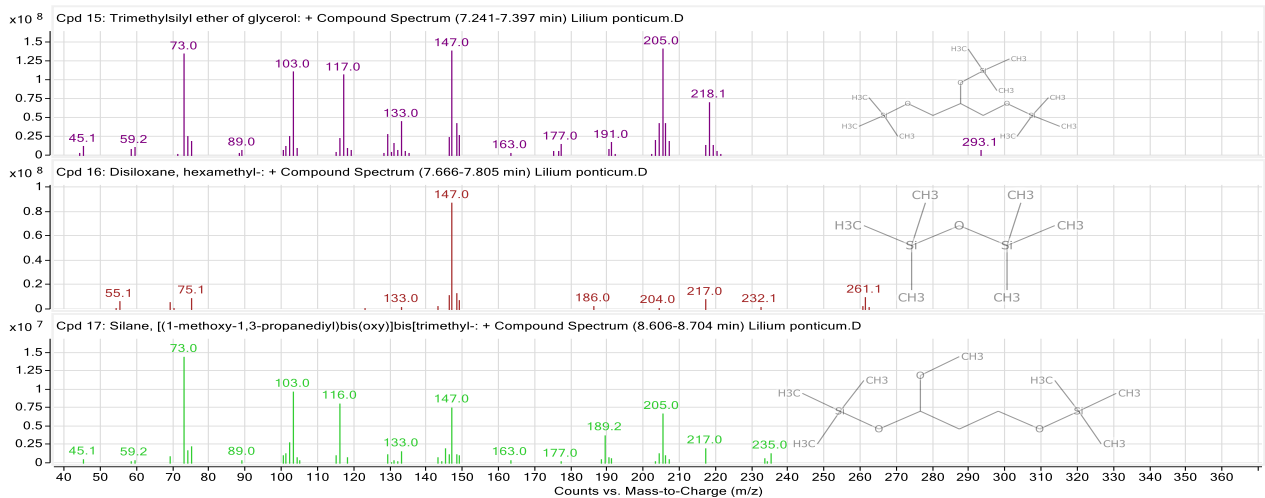
მაღალმთიანი ეკოსისტემების პირობებში გავრცელებული ენდემური სახეობების შესწავლა მნიშვნელოვანია როგორც ბიომრავალფეროვნების შეფასების, ასევე ბუნებრივი ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთების ახალი წყაროების გამოვლენისათვის. მიღებული შედეგები საფუძველს ქმნის *Lilium ponticum*-ის შემდგომი ფიტოქიმიური და ფარმაკოლოგიური კვლევებისათვის.



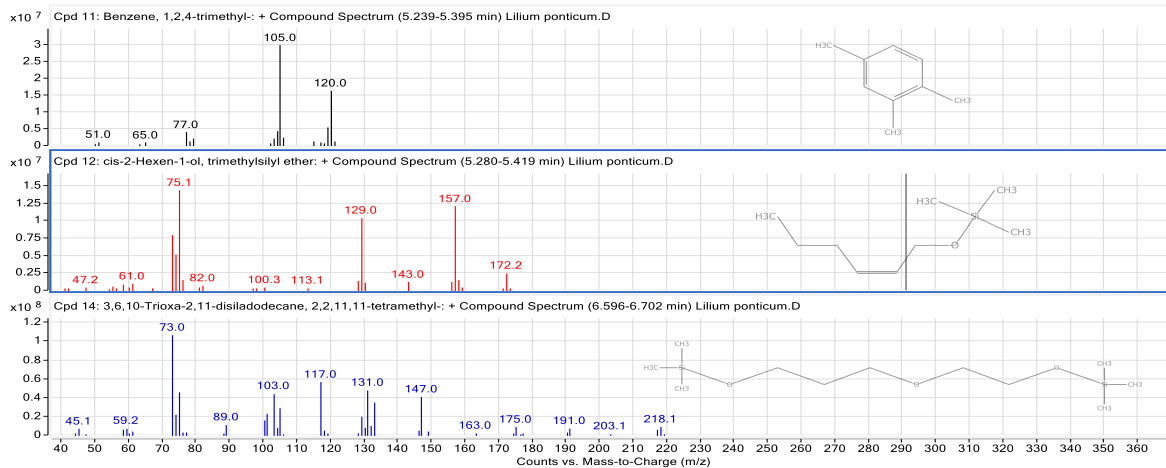
დაგრამა 1. *Liliium ponticum* K. Koch-ის მცენარის ექსტრაქტის მასპექტრული ანალიზის შედეგები.



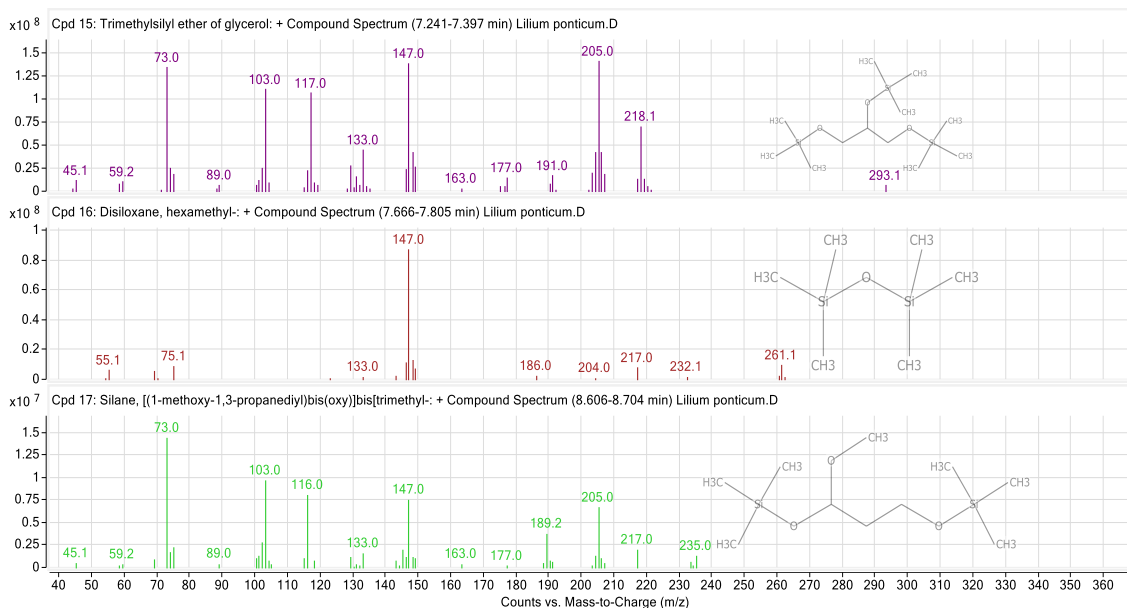
ს



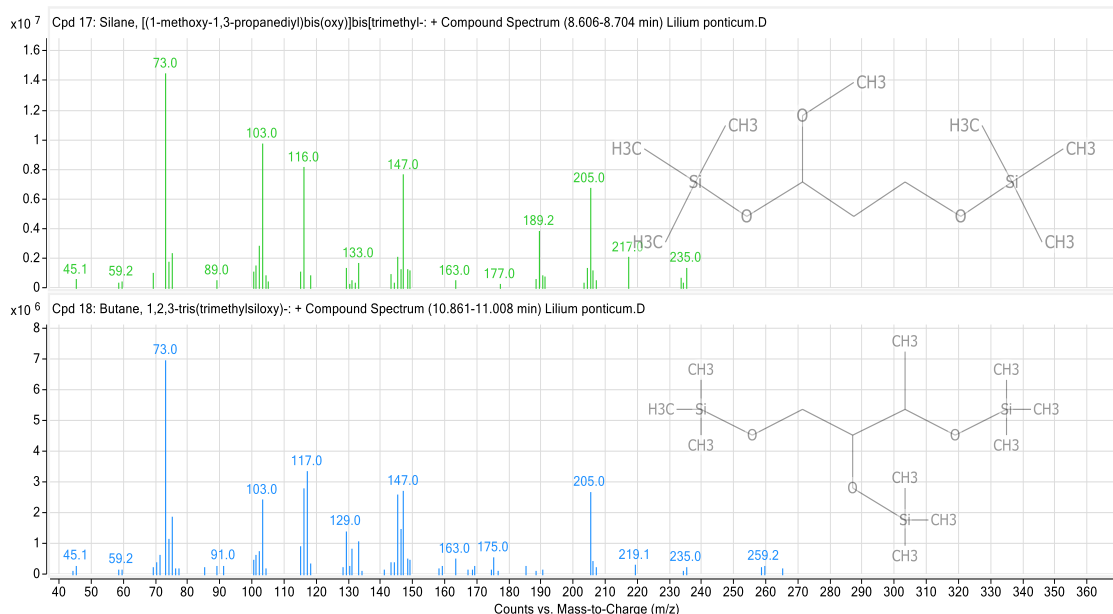
ბ



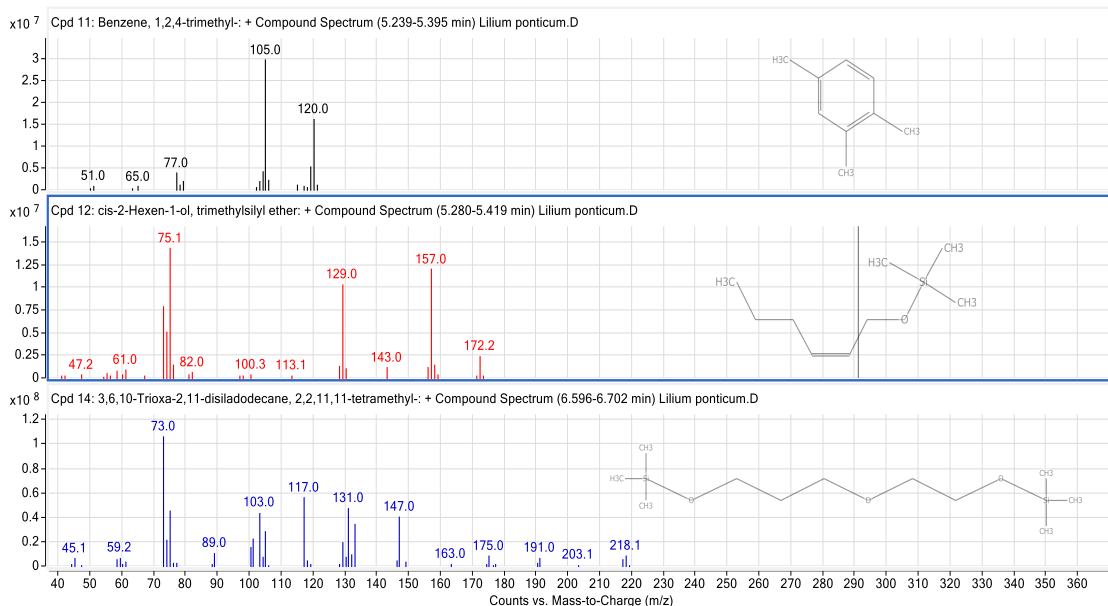
8



8



9



3

დიაგრამა 2. *Lilium ponticum* K. Koch-ის მცენარის ექსტრაქტის მასსპექტრული ანალიზის შედეგები (ა.ბ.გ.დ.ე.ვ).

ცხრილი 1. *Lilium ponticum* K. Koch-ის ექსტრაქტში იდენტიფიცირებული ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთები.

Cpd	Label	Name	Formula	Score	RT	m/z	Base	Mass (DB)
1	Cpd 1: Silane, trimethyl(1-methylethoxy)-	Silane, trimethyl(1-methylethoxy)-	C6H16OSi	52.51	5.123	73	73	132.1
10	Cpd 10: 2(1H)-Pyrimidinethione, 4-amino-	2(1H)-Pyrimidinethione, 4-amino-	C4H5N3S	53.53	8.384	127	127	127
11	Cpd 11: Benzeneethanol, 4-hydroxy-	Benzeneethanol, 4-hydroxy-	C8H10O2	77.46	8.463	107	107	138.1
12	Cpd 12: Sucrose	Sucrose	C12H22O11	67.47	8.632	57.1	57.1	342.1
16	Cpd 16: 2-Propenoic acid, 3-phenyl-, trimethylsilyl ester	2-Propenoic acid, 3-phenyl-, trimethylsilyl ester	C12H16O2Si	79.69	9.249	205	205	220.1
18	Cpd 18: Benzenepropanol, 4-hydroxy-, alpha-, -methyl-, (R)-	Benzenepropanol, 4-hydroxy-, alpha-, -methyl-, (R)-	C10H14O2	84.3	9.373	107	107	166.1
2	Cpd 2: Pentane, 2,3,3-trimethyl-	Pentane, 2,3,3-trimethyl-	C8H18	72.3	5.252	43.1	43.1	114.1
20	Cpd 20: Silane, trimethyl(2-phenylethoxy)-	Silane, trimethyl(2-phenylethoxy)-	C11H18OSi	55.95	9.612	73	73	194.1
21	Cpd 21: 3,1-Benzoxazepine, 2-phenyl-	3,1-Benzoxazepine, 2-phenyl-	C15H11NO	52.17	9.688	221	221	221.1
22	Cpd 22: beta-D-Glucopyranose, 1,6-anhydro-	beta-D-Glucopyranose, 1,6-anhydro-	C6H10O5	59.13	9.759	60	60	162.1
23	Cpd 23: Methanone, (9,10-dihydro-9-anthracenyl)phenyl-	Methanone, (9,10-dihydro-9-anthracenyl)phenyl-	C21H16O	52.74	9.812	179	179	284.1
24	Cpd 24: Phenol, p-(2-methylallyl)-	Phenol, p-(2-methylallyl)-	C10H12O	59.03	9.896	73	73	148.1
26	Cpd 26: 1,5-cis,8-cis-Undecatriene-3,7-diol bis(trimethylsilyl) ether	1,5-cis,8-cis-Undecatriene-3,7-diol bis(trimethylsilyl) ether	C17H34O2Si2	57.72	9.959	73	73	326.2
27	Cpd 27: Anthracene, 9,10-dihydro-9-(1-methylpropyl)-	Anthracene, 9,10-dihydro-9-(1-methylpropyl)-	C18H20	52.8	10.049	179	179	236.2
28	Cpd 28: Ethane, 1-vinylthio-2-[(trimethylsilyloxy)ethylthio]-	Ethane, 1-vinylthio-2-[(trimethylsilyloxy)ethylthio]-	C9H20O2S2	54.9	10.072	87	87	236.1
29	Cpd 29: Heptanoic acid, 6-oxo-, trimethylsilyl ester	Heptanoic acid, 6-oxo-, trimethylsilyl ester	C10H20O3Si	70.17	10.15	73	73	216.1
3	Cpd 3: Methyl 2-[methoxy(methylamino)-2-methylpropanoate	Methyl 2-[methoxy(methylamino)-2-methylpropanoate	C7H15NO3	57.68	6.073	102	102	161.1
30	Cpd 30: 6-Methyl-4-phenyl-quinazoline	6-Methyl-4-phenyl-quinazoline	C15H12N2	66.65	10.165	220.1	220.1	220.1
31	Cpd 31: Anthracene, 9,10-dihydro-9-(1-methylpropyl)-	Anthracene, 9,10-dihydro-9-(1-methylpropyl)-	C18H20	51.15	10.201	179	179	236.2
32	Cpd 32: 3,6,10-Trioxa-2,11-disiladodecane, 2,2,11,11-tetramethyl-	3,6,10-Trioxa-2,11-disiladodecane, 2,2,11,11-tetramethyl-	C11H28O3Si2	61.73	10.264	73	73	264.2
33	Cpd 33: 1,8-cis-Undecadien-5-yne 3,7-bis(trimethylsilyl) ether	1,8-cis-Undecadien-5-yne 3,7-bis(trimethylsilyl) ether	C17H32O2Si2	56.42	10.376	73	73	324.2
34	Cpd 34: Ethanol, 2-(trimethylsilyl)-, acetate	Ethanol, 2-(trimethylsilyl)-, acetate	C7H16O2Si	57.49	10.419	73	73	160.1
37	Cpd 37: Dibenzothiophene, 1,2,3,4,6,7,8,9-octahydro-	Dibenzothiophene, 1,2,3,4,6,7,8,9-octahydro-	C12H16S	65.42	10.637	164	164	192.1
38	Cpd 38: 3,6,10,13-Tetraoxa-2,14-disilapentadecane, 2,2,14,14-tetramethyl-	3,6,10,13-Tetraoxa-2,14-disilapentadecane, 2,2,14,14-tetramethyl-	C13H32O4Si2	67.89	10.814	73	73	308.2
40	Cpd 40: Silane, tetra-2-propenyl-	Silane, tetra-2-propenyl-	C12H20Si	63.96	10.878	95	95	192.1
42	Cpd 42: 7H-Furo[3,2-g][1]benzopyran-7-one	7H-Furo[3,2-g][1]benzopyran-7-one	C11H6O3	84.64	11.063	186	186	186
44	Cpd 44: 3-Phenylbicyclo[3.2.2]nona-3,6-dien-2-one	3-Phenylbicyclo[3.2.2]nona-3,6-dien-2-one	C15H14O	54.41	11.721	167	167	210.1
45	Cpd 45: Hexadecanoic acid, trimethylsilyl ester	Hexadecanoic acid, trimethylsilyl ester	C19H40O2Si	94.16	11.899	117	117	328.3
46	Cpd 46: Phytol	Phytol	C20H40O	72.56	12.248	71	71	296.3
47	Cpd 47: Butyl 9,12-octadecadienoate	Butyl 9,12-octadecadienoate	C22H40O2	57.23	12.683	81	81	336.3
50	Cpd 50: 9H-Carbazole, 9-phenyl-	9H-Carbazole, 9-phenyl-	C18H13N	61.09	13.018	243.1	243.1	243.1
51	Cpd 51: Pyrido[3,2-d]pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione, 1,3-dimethyl-	Pyrido[3,2-d]pyrimidine-2,4(1H,3H)-dione, 1,3-dimethyl-	C9H9N3O2	57.02	13.189	191	191	191.1
52	Cpd 52: 2H-Furo[2,3-h]-1-benzopyran-2-one, 8,9-dihydro-8-(1-methylpropyl)-	2H-Furo[2,3-h]-1-benzopyran-2-one, 8,9-dihydro-8-(1-methylpropyl)-	C14H14O4	83.33	13.384	187	187	246.1
53	Cpd 53: Benzo(b)carbazole	Benzo(b)carbazole	C16H11N	54.92	13.687	217	217	217.1
54	Cpd 54: 8-Phenylisoquinoline	8-Phenylisoquinoline	C15H11N	59.1	13.909	205	205	205.1
56	Cpd 56: 1-Docosanol, trimethylsilyl ether	1-Docosanol, trimethylsilyl ether	C25H54OSi	84.83	14.249	383.2	383.2	398.4
60	Cpd 60: 2,8-Disilatricyclo[7.3.0.0(3,7)]dodeca-4,6,10,12-tetra-	2,8-Disilatricyclo[7.3.0.0(3,7)]dodeca-4,6,10,12-tetra-	C14H20Si2	53.22	15.14	229	229	244.1
63	Cpd 63: 8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	C24H26O7	59.06	15.39	83	83	426.2
64	Cpd 64: 8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	C24H26O7	65.12	15.53	83	83	426.2
66	Cpd 66: 2,8-Disilatricyclo[7.3.0.0(3,7)]dodeca-4,6,10,12-tetra-	2,8-Disilatricyclo[7.3.0.0(3,7)]dodeca-4,6,10,12-tetra-	C14H20Si2	52.58	16.901	229	229	244.1
67	Cpd 67: 8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	C24H26O7	62.24	17.059	83	83	426.2
69	Cpd 69: 8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	C24H26O7	72.73	17.359	83	83	426.2
70	Cpd 70: 8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	C24H26O7	70.49	17.45	83	83	426.2
71	Cpd 71: 8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	8,8-Dimethyl-2-oxo-2,8,9,10-tetrahydropyrano(2,3-f)co-	C24H26O7	69.87	17.665	83	83	426.2
75	Cpd 75: Cholesterol trimethylsilyl ether	Cholesterol trimethylsilyl ether	C30H54OSi	81.06	19.034	129	129	458.4

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Jin L., Zhang Y., Yan L., Guo Y. “Phenolic Compounds and Antioxidant Activity of Bulb Extracts of Six *Lilium* Species Native to China” — *Molecules*, 2012, 17(8): 9361–9378.
2. Zhou J., An R., Huang X. “Genus *Lilium*: A Review on Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacology” — *Journal of Ethnopharmacology*, 2021, 270: 113852.
3. Liang Z.X., Liu H., Wang G. et al. “Variation of Phenolic Compounds and Antioxidant Capacities in Different Organs of *Lilium pumilum*” — *Natural Product Communications*, 2018, 13(6).
4. Kim J.S., Kim J.H., Kim S.H. et al. “Complete Plastid Genome Sequences of *Lilium*: Insights into Phylogenetic Relationships” — *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2019, 136: 14–23.
5. Duan Y., Li M., Guo X. et al. “Phylogeny and Biogeography of the Genus *Lilium* (Liliaceae)” — *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2022, 199(3): 323–341.
6. Stearn W.T. “A Handbook of the Genus *Lilium*” — *Royal Horticultural Society*, 1950.
7. Comber H.F. “A New Classification of the Genus *Lilium*” — *Lily Yearbook*, 1949.
8. Grossheim A.A. “Flora Kavkaza (Flora of the Caucasus)” — *Izvestiya Kavkazskogo Muzeya*, 1919.
9. Mimaki Y., Kuroda M., Satou T. et al. “Steroidal Saponins from *Lilium* Species” — *Phytochemistry*, 1994.
10. Hu W., et al. “Bioactive Compounds from *Lilium* Species” — *Journal of Natural Products*.
11. Luo L., Wang X., Cui Y. et al. “Chromatographic Analysis of Chemical Constituents in *Lilium*” — *Journal of Chromatography*, 2012.
12. Zhao Y., Zhang Y., Wang Y. et al. “Phytochemical Profiling and Antioxidant Activity of *Lilium* Species” — *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2019.
13. Ma X., Zhang H., Liu J. et al. “Chemical Constituents and Biological Activities of the Genus *Lilium*” — *Phytochemistry Letters*, 2017.
14. Sharifi-Rad J., et al. “Phytochemical Composition and Pharmacological Properties of *Lilium* Species” — *Food Chemistry*, 2023.
15. Liu S., et al. “Recent Advances in Natural Products from the Genus *Lilium*” — *Natural Product Research*, 2025.
16. Neelam K., et al. “Phytochemistry and Therapeutic Potential of *Lilium* Species” — *Phytotherapy Research*, 2019.
17. Guclu-Ustundag O., Mazza G. “Saponins: Properties, Applications and Processing” — *Journal of Food Science*, 2007.
18. Mimaki Y., Kuroda M., Sashida Y. et al. “Steroidal Glycosides from *Lilium* Species” — *Phytochemistry*, 1999.
19. Wang X., Zhang Y., Yang L. et al. “Chemical Constituents and Medicinal Properties of *Lilium* Species” — *Journal of Natural Medicines*, 2015.
20. “Sterols and Secondary Metabolites from the Genus *Lilium*: A Review” — (*Review article*)
21. Dmitrieva A. A. 1990. *Identification guide to the plants of Adjara*. Tbilisi: Metsniereba, vol. 1, 143 p.
22. Beridze D. 2019. Biogeological and pharmacognostic study of endemic plant species of Adjara and Adjara-Lazeti. Doctoral dissertation in biology, Batumi Shota Rustaveli State University, Faculty of Natural Sciences and Health Care, Department of Biology, Batumi.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-88-94

UDC: 581.4:581.19

Biologically active compounds of *Lilium ponticum* K. Koch distributed in the highlands of Adjara / D. Beridze, A. Bakuridze, M. Metreveli, M. Jokhadze / Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.88-94. - Georg., Summ. Georg., Eng., Rus.

The present study investigates the biochemical and phytochemical composition of *Lilium ponticum* K. Koch distributed in the highlands of Adjara using the GC–MS method. Various biologically active compounds were identified in the plant extract, including organic carboxylic, fatty, and phenolic acids (lactic, malic, gallic, protocatechuic, stearic, and α -linolenic acids), as well as sugars (glucosidic and furanosidic derivatives, pentitol, lactose), iridoids (aucubin), and the steroid compound sitosterol. The results confirm that *Lilium ponticum* is a species rich in biologically active secondary metabolites, highlighting its potential significance for pharmacological and biotechnological research. In the context of high-mountain ecosystems, the species is characterized by ecological adaptation and endemic distribution, which further enhances its scientific value.

A traditional expedition–excursion method was employed, within which the distribution areas of the species were determined and plant material was collected for herbarium and experimental purposes. Methanolic extracts were prepared from the plant material, treated with a BSTFA/EtAc (40:10) mixture, and analyzed using an Agilent Technologies 7000

GC/MS/MS Triple Quad system with an Elite-5MS column. The analysis was performed in electron ionization (EI) mode (70 eV) under TIC scanning conditions, and compound identification was carried out by comparison with the NIST database. The obtained results further confirm that *Lilium ponticum* is rich in biologically active secondary metabolites, emphasizing its significant pharmacological and biotechnological potential, particularly in the context of high-mountain ecosystems of the Caucasus due to its endemism and ecological adaptation.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-88-94

УДК: 581.4:581.19

აჭარის მაღალმთიანეთში გავრცელებული *Lilium ponticum* K. Koch-ის ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთები / დ. ბერიძე, ა. ბაკურიძე, მ. მეტრეველი, მ. ჯოხაძე / ИХМ-ის შრომები, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. – 2026. – ტ. 139. – გვ. 88-94. – ქართ., რეზიუმე ქართ., ინგლ., რუს.

წინამდებარე კვლევა ეხება აჭარის მაღალმთიანეთში გავრცელებული *Lilium ponticum* K. Koch-ის ბიოქიმიური და ფიტოქიმიური შემადგენლობის შესწავლას GC-MS მეთოდით. მცენარის ექსტრაქტში გამოვლენილია სხვადასხვა ბიოლოგიურად აქტიური ნაერთი, მათ შორის კარბონული ორგანული, ცხიმოვანი და ფენოლური მჟავები (რძემჟავა, ვაშლის, გალის, პროტოკატექის მჟავები, სტეარინისა და α -ლინოლენის მჟავა), ასევე შაქრები (გლუკოზიდური და ფურანოზიდური წარმოებულები, პენტიტოლი, ლაქტოზა), ირიდოიდები (აუკუბინი) და სტეროიდული ნაერთი — სიტოსტეროლი.

კვლევის შედეგები ადასტურებს, რომ *Lilium ponticum* წარმოადგენს ბიოლოგიურად აქტიური მეორადი მეტაბოლიტებით მდიდარ სახეობას, რაც ხაზს უსვამს მის პოტენციურ მნიშვნელობას ფარმაკოლოგიური და ბიოტექნოლოგიური კვლევებისთვის.

მაღალმთიანი ეკოსისტემების კონტექსტში სახეობა გამოირჩევა ეკოლოგიური ადაპტაციითა და ენდემური გავრცელებით, რაც კიდევ უფრო ზრდის მის სამეცნიერო ღირებულებას.

კვლევისას გამოყენებულ იქნა ტრადიციული ექსპედიცია-ექსკურსიის მეთოდი, რომლის ფარგლებში განისაზღვრა მცენარეთა გავრცელების ადგილები და შეგროვდა მასალა ჰერბარიუმისთვის და ექსპერიმენტისთვის. მცენარეული ნედლეულიდან მომზადდა მეთანოლიანი ექსტრაქტები, რომლებიც დამუშავდა BSTFA/EtAc (40:10) ნარევით და გაანალიზდა Agilent Technologies 7000 GC/MS/MS Triple Quad სისტემაზე Elite-5MS სვეტის გამოყენებით. ანალიზი განხორციელდა EI რეჟიმში (70 eV), TIC სკანირების პირობებში, ხოლო ნაერთების იდენტიფიკაცია მოხდა NIST მონაცემთა ბაზასთან შედარების საფუძველზე.

მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ *Lilium ponticum* წარმოადგენს ბიოლოგიურად აქტიური მეორადი მეტაბოლიტებით მდიდარ სახეობებს, რაც ხაზს უსვამს მათ მნიშვნელოვან ფარმაკოლოგიურ და ბიოტექნოლოგიურ პოტენციალს. აღნიშნული სახეობა განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კავკასიის მაღალმთიანი ეკოსისტემების კონტექსტში მათი ენდემურობისა და ეკოლოგიური ადაპტაციის გამო.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-88-94

УДК: 581.4:581.19

Биологически активные соединения *Lilium ponticum* K. Koch, распространённого в высокогорьях Аджарии / Д. Беридзе, А. Бакуридзе, М. Метревели, М. Джохадзе / Труды ИХМ, ГТУ. – 2026. – т. 139. – с. 88-94. – груз., резюме: груз., англ., рус.

Настоящее исследование посвящено изучению биохимического и фитохимического состава *Lilium ponticum* K. Koch, распространённого в высокогорьях Аджарии, с использованием метода GC-MS. В экстракте растения выявлены различные биологически активные соединения, включая карбоновые органические, жирные и фенольные кислоты (молочная, яблочная, галловая, протокатеховая кислоты, а также стеариновая и α -линоленовая кислоты), а также сахара (глюкозидные и фуранозидные производные, пентитол, лактоза), иридоиды (аукубин) и стероидное соединение — ситостерол.

Результаты исследования подтверждают, что *Lilium ponticum* представляет собой вид, богатый биологически активными вторичными метаболитами, что подчёркивает его потенциальное значение для фармакологических и биотехнологических исследований.

В контексте высокогорных экосистем данный вид характеризуется экологической адаптацией и эндемичным распространением, что дополнительно повышает его научную ценность.

В ходе исследования был использован традиционный экспедиционно-экскурсионный метод, в рамках которого были определены ареалы распространения растений и собран материал для гербария и экспериментальных исследований. Из растительного сырья были приготовлены метанольные экстракты, обработанные смесью BSTFA/EtAc (40:10), и проанализированные на системе Agilent Technologies 7000 GC/MS/MS Triple Quad с использованием колонки Elite-5MS. Анализ проводился в режиме электронной ионизации (EI, 70 eV) в условиях ТИС-сканирования, а идентификация соединений осуществлялась на основе сопоставления с базой данных NIST.

Полученные результаты подтверждают, что *Lilium ponticum* относится к видам, богатым биологически активными вторичными метаболитами, что подчёркивает их значительный фармакологический и биотехнологический потенциал. Данный вид имеет особую значимость в контексте высокогорных экосистем Кавказа благодаря своей эндемичности и экологической адаптации.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-95-100

უკ. 551.50.501.7

**კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ზეგავლენით აფხაზეთის მცინვარების ფირნის ხაზის
სიმაღლის ცვლილება ბოლო 60 წლის განმავლობაში
ლარისა შენგელია*, გენადი თვაური**, მარიამ შენგელია***

*სტუ-ის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

Larisa.shengelia@gmail.com

**ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ელ. ანდრონიკაშვილის ფიზიკის
ინსტიტუტი,

რეზიუმე

ფირნის ხაზის სიმაღლის გამოთვლა ყოფილი საბჭოთა კავშირის მცინვარების კატალოგისათვის (შემდგომში „კატალოგი“) ძირითადად ხდებოდა გეფერის მეთოდით. ჩვენ მიერ გეფერის ფორმულა იქნა ტრანსფორმირებული თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების მონაცემებით (თდზ) მთის მცინვარის ფირნის ხაზის სიმაღლის განსაზღვრისათვის. ამ ფორმულის გამოყენებით დათვლილია აფხაზეთის ტერიტორიაზე მდებარე მცინვარულ აუზებში ფირნის ხაზის სიმაღლეები. გამოთვლილია ბოლო 60 წლის განმავლობაში მათი ცვლილება კატალოგის, ტოპოგრაფიული რუკის, 2010, 2015 და 2020 წლების თდზ-ის მონაცემების გამოყენებით. მიღებულია დასკვნა, რომ ბოლო 60 წლის განმავლობაში (კატალოგი და ტოპოგრაფიული რუკა შედგენილია 60-იანი წლების მონაცემებით) აფხაზეთის ტერიტორიაზე ფირნის ხაზის სიმაღლის მინიმალურმა ნიშნულმა 61 მ-ით აიწია, ხოლო მაქსიმალურმა დაიწია 114 მ-ით. მაშასადამე ფირნის ხაზის სიმაღლის ქვედა საზღვარი მიახლოებით წელიწადში 1 მ-ით იწევს ზევით, ხოლო ზედა საზღვარი – 2 მ-ით ჩამოდის ქვევით. ეს უდაოდ კლიმატის თანამედროვე ცვლილებას უკავშირდება.

საკვანძო სიტყვები: აფხაზეთის მცინვარები, კლიმატის ცვლილება, ფირნის ხაზი.

შესავალი

მნიშვნელოვანი სასაზღვრო დონე, რომელიც განსაზღვრავს მცინვარების არსებობას თოვლის ხაზია. თოვლის ხაზი ანუ მუდმივი თოვლის საფრის ქვედა საზღვარი – ეს არის მიჯნა, რომლის ზემოთ დედამიწის ზედაპირზე მყარი ატმოსფერული ნალექების დაგროვება ჭარბობს მათ დნობასა და აორთქლებას ანუ მარტივად, რომ ვთქვათ, ეს არის საზღვარი, რომლის ზემოთ დევს თოვლი.

ქემმარიტი თოვლის ხაზი არის თოვლის ხაზის უმაღლესი მდებარეობა აბლაციის მიწურულს. მცინვარის ზედაპირზე მდებარე ქემმარიტი თოვლის ხაზს, ფირნის ხაზს უწოდებენ.

მცინვარებზე დაკვირვება თდზ-ის გამოყენებით უნდა წარმოებდეს დროის ისეთ შუალედში, როცა მინიმალურია თოვლის საფარი ანუ პერიოდისათვის აბლაციის მიწურულიდან ხელახალ გათოვებამდე. თანამედროვე კლიმატურ პირობებში საქართველოსათვის ეს დროითი ინტერვალია აგვისტოს ბოლოდან დაახლოებით ოქტომბრის დასაწყისამდე. მაშასადამე თდზ-ის გამოყენებით მცინვარების აბლაციის მიწურულს მიღებული ფირნის ხაზი შეესაბამება ქემმარიტი თოვლის ხაზს. აქვე უნდა აღინიშნოს, რომ მუდმივი [თოვლნარი](#)² ქვედა საზღვარი – ოროგრაფიული თოვლის მიჯნა, ზოგან ქემმარიტი თოვლის მიჯნაზე ბევრად უფრო დაბლაა.

დადგინდა, მცინვარების შესწავლა თდზ-ის გამოყენებით ეფექტური ალტერნატივაა მათი კვლევა-დაკვირვებისათვის და სხვადასხვა სამეცნიერო ამოცანის გადაჭრისათვის, მათ შორის ფირნის ხაზის განსაზღვრისათვის, რაც საფუძველია მცინვარების აბლაციის და აკუმულაციის ფართობების დაანგარიშებისათვის. ეს კი, თავის მხრივ, ბაზისია მცინვარებში არსებული მტკნარი წყლის მარაგის დადგენისათვის.

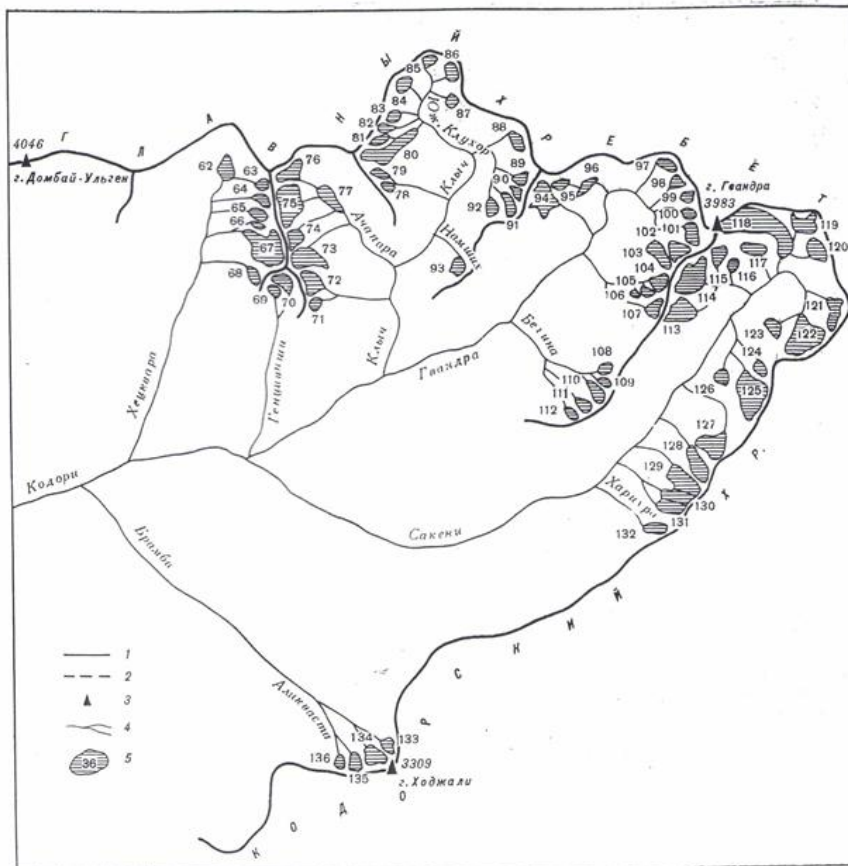
როგორც ცნობილია, ფირნის ხაზის სიმაღლის გამოთვლა მცინვარების კატალოგისათვის ძირითადად ხორციელდებოდა გეფერის მეთოდით [1]. ჩვენ მიერ ტრანსფორმირებულია გეფერის ფორმულა და მიღებულია კატალოგის და თდზ-ის მონაცემებით ფირნის ხაზის გამოთვლის მათემატიკური ფორმულა [2, 3]:

$$T_1 = (2T - M + M_1) / 2,$$

² თოვლნარი ქარისა და მზის სხივებისაგან მოფარებულ ადგილებში შემორჩენილი თოვლის, ფირნისა და ყინულის გროვაა. თოვლნარი სეზონურია, თუ ირგვლივ დადებულ თოვლზე უფრო მეტხანს ინახება, ხოლო მუდმივია, თუ მთელი წლის განმავლობაში არ დნება. თოვლნარი ხშირად მიიღება მცინვარის დეგრადაციით.

მე-2 სურ.-ზე წარმოდგენილია სქემა, რომელზეც მოყვანილია მდინარე კოდორის ზემო წელის მცინვარების №62–136 და შესაბამის მდინარეთა აუზების განლაგების სქემა:

- მდინარე კოდორის აუზის, მთავარი ქედის სამხრეთ ფერდობის მცინვარები: მდინარე ხეცკვარის აუზი №62–68, მდინარე გენცივის აუზი №69, №70, მდინარე კლიჩის აუზი №71–93, მდინარე გვანდრას აუზი №94–112;
- მდინარე კოდორის აუზის, კოდორის ქედის ჩრდილო-დასავლეთ ფერდობის მცინვარები: მდინარე საკენის აუზი №113–132, მდინარე ალიკვასტას აუზი №133–136.



სურ. 2. მდინარე კოდორის ზემო წელის მცინვარების და შესაბამის მდინარეთა აუზების განლაგების სქემა. 1 – წყალგამყოფები, 2 – ყინულგამყოფები 3 – მწვერვალები, 4 – მდინარეები, 5 – მცინვარი თავისი ნომრით.

ჩატარდა თდზ-ის გამოყენებით მცინვარების თანამგზავრული სურათების მიღება, GIS ტექნოლოგიების გამოყენებით მათი ვიზუალიზაცია და კონტურების პირველადი ასახვა. განხორციელდა კატალოგში მოცემული სქემების საფუძველზე მცინვარების იდენტიფიცირება.

აღსანიშნავია, რომ საბჭოთა კავშირის მცინვარების კატალოგის, როგორც სქემებს ისე მახასიათებლების მონაცემებს გააჩნიათ ხარვეზები, განსაკუთრებით დასავლეთ საქართველოს მცინვარებს. მაგალითად, მცინვარების კატალოგის ძირითად ცხრილში წერია, რომ №1–13 მცინვარები მდებარეობენ მთავარი ქედის სამხრეთ ფერდობზე მდინარე ბზიფის აუზში, მაგრამ ეს მდებარეობა გააჩნიათ მხოლოდ №1–7 მცინვარებს, ხოლო №8–13 მცინვარები მდებარეობენ კავკასიონის მთავარი ქედის პარალელურად, სამხრეთით მდებარე ბზიფის ქედის, ჩრდილოეთ ფერდობზე. კატალოგის ძირითადი ცხრილის მიხედვითაც ყველა მათგანი ჩრდილოეთის ექსპოზიციისა. სქემაზე ამ მცინვარების მდებარეობა სწორად არის ასახული. რაც შეეხება №14–16 მცინვარებს მცინვარების კატალოგის ძირითადი ცხრილის მიხედვით ისინი მდებარეობენ მდინარე კელასურის აუზში, ბზიფის ქედის სამხრეთ ფერდობზე, თუმცა მათ აქვთ ჩრდილო – აღმოსავლეთის ექსპოზიცია და რეალურად ისინი მდებარეობენ არა სამხრეთ, არამედ ჩრდილოეთ ფერდობზე. ასევე მცინვარების კატალოგის ძირითად ცხრილში წერია, რომ №17 მცინვარი მდებარეობს მდინარე კოდორის აუზის მდინარე ამტყელის აუზში, ჩხალთის ქედის (იგივე აფხაზეთის ქედის, ჩვ. შენიშვნა) სამხრეთ ფერდობზე, თუმცა მას აქვს ჩრდილოეთის ექსპოზიცია და რეალურად იგი მდებარეობს არა სამხრეთ, არამედ ჩრდილოეთ ფერდობზე. აგრეთვე №18–61 მცინვარები მცინვარების კატალოგის ძირითადი ცხრილის მიხედვით მდებარეობენ მდინარე ჩხალთის აუზში, მთავარი ქედის სამხრეთ

ფერდობზე. №18–60 მცინვარები მართლაც მდებარეობენ მითითებულ ტერიტორიაზე, მათგან განსხვავებით №61 მცინვარი მდებარეობს ჩხალთის ქედის ჩრდილოეთ ფერდობზე.

მიღებული გვაქვს აფხაზეთის მცინვარებზე თდზ-ით დაკვირვების სამი ვადის (2010წ., 2015წ., 2020წ.) და ტოპოგრაფიული რუკის მიხედვით მახასიათებლები: ფართობი, მორფოლოგიური ტიპები, ზოგადი ექსპოზიცია [4–8], მცინვარის მინიმალური და მაქსიმალური სიმაღლე, ფირნის ხაზის სიმაღლე, აბლაციის – არის ფართობი, რომელიც შედარებული გვაქვს კატალოგის მონაცემებთან. ფირნის ხაზის სიმაღლის საშუალებით შესაძლებელია აბლაციის და აკუმულაციის არეების დადგენა და შემდგომში მათი ფართობის განსაზღვრა.

მცინვარზე ფირნის ხაზის მდებარეობა დამოკიდებულია მყარი ატმოსფერული ნალექების რაოდენობაზე. ზღვიური ნოტიო ჰაერის უზენაღეჭიან რეგიონებში ფირნის ხაზი დაბლა მდებარეობს, ხოლო კონტინენტური ჰაერის რეგიონებში მაღლა. ამიტომ საქართველოს მცინვარების თოვლის ხაზი დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მაღლდება, რაც დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ ნალექების შემცირებასა და ჰაერის კონტინენტურობის ზრდასთან არის დაკავშირებული.

საქართველოში ყველაზე დაბლა ფირნის ხაზი ბზიფის ხეობაში მდებარეობს. ყოფილი საბჭოთა კავშირის მცინვარების კატალოგის მიხედვით დასავლეთ საქართველოში სულ 409 მცინვარია, რომლებიც ექვს მცინვარულ აუზში არიან განლაგებული [9].

ცხრილ 1-ში წარმოდგენილია აფხაზეთში (კატალოგით სულ 136 მცინვარი) მდებარე ბზიფის (№1-13), კელასურის (№14-16) და კოდორის აუზის (№17-136) მცინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლეები კატალოგის, ტოპოგრაფიული რუკების, 2010 წლის თდზ-ის (თდზ1), 2015 წლის თდზ-ის (თდზ2) და 2020 წლის თდზ-ის (თდზ3) მონაცემების მიხედვით.

ცხრილი 1. აფხაზეთის მცინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლეები კატალოგის, ტოპოგრაფიული რუკის, 2010 წ. (თდზ1), 2015 წ. (თდზ2) და 2020 წ. (თდზ3) თდზ-ის მონაცემების მიხედვით.

აფხაზეთის მცინვარები									
ფირნის ხაზის სიმაღლე (მ)									
№	კატალოგის მიხედვით მცინვარის სახელწოდება და/ №	მცინვარების მსოფლიო კატალოგში საინდენტ. №, ID	№ კატალ. სქემის მიხედ.	№ თდზ-ის მიხედ.	კატალოგის მიხედვით	ტოპ. რუკის მიხედვით	თდზ 1-ის (2010 წ.) მიხედვით	თდზ 2-ის (2015 წ.) მიხედვით	თდზ 3-ის (2020 წ.) მიხედვით
1	ხიმსა, 13a	SU5T09102012	12	12	2700	2730	2768	2774	2780
2	კელასური, 13c	SU5T09103014	14	14	2800	2785	2777	2774	2787
3	ამტყელი, 53	SU5T09103017	17	17	2720	2710	2691	2718	0000
4	მარუხი, 21	SU5T09104021	21	21a	2700	2704	2743	2894	2761
5	სამხ. სოფრუჯუ, 25	SU5T09104037	37	37	3250	2995	3020	3035	3056
6	ხუტია, 67	SU5T09104067	67	67	2900	2893	2937	2943	3003
7	გენცვიში, 69	SU5T09104069	69	69	3030	3073	3068	3107	3093
8	აჩაპარა, 73a	SU5T09104075	75	75	3000	2981	2984	3014	3069
9	კლიჩი, 77	SU5T09104080	80	80a	2850	2851	3029	3070	3054
10	ნახარი, 88a	SU5T09104091	91	91	2930	2945	2963	2971	2990
11	გვანდრა, 100	SU5T09104102	102	102a	2960	2950	2981	3036	3042
12	სამხ. გვაგვა	SU5T09104111	111	111	2940	2960	2971	2972	2975
13	საკენი, 120a	SU5T09104118	118	118a	2900	2915	2960	2973	3072
14	ჩეპარა, 125	SU5T09104125	125	125a	3000	2966	3038	3047	3144
15	ხაჯალი, 132	SU5T09104134	134	134	2900	2965	2952	2978	2986

ცხრილ 1-ში (სტატის ელექტრონულ ვერსიაში) მწვანე ფერით ნაჩვენებია ფირნის ხაზის სიმაღლე მცირე მცინვარების (ფართობი 0,1 კმ²-დან 0,5 კმ²-მდე), ნაცრისფერით – საშუალო მცინვარების (ფართობი 0,5 კმ²-დან 2,0 კმ²-მდე), ცისფერით – დიდი მცინვარების (ფართობი 2,0 კმ და მეტი), ყვითელი ფერით – 0,1 კმ²-ზე ნაკლები ფართობის მცინვარები (თოვლნარები). კატალოგში 0.1 კმ²-ზე ნაკლები ფართობის მცინვარების მახასიათებლები არ არის მოცემული.

ტოპოგრაფიული რუკის მნიშვნელობები მოგვყავს ჩვენ მიერ შედგენილი მცინვარების ელექტრონული ატლასიდან <https://www.ecohydmnet.ge/Glaciers-atlas.html>, რადგან კატალოგის მნიშვნელობები ზოგჯერ არაა სანდო, აგრეთვე გვჭირდება საექსპერტო ცოდნა. ცხრილში შეტანილი ფირნის სიმაღლის საექვო მნიშვნელობები გაწითლებულია.

ცხრილი 1-ის მიხედვით, კატალოგით აფხაზეთის მცინვარებიდან ფირნის ხაზი ყველაზე დაბლა, **2700** მ-ის სიმაღლეზეა მდებარე (№12 ხიმსა) და კოდორის აუზში (№21 მარუხი). ყველაზე მაღლა ფირნის ხაზი მდებარეობს 3250 მ-ზე კოდორის აუზში (№37 სამხ. სოფრუჯუ), თუმცა ეს მნიშვნელობა გადამოწმებულია ტოპოგრაფიული რუკის საშუალებით და იგი უდრის 2995 მ-ს. რაც არ არის ყველაზე მაღალი მნიშვნელობა. ყველაზე მაღლა ფირნის ხაზი მდებარეობს **3030** მ-ის სიმაღლეზე კოდორის აუზში (№69 გენცვიში).

ამავე ცხრილის მიხედვით 2020 წლის მონაცემებით აფხაზეთის მცინვარებიდან ფირნის ხაზი ყველაზე დაბლა, **2761** მ-ის სიმაღლეზეა კოდორის აუზში (№21 მარუხი), ხოლო ყველაზე მაღლა **3144** მ-ზე კოდორის აუზში (№144 ჩეპარა).

დასკვნა

ამგვარად, მიახლოებით 60 წლის განმავლობაში (კატალოგი შედგენილია 60-იანი წლების მონაცემებით) აფხაზეთის ტერიტორიაზე ფირნის ხაზის სიმაღლის მინიმალურმა ნიშნულმა 61 მ-ით აიწია, ხოლო მაქსიმალურმა დაიწია 114 მ-ით. მაშასადამე ფირნის ხაზი სიმაღლის ქვედა საზღვარი მიახლოებით წელიწადში 1 მ-ით იწევს ზევით, ხოლო ზედა საზღვარი – 2 მ-ით ჩამოდის ქვევით. ეს უდაოდ კლიმატის თანამედროვე ცვლილებას უკავშირდება.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. R. Gobejshvili, V. Kotlyakov. Glaciology (2006). Tbilisi: Universal, - 291.
2. L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, M. Dzadzamia. Determination of the firm line elevation of mountain glaciers based on satellite remote sensing data. Transactions of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University. 2016, vol.123, pp. 77-82 (in Georgian).
3. L.D. Shengelia, G.I. Kordzakhia, G.A. Tvauri, M.SH. Dzadzamia. Determination of the firm line of mountain glaciers according to satellite remote sensing. Collective monograph on the materials of International Scientific-Practical Conference LXIX Herzen readings 21-23 April 2016. Publishing house of the Russian State Pedagogical Univ. named after A.I. Herzen, Russia, St. Petersburg. 2016, pp.199–205 (in Russian).
4. Kordzakhia G., Shengelia L., Tvauri G., Dzadzamia M., Guliashvili G., Beridze S. Research of Abkhazian glacier retreat in the context of ongoing climate change using satellite remote sensing. Transactions IHM, GTU. 2023, vol. 133, pp. 38-43 (in Georgian).
5. G. Kordzakhia, L. Shengelia, G. Tvauri, M. Dzadzamia, G. Guliashvili, S. Beridze. Glacial basins degradation dynamics research in the Autonomous Republic of Abkhazia. Vitková, J., Botyanszká, L. (eds.), 2022. Interdisciplinary Approach in Current Hydrological Research. 29th POSTER DAY, International Conference, 09-17 November 2022. Institute of Hydrology, Slovak Academy of Sciences (IH SAS) Bratislava, Slovakia. E-Book, 2022, pp. 195–203.
6. Kordzakhia G. I., Shengelia L. D., Tvauri G. A., Guliashvili G. N, Beridze S. T. Complex study of the current state of glaciers in the occupied territory of Georgia (Autonomous Republic of Abkhazia) using satellite remote sensing. International Scientific Conference “Modern Problems of Ecology”, Proceedings, Batumi Shota Rustaveli State University, 2022, vol. 8, pp. 64-70. Publisher: Prensip Publishing, 2022, pp. 51–58, (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, proceedings book, 20-22 September 2023, Trabzon/TÜRKİYE Karadeniz Technical University. 2023, pp. 51–58.
8. L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, G. Guliashvili, S. Beridze. The results of satellite remote observation on the morphology and exposure of glaciers in the Autonomous Republic of Abkhazia in last decade. ”Science and technologies“ scientific reviewed magazine, Publishing House ”Technical University“, Tbilisi, Georgia, 2022, pp. 28–38, (in Georgian).
9. L. I. Maruashvili, G. M. Kurdgelaidze, T. A. Lashkhi, SH. V. Inashvili, Katalog lednikov SSSR, T. 9, vip. 1, ch. 2-6, L: Gidrometeoizdat, 1975, - 86 (in Russian).

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-95-100

UDC: 551.50.501.7

Changes in the height of the firm line of Abkhazian glaciers over the last 60 years under the influence of modern climate change / Larisa Shengelia, Genadi Tvauri, Mariam Shengelia / Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.95-100. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The firm line elevation calculation for the glacier inventory of the former Soviet Union was conducted primarily using the Gefer method. Gefer's formula was transformed to determine the firm line elevation of mountain glaciers

using satellite remote sensing (SRS) data. The firm line altitudes of glacier basins located in Abkhaz a were calculated using this formula. These calculations were performed over the past 60 years using the inventory, topographic maps and SRS data for 2010, 2015 and 2020 years. It has been concluded that over the past 60 years (the catalog and topographic map were compiled based on data from the 1960s), the minimum elevation of the firm line in Abkhazia has risen by 61 m, while the maximum has fallen by 114 m. Thus, the lower boundary of the firm line is rising by approximately 1 m. per year, while the upper boundary is falling by 2 m. This is undoubtedly related to modern climate change.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-95-100

УДК: 551.50.501.7

კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ზეგავლენით აფხაზეთის მყინვარების ფირნის ხაზის სიმაღლის ცვლილება ბოლო 60 წლის განმავლობაში/ლარისა შენგელია, გენადი თვაური, მარიამ შენგელია/სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.95-100. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ფირნის ხაზის სიმაღლის გამოთვლა ყოფილი საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგისათვის ძირითადად ხდებოდა გეფერის მეთოდით. ჩვენ მიერ გეფერის ფორმულა იქნა ტრანსფორმირებული თანამედროვე დისტანციური ზონდირების მონაცემებით (თდზ) მთის მყინვარის ფირნის ხაზის სიმაღლის განსაზღვრისათვის. ამ ფორმულის გამოყენებით დათვლილია აფხაზეთის ტერიტორიაზე მდებარე მყინვარულ აუზებში ფირნის ხაზის სიმაღლეები. გამოთვლილია ბოლო 60 წლის განმავლობაში მათი ცვლილება კატალოგის, ტოპოგრაფიული რუკის, 2010, 2015 და 2020 წლების თდზ-ის მონაცემების გამოყენებით. მიღებულია დასკვნა, რომ ბოლო 60 წლის განმავლობაში (კატალოგი და ტოპოგრაფიული რუკა შედგენილია 60-იანი წლების მონაცემებით) აფხაზეთის ტერიტორიაზე ფირნის ხაზის სიმაღლის მინიმალური ნიშნული 61 მ-ით აიწია, ხოლო მაქსიმალური დაიწია 114 მ-ით. მასასადამე ფირნის ხაზის სიმაღლის ქვედა საზღვარი მიახლოებით წელიწადში 1 მ-ით იწევს ზევით, ხოლო ზედა საზღვარი – 2 მ-ით ჩამოდის ქვევით. ეს უდაოდ კლიმატის თანამედროვე ცვლილებას უკავშირდება.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-95-100

УДК: 551.50.501.7

Изменения высоты фирновой линии абхазских ледников за последние 60 лет под влиянием современных климатических изменений / Лариса Шенгелия, Геннадий Тваური, Мариам Шенгелия / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. - том 139. - с.95-100. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Расчет высоты фирновой линии для каталога ледников бывшего Советского Союза проводился в основном с использованием метода Гефера. Формула Гефера была трансформирована для определения высоты фирновой линии горного ледника по данным спутникового дистанционного зондирования (СДЗ). Используя эту формулу, были рассчитаны высоты фирновой линии в ледниковых бассейнах, расположенных на территории Абхазии. Их изменения за последние 60 лет были рассчитаны с использованием каталога, топографической карты и данных СДЗ за 2010, 2015 и 2020 годы. Сделан вывод, что за последние 60 лет (каталог и топографическая карта составлены на основе данных 1960-х годов) минимальная высота фирновой линии на территории Абхазии поднялась на 61 м, а максимальная опустилась на 114 м. Таким образом, нижняя граница фирновой линии примерно поднимается на 1 метр в год, а верхняя граница - опускается на 2 м. Это, несомненно, связано с современным изменением климата.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-101-105

UDC: 551.576

Analysis of Atmospheric Instability Indices and Vertical Profiles during Strong Convective Events

Inga Samkharadze, Marika Tatishvili, Nanuli Zotikishvili

Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University

i.samkharadze@gtu.ge

Abstract

The study discusses the assessment of atmospheric instability in the territory of Eastern Georgia using three indices – CAPE, K-index and Total Totals – based on ERA5 data. Several real extreme days were selected, on the basis of which, along with the assessment of instability indices, we considered vertical profiles of atmospheric parameters according to humidity and wind speed data. The correlation between the indices was assessed for the selected days. The study showed that there is a strong correlation between some indices, which indicates the effectiveness of the joint use of the presented indices for studying convective processes. The obtained results confirm that combining these indices with vertical profile data provides a better assessment of convective activity. The study emphasizes the importance of ERA5 in the analysis of extreme weather events, and the knowledge obtained can be used both in scientific research and in practical meteorological analysis and forecasting.

Keywords: Atmospheric Instability, Vertical Profile, CAPE, K-index, Total Totals, Extreme Days.

Introduction

Atmospheric instability is one of the main factors determining the development of convective processes. Such processes are often associated with extreme weather events and their study is important from both theoretical and practical points of view. In modern meteorology, special attention is paid to the vertical distribution of atmospheric parameters and the use of thermodynamic indices. These indices allow assessing the stability of the atmosphere and the potential for convective activity. The aim of the study is to analyze three instability indices based on real extreme days, to study vertical profiles and to determine the correlation between these indices. The issues of atmospheric stability and instability are widely discussed in the meteorological literature. Vertical profiles, which describe the change in temperature and humidity with height, are one of the main tools for assessing convective processes. Instability indices, such as CAPE (Convective Available Potential Energy), K-index and Total Totals, are widely used in weather analysis and forecasting. CAPE determines the potential energy of an air particle during upward motion, while K-index and Total Totals reflect the combined influence of humidity and temperature on atmospheric instability [1-3].

Modern studies actively use reanalytical data, including ERA5, developed by the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts. These data provide high resolution of atmospheric parameters and are widely used in both global and regional studies. In international studies, authors also indicate that the joint use of indices is more effective than their separate analysis, especially when they are considered together with the vertical atmospheric structure [4-7].

Data and Methods

The study used three main instability indices: CAPE, K-index, Total Totals. Real extreme days were selected for the analysis, according to which a detailed study of atmospheric conditions was carried out. Vertical profiles were constructed at different pressure levels and included the following parameters: temperature, relative humidity, wind speed and direction. Based on these data, an assessment of the atmospheric structure was carried out by height. At the final stage of the study, a correlation analysis was performed, the purpose of which was to determine the relationship between the instability indices.

Results

The results showed that during extreme days the thermodynamic indices considered by us increase significantly, which indicates the strengthening of atmospheric instability. Analysis of vertical profiles revealed high values of humidity in the lower layers of the atmosphere, a sharp change in the numerical value and direction of the wind throughout the height of the troposphere. These factors together create conditions for the development of convective activity.

Fig. 1 shows the distribution of convective instability energy over the territory of Eastern Georgia at the time when strong convective clouds formed in the mentioned area, namely in Telavi and Gurjaani. As can be seen from Fig. 1, CAPE is maximum in this area and its value is more than 1700 J/kg, which corresponds to the state of average instability (Cumulonimbus clouds (Cb) with heavy rains, thunderstorms). Fig. 2 shows the distribution of TT and K indices for the same day over the territory of Eastern Georgia. As can be seen from Fig. 2, the mentioned indices reach their maximum value in some regions of Kakheti and their value also corresponds to the unstable state of the atmosphere (TT>55).

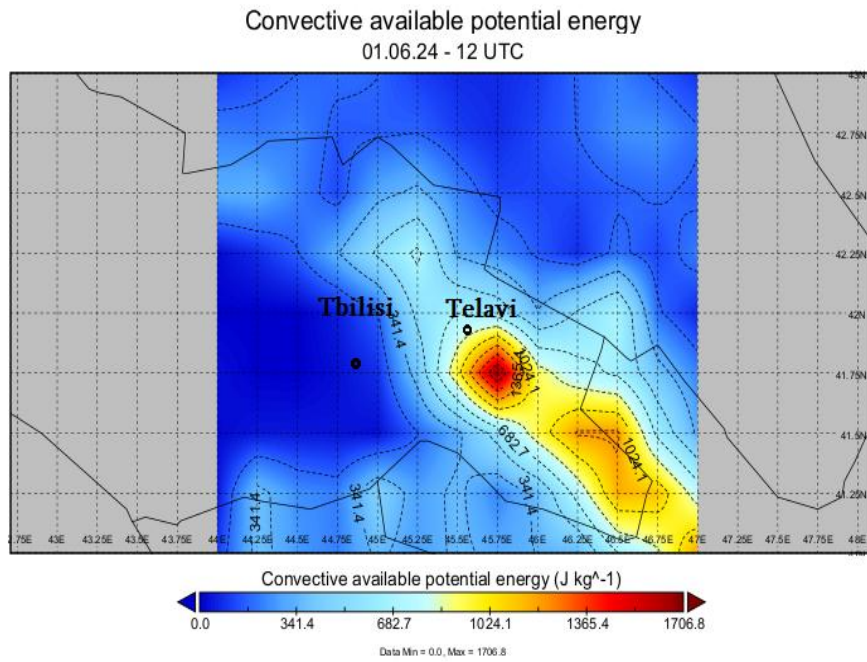


Fig. 1. Convective instability energy (CAPE, J/kg).

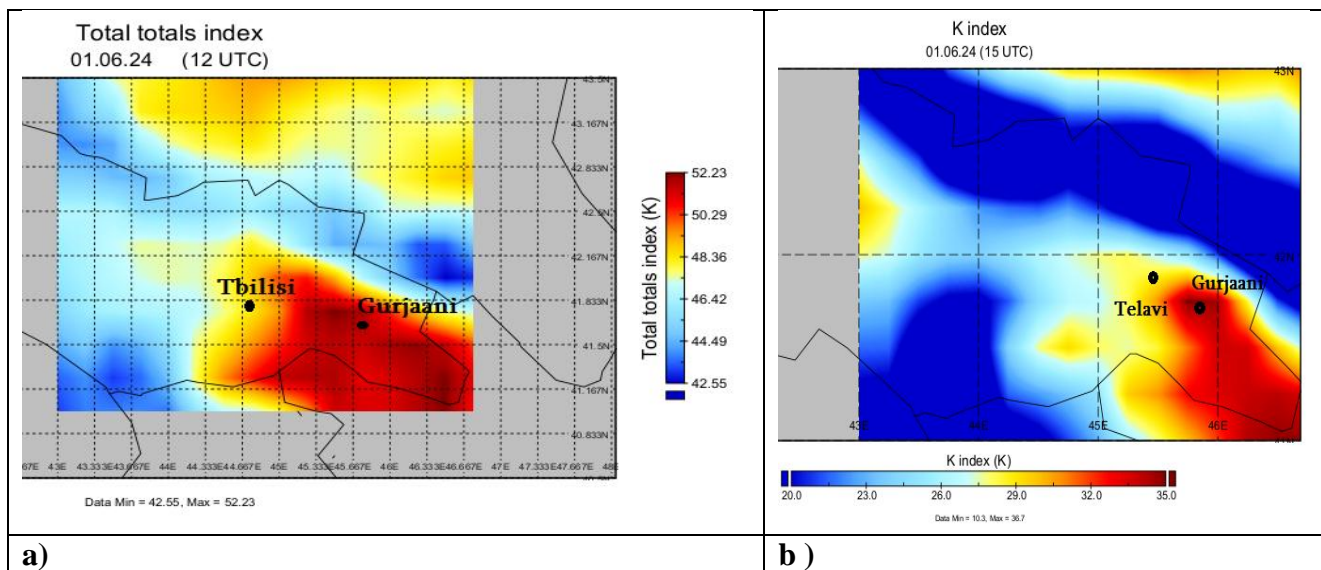


Fig.2 Distribution of TT and K indices ((a)-TT Index, (b)-K Index).

The correlation analysis conducted between the volatility indices showed significant statistical relationships. A strong positive relationship was revealed between Total Totals and the K-index (0.9), while the correlation between CAPE and the other two indices is very low (0.3). The obtained result can be explained by the fact that the TT and K indices describe the behavior of the atmosphere at only a few levels (temperature and humidity at the levels of 850, 700, 500 mb), while the CAPE index describes the vertical behavior of the atmosphere at the entire height. Therefore, it is natural that there is a high correlation between the TT and K indices. However, it should be noted that the combined use of the indices increases the accuracy of the analysis (Fig. 3,4).

Fig. 5 and Fig. 6 presents the distribution of K and TT indices during the day for selected days when convective cloud formation occurred in the Kakheti region. As can be seen from Figure 5-6, the maximum values of the indices are recorded at 12-15 UTC, when the soil temperature is high and it is a favorable time for the formation of convective clouds.

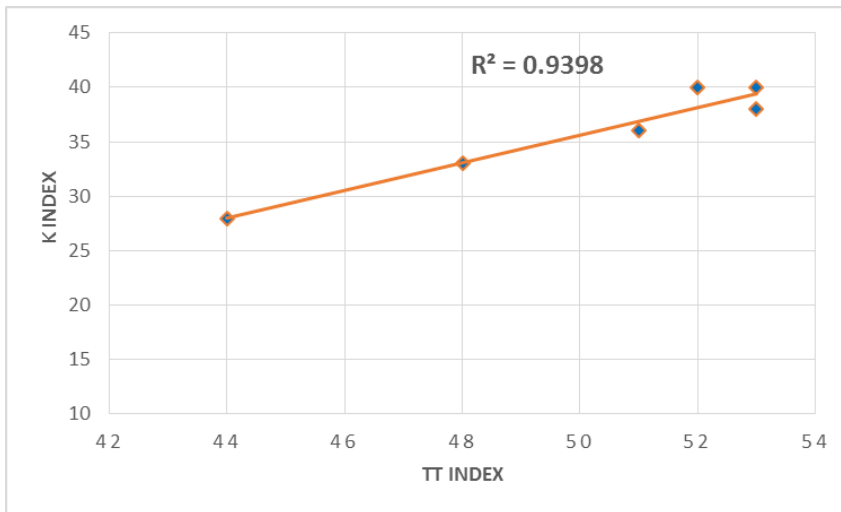


Fig. 3 Correlation between K index and TT.

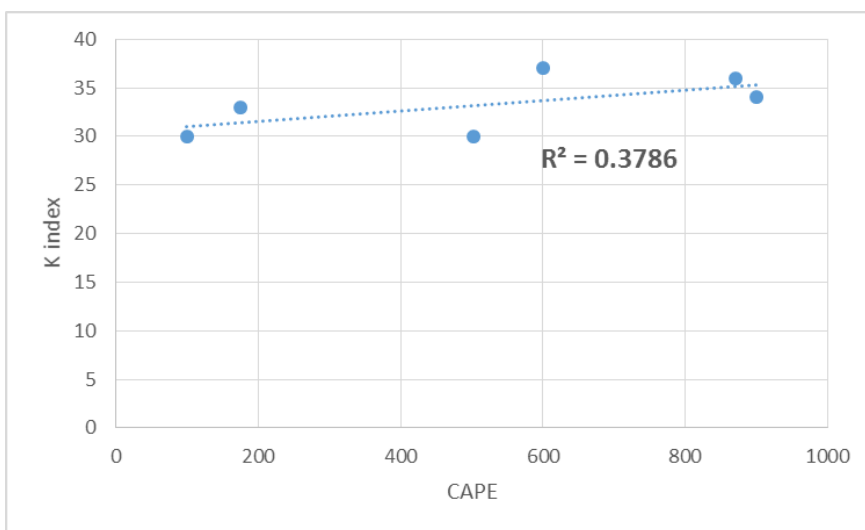


Fig. 4 Correlation between K index and CAPE.

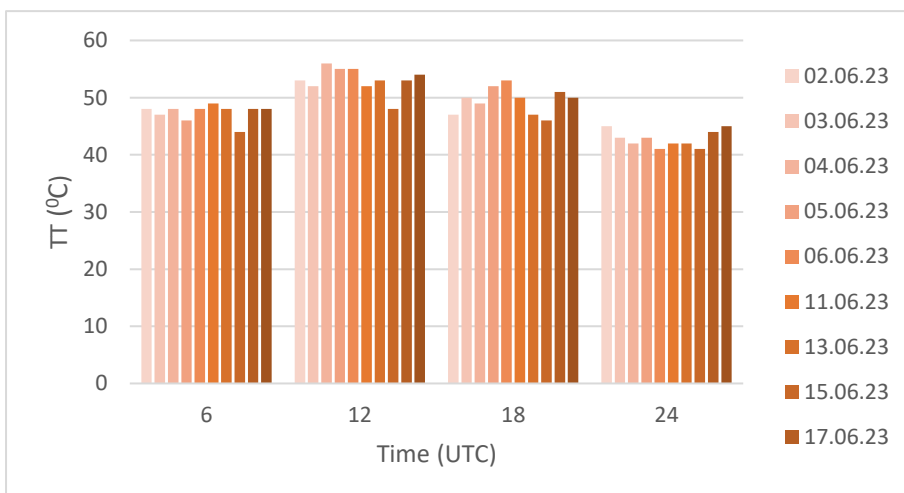


Fig. 5 Distribution of TT index during the day for selected days.

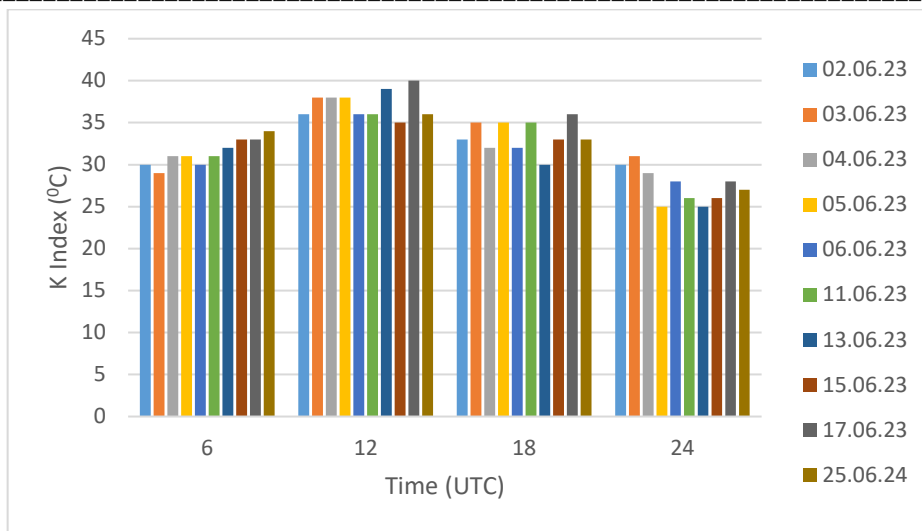


Fig.6 Distribution of K index during the day for selected days.

The results obtained confirm that instability indices are an effective tool for studying atmospheric processes. However, since we are considering local convective processes, high-precision data are required for thermodynamic analysis of the atmosphere, but it should be noted that ERA5 data also showed atmospheric instability quite accurately on the presented days.

Conclusion

The article presented three indices reflecting the thermodynamic state of the atmosphere for selected days. In particular, we considered the CAPE, TT, K indices for some regions of Eastern Georgia, when strong convective processes occurred in the mentioned area. The study showed that instability indices are an important tool for assessing convective processes. Vertical profiles provide a detailed analysis of the atmospheric structure, and the correlation between the indices indicates their close relationship. The results obtained can be used both in scientific research and in practical meteorological analysis.

ლიტერატურა-REFERENCES

- Hernandez E & Diaz J. Analysis of the atmosphere behavior in the proximities of an orographic obstacle”//Nonlinear Processes in Geophysics. 1995, 2, pp. 30-48.
- Rolph G., Stein Ar., Stunder B. Real-time Environmental Applications and Display sYstem//READY. Environmental Modelling & Software. 2017, 95. pp. 210-228. www.elsevier.com/locate/envsoft.
- Blanchard D.O. Assessing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy//American Meteorological Society. 1998, pp. 870-877. NOAA/National Severe Storms Laboratory, Boulder, Colorado. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1998\)0132.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1998)0132.0.CO;2)
- Davitashvili T, Samkharadze I, Megreladze L, Kvatadze R. Using modern technology to protect vineyards from hail amid climate change”//2020, E3S Web of Conferences. [https:// www.e3sconferences.org/arti- cles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf_ icies2020_ 00034/e3sconf_ icies2020_ 00034](https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/10/e3sconf_icies2020_00034/e3sconf_icies2020_00034)
- Amiranashvili A., Chikhladze V., Kekenadze E., Pipia M., Samkharadze I., Telia Sh., Varamashvili N., Meteorological conditions for the tornado formation in Kakheti (Georgia) on June 25, 2024. / International Scientific Conference “Complex Geophysical Monitoring in Georgia: History, Modern Problems, Promoting Sustainable Development of the Country”, Proceedings, ISBN 978-9941-36-272-9, Tbilisi, Georgia, October 17-19, 2024
- Davitashvili T, Samkharadze I, Amiranashvili A . Modelling Extreme Meteorological Processes Posing a Risk to Agriculture Under Modern Climate Change. Reliability: Theory & Applications 20 (SI 9 (87)), 619-628
- Tatishvili M, Samkharadze I, Elbakidze K, Kapanadze N. Using of Thermodynamic Indices to Characterize Tornadoes Under Climate Change Conditions. International Journal of Sustainability and Risk Control. 2 (1), 65-69.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-101-105

უკ: 551.576

ატმოსფერული არამდგრადობის ინდექსებისა და ვერტიკალური პროფილების ანალიზი ძლიერი კონვექციური მოვლენების დროს /ინგა სამხარაძე, მარიკა ტატიშვილი, ნანული ზოტიკიშვილი /სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ. 101-105. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

კვლევაში განხილულია აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ატმოსფეროს არამდგრადობის შეფასება სამი თერმოდინამიკური ინდექსის – CAPE, K-index და Total Totals გამოყენებით. შეირჩა რამდენიმე რეალური ექსტრემალური დღე, რის საფუძველზეც არამდგრადობის ინდექსების შეფასებასთან ერთად განვიხილეთ ატმოსფერული პარამეტრების ვერტიკალური პროფილები ტენიანობისა და ქარის სიჩქარის მონაცემების მიხედვით. შერჩეული დღეებისათვის შეფასებულია ინდექსებს შორის კორელაციური კავშირი. კვლევამ აჩვენა რომ ზოგიერთ ინდექსს შორის არსებობს ძლიერი კორელაციური კავშირი, რაც მიუთითებს წარმოდგენილი ინდექსების ერთობლივი გამოყენების ეფექტურობაზე კონვექციური პროცესების შესასწავლად. მიღებული შედეგები ადასტურებს, რომ ამ ინდექსების კომბინირება ვერტიკალური პროფილების მონაცემებთან უზრუნველყოფს კონვექციური აქტივობის უკეთ შეფასებას. კვლევა ხაზს უსვამს ERA5-ის მნიშვნელობას ექსტრემალური ამინდის მოვლენების ანალიზში, ხოლო მიღებული ცოდნა შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც სამეცნიერო კვლევებში, ასევე პრაქტიკულ მეტეოროლოგიურ ანალიზსა და პროგნოზირებაში.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-101-105

УДК: 551.576

Анализ индексов атмосферной неустойчивости и вертикальных профилей во время сильных конвективных явлений /Инга Самхарадзе, Марика Татишвили, Нанули Зотикшвили/Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.101-105. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В исследовании рассматривается оценка атмосферной неустойчивости на территории Восточной Грузии с использованием трех индексов – CAPE, K-индекса и ТТ. Было выбрано несколько реальных экстремальных дней, на основе которых, наряду с оценкой индексов неустойчивости, были рассмотрены вертикальные профили атмосферных параметров по данным о влажности и скорости ветра. Для выбранных дней была оценена корреляция между индексами. Исследование показало наличие сильной корреляции между некоторыми индексами, что указывает на эффективность совместного использования представленных индексов для изучения конвективных процессов. Полученные результаты подтверждают, что сочетание этих индексов с данными вертикального профиля обеспечивает более точную оценку конвективной активности. Исследование подчеркивает важность ERA5 в анализе экстремальных погодных явлений, а полученные знания могут быть использованы как в научных исследованиях, так и в практическом метеорологическом анализе и прогнозировании.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-101-105

UDC: 551.576

Analysis of Atmospheric Instability Indices and Vertical Profiles during Strong Convective Events /Inga Samkharadze, Marika Tatishvili, Nanuli Zotikishvili/ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.101-105. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The study discusses the assessment of atmospheric instability in the territory of Eastern Georgia using three indices – CAPE, K-index and Total Totals – based on ERA5 data. Several real extreme days were selected, on the basis of which, along with the assessment of instability indices, we considered vertical profiles of atmospheric parameters according to humidity and wind speed data. The correlation between the indices was assessed for the selected days. The study showed that there is a strong correlation between some indices, which indicates the effectiveness of the joint use of the presented indices for studying convective processes. The obtained results confirm that combining these indices with vertical profile data provides a better assessment of convective activity. The study emphasizes the importance of ERA5 in the analysis of extreme weather events, and the knowledge obtained can be used both in scientific research and in practical meteorological analysis and forecasting.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-106-111

UDC.551.46.551.583

Black Sea Environmental Innovative Monitoring System Kordzakhia Marina

National Environmental Agency of the Ministry
marina.kordzakhia@nea.gov.ge

Abstract

The Black Sea is a highly sensitive, semi-enclosed marine ecosystem exposed to significant anthropogenic pressures, including pollution, climate change, and coastal development. The Black Sea Smart Marine Environmental Outcome System (BS-SEOS), supported by the INTERREG NEXT Black Sea Basin Programme, an innovative framework designed to improve monitoring and management of one of the world's most sensitive marine ecosystems. The system integrates uncrewed surface vehicles equipped with multisensory instruments to collect high-resolution, real-time data on key environmental parameters, including temperature, pH, dissolved oxygen, and chlorophyll-a. These observations are processed through a structured data pipeline and analyzed using advanced AI models to predict ecological risks such as hypoxia and harmful algal blooms. By enabling continuous, transnational data sharing and early warning capabilities, BS-SEOS supports informed decision-making and proactive environmental management. The project enhances regional cooperation, strengthens ecosystem resilience, and contributes to sustainable development and long-term protection of the Black Sea.

Keywords: Black Sea, Climate Change, Innovative Monitoring, AI forecasting, uncrewed surface vehicles - drones

Introduction

The Black Sea is one of the most unique and sensitive marine ecosystems in the world. Almost entirely enclosed, shared by six countries, and strongly influenced by human activity, it reacts faster to environmental pressure than open oceans. Pollution, climate change, overfishing, coastal development, and geopolitical complexity have placed the Black Sea under constant stress. At the same time, rapid advances in technology are creating new opportunities to understand, monitor, and protect this vulnerable sea. Even small changes in temperature, nutrient input, or circulation can trigger large-scale ecological consequences such as algal blooms, biodiversity loss, or ecosystem collapse. Traditional monitoring methods: coastal line, ship-based measurements. The Black Sea requires multidirectional continuous, real-time, and transnational observation to detect changes early and respond effectively. Black Sea Smart Marine Environmental Outcome System: BS-SEOS project initiated under financial support of INTERREG NEXT Black Sea Basin funding mechanism in order to address these challenges by establishing a comprehensive, reliable, and integrated environmental monitoring system for the Black Sea Basin. BS-SEOS project designed to enhance the health and sustainability of the Black Sea. The Innovative Environmental Monitoring System, by leveraging cutting-edge AI forecasting and uncrewed surface vehicles - drones, will collect, analyze, and share critical environmental data across borders, ensuring a resilient and thriving marine ecosystem.

Innovative monitoring system

BS-SEOS is a collaborative project aimed at enhancing the understanding of the Black Sea's ecosystem by collecting and sharing environmental data. Using innovative technologies like uncrewed surface vehicles (USV) - drones (**Figure 1. USV-drone's System**), the project facilitates continuous monitoring of key marine parameters such as:

- Temperature: Measuring range -5° to $+40^{\circ}\text{C}$ (Accuracy $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$);
- Conductivity: Measuring range 0 – 200 mS/cm (Accuracy $\pm 1\%$);
- Dissolved Oxygen: Optical sensor, range 0 – 40.00 mg/L;
- pH: Accuracy ± 0.2 pH;
- Chlorophyll-a: Optical with autoscaling, range 0 – 500 $\mu\text{g/l}$.

Calculated Parameters:

- Salinity, Water Resistivity, Total Dissolved Solids, Water Density.

Data Acquisition:

- Multi-GNSS receiver for precise positioning;
- Sampling rate: At least one measurement every 30 seconds.

The drone-mobile stations will be used along the coast and will monitor selected physical and chemical parameters via multi sensors from three vertical depths including surface, 5m, and 10m, for water quality assessment in bathing areas. It will provide immediate data acquisition in case of risk events (accidental pollution, algal blooms, etc.) regarding physical and chemical parameters.

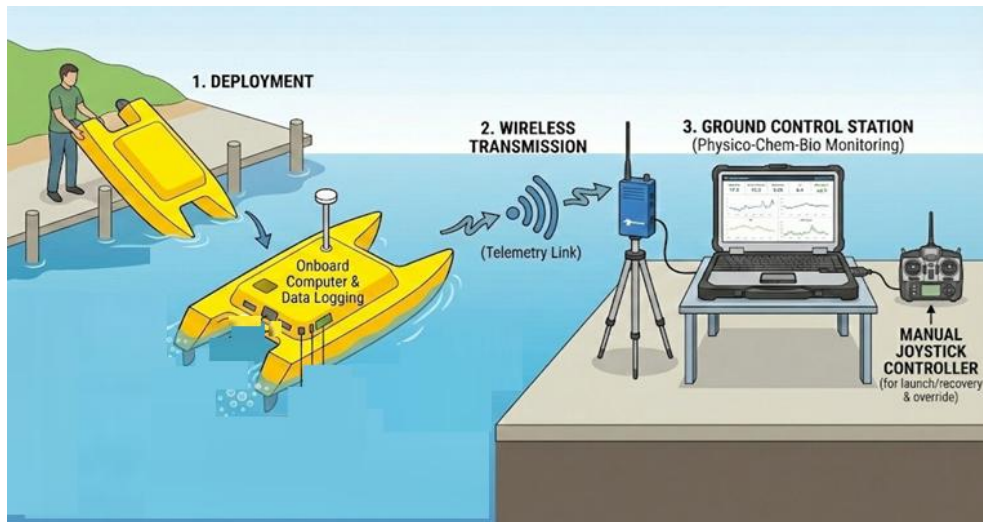


Fig. 1. USV-Drone's System

In Georgia drone-mobile stations will be used along the coast in *Sarpi* and *Poti* areas (**Figure 2. USV-drones Location in Georgia**) is based on their strategic significance, water quality, transboundary impacts, and the need for robust water quality data to support environmental management and will monitor selected physical and chemical parameters.

- **Sarpi**: Located at the Georgia-Turkey border, Sarpi experiences heavy cross-border traffic, including trucks, passenger vehicles, and maritime activities;
- **Poti**: As a major port city, Poti has intense shipping activities, industrial operations, and energy production;

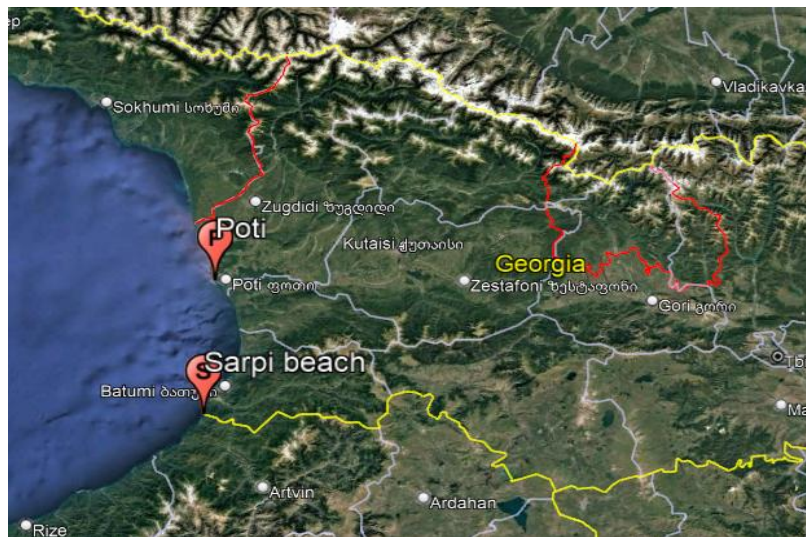


Fig. 2. USV-drones Location in Georgia

Research object and methodology

Using a multifunctional drone to measure water and air parameters—pH, Chlorophyll a, dissolved oxygen (DO), and water and air temperature—represents an innovative and efficient solution of Black Sea environmental monitoring system.

pH – Water pH directly reflects changes in marine acidity, which are linked both to increasing CO₂ levels (ocean acidification) and to industrial and domestic discharges;

Chlorophyll a – Chlorophyll is the main indicator of phytoplankton biomass. Its monitoring is essential for: detecting eutrophication processes; early prediction of algal blooms; and assessing marine productivity;

DO - (Dissolved Oxygen) – The level of dissolved oxygen determines the biological viability of marine ecosystems. Its depletion leads to the formation of “dead zones,” posing a threat to fish and other organisms. A drone enables rapid detection of hypoxic zones and real-time monitoring of their dynamics;

Water Temperature – Water temperature affects chemical reactions, oxygen solubility, and biological processes. Detailed mapping of sea surface temperature using drones is particularly important for: monitoring climate change; identifying thermal stress zones; and predicting biological processes;

Simultaneous Measurement of Air and Water Temperature – Measuring both simultaneously allows for a better understanding of energy and heat exchange processes at the sea surface. These data are important for both meteorological and ecological modeling.

BS-SEOS data flow for Mobile Multisensory Stations-drones: All sensor data will be transmitted to the ground stations, from the ground station to partner’s local premises for data formatting/standardization and data quality control. Standardized and Quality Controlled datasets will be transmitted, in delayed mode, to the Joint BS-SEOS Data Center developed by Istanbul University) to be integrated into the BS-SEOS database and further on the BS-SEOS Dashboard and AI models. Standardized and Quality Controlled datasets will be submitted, by each partner, (via EMODnet Data Ingestion) to the SeaDataNet/EMODnet thematics as it is illustrated in Figure 3 below.

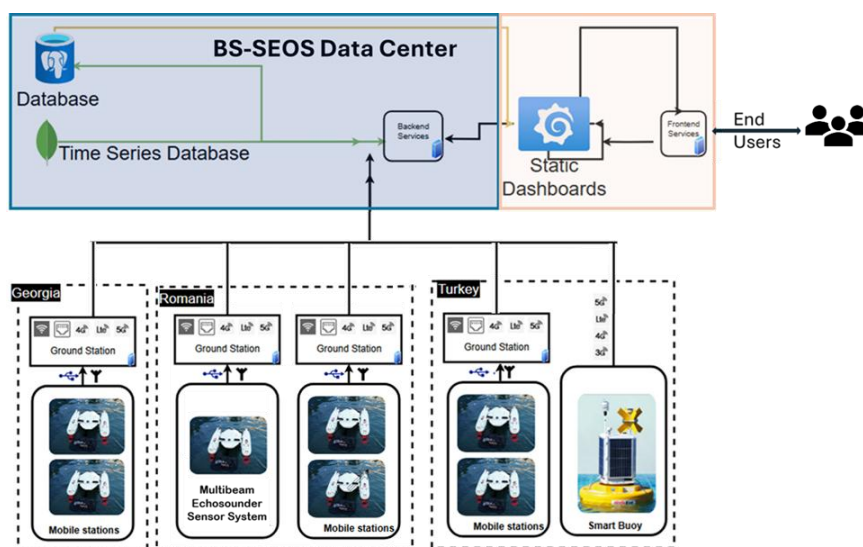


Fig. 3. Drone-Mobile Stations Data Flow

AI-driven marine risk prediction in the BS-SEOS framework follows a structured five-stage pipeline. Each stage transforms the raw observational data into a form progressively closer to operational environmental intelligence.

Stage 1 — Data Ingestion & Quality Control

Raw sensor streams — CTD profiles, dissolved oxygen time-series, chlorophyll fluorescence, meteorological parameters, satellite SST, and river discharge records — are ingested into the BS-SEOS data system. Automated quality control (QC) algorithms flag outliers, detect sensor drift signatures, and interpolate short gaps using ensemble Kalman filter methods. Mihailov et al. (2020) established a Romanian hydrodynamic index framework that underpins the QC procedures applied to NW shelf data.

Stage 2 — Feature Engineering

Raw measurements are transformed into model-ready features. This includes temporal lagging (values from the previous 7–14 days are included as predictors), spatial averaging across sensor network nodes, anomaly computation relative to climatological baselines, and derived physical indices such as the Mixed Layer Depth (MLD) and the Brunt–Väisälä frequency (a measure of stratification strength). Mihailov (2024) demonstrated that upwelling indices derived from

ECMWF reanalysis wind fields are among the strongest predictors of near-surface nutrient anomalies on the western Black Sea shelf.

Stage 3 — Model Training & Inference

Multiple AI model architectures are trained on historical data (typically 2010–2022 for the Black Sea) and evaluated on held-out test periods. As detailed in Section 3, the primary architectures employed are LSTM (Long Short-Term Memory) networks for temporal sequence modelling, CNN-LSTM hybrids for spatiotemporal prediction, and XGBoost ensemble methods for tabular risk classification tasks. Mihailov and colleagues demonstrated the superiority of CNN approaches over classical ARIMA models for sea level forecasting (Mihailov et al., 2021), a finding replicated across DO and HAB prediction tasks.

Stage 4 — Risk Scoring

Model outputs are converted into standardised risk scores (0–1) for three primary hazards: hypoxia probability, HAB outbreak probability, and anomalous upwelling intensity. Calibrated uncertainty bounds are computed using ensemble prediction intervals or Monte Carlo dropout, ensuring that risk scores communicate not just a prediction but its reliability.

Stage 5 — Decision Support & Feedback

Risk scores feed into an operational dashboard accessible to environmental managers, fisheries authorities, and researchers. Alert thresholds trigger automated notifications when hypoxia probability exceeds 0.65 or HAB risk score exceeds 0.70. Observed outcomes are logged and fed back into the retraining pipeline, enabling continuous model improvement — a critical capability in a system whose underlying dynamics are themselves changing under climate forcing.

Results

Project's outcomes

- Development of a centralized platform for sharing regional environmental data • Enhanced collaboration among scientists, policymakers, and industries
- Improved monitoring and assessment of marine ecosystem health
- Informed decision-making for conservation and sustainable practices
- Increased public awareness about the importance of marine ecosystem health
- strengthened resilience to environmental challenges in the Black Sea region

Conclusion

The Black Sea stands at a critical intersection of environmental vulnerability and technological opportunity. As a semi-enclosed and highly sensitive marine basin, its health depends on the ability of surrounding nations to monitor changes continuously, respond rapidly, and cooperate effectively. The BS-SEOS project demonstrates how innovation can transform traditional environmental monitoring into a dynamic, real-time, and data-driven system. By integrating uncrewed surface vehicles, advanced multisensory measurements, and AI-based forecasting models, the project provides a comprehensive framework for understanding complex marine processes and anticipating ecological risks.

Through its structured data pipeline and cross-border collaboration, BS-SEOS not only enhances the accuracy and availability of environmental data but also supports timely decision-making and proactive management. The system's ability to detect early warning signals—such as hypoxia events, algal blooms, or temperature anomalies—represents a significant step toward preventing large-scale ecological damage.

Ultimately, the success of BS-SEOS lies in its holistic approach: combining science, technology, and regional cooperation to safeguard the Black Sea ecosystem. By strengthening resilience, promoting sustainability, and increasing public and institutional awareness, the project contributes to a more stable and thriving marine environment. Continued development and expansion of such integrated monitoring systems will be essential for ensuring the long-term health of the Black Sea in the face of growing environmental and climatic pressures.

AI-driven risk prediction in BS-SEOS directly serves the EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD), which requires Member States to achieve and maintain Good Environmental Status (GES) in their marine waters. Early prediction of hypoxic events, harmful algal blooms, and upwelling anomalies enables pre-emptive management actions — adjusting fishing effort, issuing aquaculture alerts, triggering emergency monitoring protocols — that reactive

monitoring systems cannot support. More broadly, the BS-SEOS AI framework contributes to the European Green Deal and the EU Biodiversity Strategy for 2030 by building the evidence base for ecosystem-based management of the Black Sea. The sea's ecological condition cannot be separated from the political and economic futures of the communities along its shores — and AI-powered environmental intelligence is becoming a foundational tool for navigating that connection.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Mihailov, M. E. (2025). Fusion of in-situ and modelled marine data for enhanced coastal dynamics prediction along the western Black Sea coast. *Journal of Marine Science and Engineering*, 13(2), 199. <https://doi.org/10.3390/jmse13020199>
2. <https://www.bsseos.org/>
3. <https://www.seadatanet.org/>

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-106-111

UDC.551.46.551.583

Black Sea Environmental Innovative Monitoring System / Kordzakhia Marina / Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.106-111. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The Black Sea is a highly sensitive, semi-enclosed marine ecosystem exposed to significant anthropogenic pressures, including pollution, climate change, and coastal development. The Black Sea Smart Marine Environmental Outcome System (BS-SEOS), supported by the INTERREG NEXT Black Sea Basin Programme, an innovative framework designed to improve monitoring and management of one of the world's most sensitive marine ecosystems. The system integrates uncrewed surface vehicles equipped with multisensory instruments to collect high-resolution, real-time data on key environmental parameters, including temperature, pH, dissolved oxygen, and chlorophyll-a. These observations are processed through a structured data pipeline and analyzed using advanced AI models to predict ecological risks such as hypoxia and harmful algal blooms. By enabling continuous, transnational data sharing and early warning capabilities, BS-SEOS supports informed decision-making and proactive environmental management. The project enhances regional cooperation, strengthens ecosystem resilience, and contributes to sustainable development and long-term protection of the Black Sea.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-106-111

უკ:551.46.551.583

შავი ზღვის გარემოსდაცვითი ინოვაციური მონიტორინგის სისტემა/ კორძახია მარინა / სტუ-ის 3მი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ. 106-111. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

შავი ზღვა წარმოადგენს მაღალმგრძობიარე, ნახევრადჩაკეტილ საზღვაო ეკოსისტემას, რომელიც ექვემდებარება მნიშვნელოვან ანთროპოგენურ ზეწოლას, მათ შორის დაბინძურებას, კლიმატის ცვლილებასა და სანაპირო განვითარების პროცესებს. Black Sea Smart Marine Environmental Outcome System (BS-SEOS), რომელიც მხარდაჭერილია INTERREG NEXT Black Sea Basin Programme-ის მიერ, წარმოადგენს ინოვაციურ პლატფორმას, რომელიც მიზნად ისახავს მსოფლიოს ერთ-ერთი ყველაზე მგრძობიარე საზღვაო ეკოსისტემის მონიტორინგისა და მართვის გაუმჯობესებას. სისტემა აერთიანებს უპილოტო ზედაპირულ აპარატებს, რომლებიც აღჭურვილია მრავალსენსორული მოწყობილობებით, მაღალი გარჩევადობის რეალურ დროში მონაცემების შეგროვებისთვის გარემოს ძირითადი პარამეტრების შესახებ, მათ შორის ტემპერატურა, pH, გახსნილი ჟანგბადი და ქლოროფილ-ა. მიღებული მონაცემები მუშავდება სტრუქტურირებულ მონაცემთა ნაკადში და ანალიზდება თანამედროვე ხელოვნური ინტელექტის მოდელების გამოყენებით ეკოლოგიური რისკების, როგორცაა ჰიპოქსია და მავნე წყალმცენარეთა აყვავება, პროგნოზირებისთვის. უწყვეტი ტრანსნაციონალური მონაცემთა გაზიარებისა და ადრეული გაფრთხილების შესაძლებლობების უზრუნველყოფით, BS-SEOS ხელს უწყობს ინფორმირებული გადაწყვეტილებების მიღებას და პროაქტიულ გარემოსდაცვით მართვას. პროექტი აძლიერებს რეგიონულ თანამშრომლობას, ზრდის ეკოსისტემის მდგრადობას და ხელს უწყობს შავი ზღვის მდგრად განვითარებასა და გრძელვადიან დაცვას.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-106-111

УДК: 551.46.551.583

Иновационная система экологического мониторинга Чёрного моря/ Марина Кордзахия / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с. 106-111. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Чёрное море является высокочувствительной, полужамкнутой морской экосистемой, подверженной значительному антропогенному воздействию, включая загрязнение, изменение климата и прибрежное развитие. Система Black Sea Smart Marine Environmental Outcome System (BS-SEOS), поддерживаемая программой INTERREG NEXT

Black Sea Basin Programme, представляет собой инновационную платформу, направленную на улучшение мониторинга и управления одной из самых уязвимых морских экосистем в мире. Система интегрирует без экипажные надводные аппараты, оснащённые мультисенсорными приборами, для сбора высокоточных данных в реальном времени по ключевым экологическим параметрам, включая температуру, pH, растворённый кислород и хлорофилл-а. Полученные данные обрабатываются в рамках структурированного потока данных и анализируются с использованием современных моделей искусственного интеллекта для прогнозирования экологических рисков, таких как гипоксия и вредоносные цветения водорослей. Обеспечивая непрерывный транснациональный обмен данными и возможности раннего предупреждения, BS-SEOS способствует принятию обоснованных решений и проактивному экологическому управлению. Проект усиливает региональное сотрудничество, повышает устойчивость экосистем и способствует устойчивому развитию и долгосрочной защите Чёрного моря.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-112-117

უკ. 551.583

მდინარე იორის აუზის ჰიდროლოგიური რეჟიმი და წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის საჭიროება

კაპანაძე ნაილი, მკურნალიძე ირინე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
knaili1990@gmail.com, n.kapanadze@gtu.ge

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების ფორმირების, განაწილებისა და გამოყენების თავისებურებები თანამედროვე კლიმატური და ანთროპოგენული ზემოქმედების პირობებში. ჩატარებულია ჰიდროლოგიური და კლიმატური მონაცემების ანალიზი, რის საფუძველზეც შეფასებულია ჩამონადენის სეზონური რეჟიმი და მისი ცვლილების ტენდენციები. გამოვლენილია წყლის რესურსების დეფიციტის მასშტაბები სხვადასხვა უზრუნველყოფის პირობებში და შეფასებულია სარწყავი სისტემების ეფექტიანობა. ნაჩვენებია, რომ ზაფხულის პერიოდში ჩამონადენის შემცირება და წყალმოხმარების ზრდა მნიშვნელოვნად ამძიმებს წყლის ბალანსს და იწვევს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას. კვლევის შედეგები მიუთითებს წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის (Integrated Water Resources Management - IWRM) პრინციპებზე დაფუძნებული მიდგომის დანერგვის აუცილებლობაზე, რაც მოიცავს მონიტორინგის სისტემის გაძლიერებას, ინფრასტრუქტურის მოდერნიზაციას, ინსტიტუციური კოორდინაციის გაუმჯობესებას და ნალექთა ხელოვნური რეგულირების ღონისძიებების ინტეგრაციას. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების მდგრადი მართვის სტრატეგიების შემუშავებისათვის.

საკვანძო სიტყვები: აუზური მართვა, ეკოსისტემური დეგრადაცია, კლიმატის ცვლილება, წყლის დეფიციტი, წყლის რესურსები, ჰიდროლოგიური რეჟიმი.

შესავალი

წყლის რესურსები წარმოადგენს ბუნებრივი გარემოს ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს კომპონენტს, რომლის მდგრადი გამოყენება და ეფექტიანი მართვა თანამედროვე მსოფლიოში ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების ერთ-ერთ ძირითად წინაპირობად მიიჩნევა. გლობალური კლიმატური ცვლილებების ფონზე, ნალექების რეჟიმის ცვლილება, ტემპერატურის ზრდა და ექსტრემალური ჰიდრომეტეოროლოგიური მოვლენების გახშირება დამატებით საფრთხეებს ქმნის მდინარეთა აუზებისთვის. ამასთან, მიწათსარგებლობის ინტენსიფიკაცია, წყლის რესურსების გამოყენების არასაკმარისი კონტროლი და ინსტიტუციური კოორდინაციის ნაკლებობა ხელს უწყობს წყლის ხარისხის გაუარესებას, ეკოსისტემური დეგრადაციის პროცესების გაღრმავებასა და მდგრადი მართვის პრინციპების დარღვევას.

აღნიშნული გამოწვევების პირობებში განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის კონცეფცია, რომელიც ეფუძნება აუზურ პრინციპს და მიზნად ისახავს ეკოლოგიური, ეკონომიკური და სოციალური ინტერესების ჰარმონიზაციას.

წინამდებარე კვლევის მიზანია მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების არსებული მდგომარეობის ანალიზი და ეფექტური მართვის მიმართულებების განსაზღვრა. კვლევის ამოცანებს კი წარმოადგენს აუზის ჰიდროლოგიური თავისებურებების შეფასება, წყლის რესურსების გამოყენების ძირითადი პრობლემების გამოვლენა, ეკოლოგიური და ინსტიტუციური გამოწვევების იდენტიფიცირება და მდგრადი მართვის ძირითადი მიმართულებების განსაზღვრა. მიღებული შედეგები ხელს შეუწყობს მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების მართვის გაუმჯობესებას და წარმოადგენს პრაქტიკულ საფუძველს მდგრადი განვითარების სტრატეგიების შემუშავებისთვის.

კვლევის ობიექტი და მეთოდოლოგია

კვლევის ობიექტს წარმოადგენს მდინარე იორის აუზი, რომელიც მდებარეობს საქართველოს აღმოსავლეთ ნაწილში და ჰიდროლოგიური თვალსაზრისით კახეთის რეგიონის ერთ-ერთ უმნიშვნელოვანეს წყლის სისტემას წარმოადგენს. მდინარე იორი სათავეს იღებს კავკასიონის სამხრეთ კალთებზე და მისი აუზი მოიცავს როგორც მაღალმთიან, ასევე მთისწინა და დაბლობის ლანდშაფტურ ზონებს, რაც განაპირობებს ბუნებრივი პირობების მნიშვნელოვან მრავალფეროვნებას.

კვლევა ეფუძნება კომპლექსურ მიდგომას, რომელიც მოიცავს ჰიდროლოგიური, კლიმატური და გარემოსდაცვითი მონაცემების ანალიზს, აგრეთვე წყლის რესურსების მართვის არსებული პრაქტიკის შეფასებას. კვლევის ფარგლებში გამოყენებულია როგორც რაოდენობრივი, ასევე თვისებრივი მეთოდები.

წყლის რესურსების გამოყენების ეფექტიანობის შესაფასებლად გაანალიზებული იქნა სარწყავი სისტემების ფუნქციონირების არსებული მდგომარეობა. შეფასდა წყლის დანაკარგების სავარაუდო მოცულობა მოძველებული ინფრასტრუქტურის პირობებში და მათი გავლენა აუზის საერთო წყლის ბალანსზე.

ძირითადი ნაწილი, კვლევის შედეგები და განხილვა.

მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების ფორმირება და განაწილება მნიშვნელოვნად არის დამოკიდებული კლიმატურ პირობებზე, კლიმატური პირობების შეფასების მიზნით გამოყენებულ იქნა ტემპერატურისა და ნალექების საშუალო მრავალწლიანი მაჩვენებლები [1] მდინარე იორის დინების ზემო (თიანეთი), შუა(საგარეჯო) და ქვემო წელზე (დედოფლისწყაროწყარო), რამაც საშუალება მოგვცა შეგვეფასებინა ჰიდროლოგიური რეჟიმის ცვლილებების შესაძლო ტენდენციები (ცხრ.1). კვლევაში გამოყენებულია შედარებითი ანალიზის მეთოდი, რომლის მეშვეობითაც მოხდა სხვადასხვა სეზონური პერიოდის მონაცემების ერთმანეთთან შედარება

ცხრილი 1. ჰაერის ტემპერატურისა (T, °C) და ნალექთა ჯამების (P, მმ) საშუალო მნიშვნელობების სეზონური განაწილება იორის აუზის სხვადასხვა მონაკვეთისთვის (1961-2010 წწ)

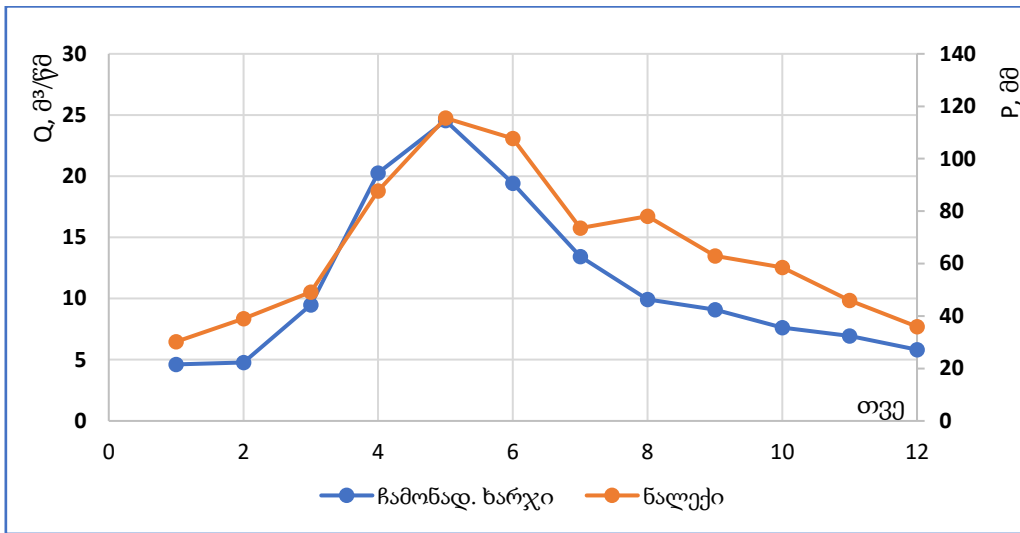
მდინარის დინება	საშ.სიმაღლე მ.ზ.დ.	კლიმატური პარამეტრი	სეზონი				წელი
			გაზაფხული	ზაფხული	შემოდგომა	ზამთარი	
თიანეთი	1099	T	7.5	17.8	9.0	-2.3	8.0
		P	253.2	259.5	167.7	105.3	786.0
საგარეჯო	802	T	10.4	21.2	12.1	1.6	11.3
		P	257.7	235.8	184.5	100.5	778.5
დედოფლისწყარო	800	T	9.8	21.2	11.7	0.8	10.9
		P	203.4	188.7	142.8	76.5	611.4

მოცემული ცხრილიდან ჩანს, რომ 2010 წლის მდგომარეობით მდ. იორის აუზის სხვადასხვა მონაკვეთებში მეტეოროლოგიური ელემენტების საშუალო მნიშვნელობები მკვეთრად იცვლება როგორც სიმაღლის, ასევე სეზონების მიხედვით. კერძოდ, იორის დინების ზედა წელში (სადგ. თიანეთი) ჰაერის ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობა თითქმის 3°C-ით ნაკლებია დანარჩენი ორი მონაკვეთის საშუალო ტემპერატურაზე.

რაც შეეხება ატმოსფერულ ნალექებს, აქ სურათი შებრუნებულია. ნალექთა წლიური ჯამები ზემო წელში მაქსიმალურია და 786 მმ-ს აღწევს, ქვემო წელში კი 175 მმ-ით მცირდება. მაქსიმალური ნალექი დაიკვირვება გაზაფხულსა და ზაფხულში, ხოლო მინიმალური ზამთარში. ნალექების რაოდენობა პიკს მაისის თვეში აღწევს და თიანეთში საშუალო ნალექი 116 მმ, საგარეჯოში 102 მმ და დედოფლისწყაროში 97 მმ ფიქსირდება.

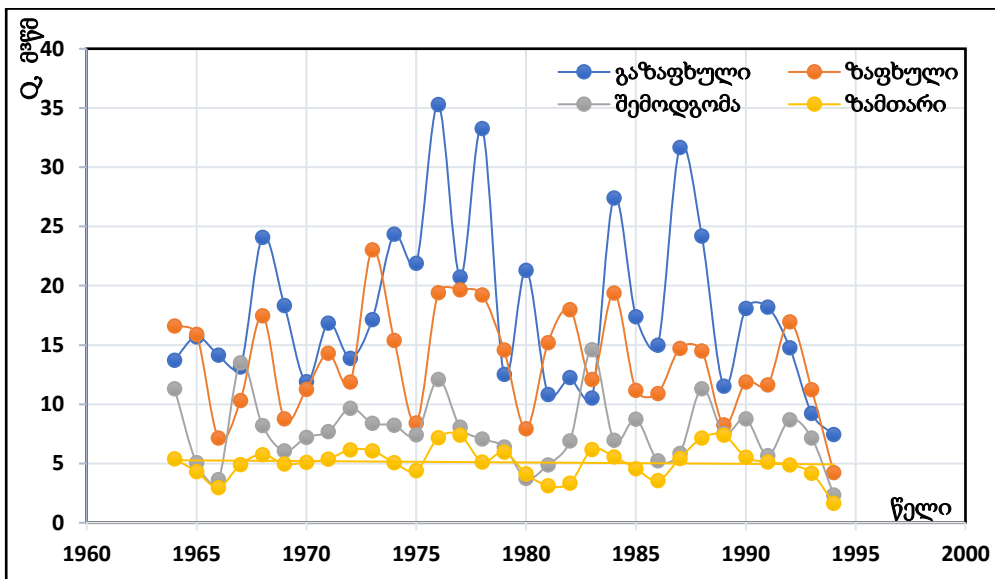
ნახაზზე 1- ზე წარმოდგენილია ატმოსფერული ნალექისა (თიანეთის მეტეოროლოგიური სადგურის მონაცემების მიხედვით) და მდინარე იორის აუზში, ჰიდროლოგიური სადგურის ლელოვანის კვეთში, ჩამონადენის საშუალო სეზონური მაჩვენებლების შიდა წლიური განაწილება. გრაფიკი ასახავს ნალექისა და ჰიდროლოგიური რეჟიმის მჭიდრო ურთიერთკავშირს, განსაკუთრებით გაზაფხულისა და ზაფხულის პერიოდებში.

გაზაფხულზე, ატმოსფერული ნალექების ზრდასთან ერთად, აღინიშნება მდინარის ჩამონადენის მატება, რაც განპირობებულია როგორც წვიმით, ისე თოვლის დნობით. ზაფხულში, ნალექების შემცირებისა და აორთქლების ინტენსიფიკაციის ფონზე, ჩამონადენი მკვეთრად მცირდება, რაც ქმნის წყლის რესურსების დეფიციტის პირობებს. აღნიშნული ტენდენცია მიუთითებს წყლის რესურსების მართვის პროცესში სეზონური ფაქტორის გათვალისწინების აუცილებლობაზე.



ნახ.1. ატმოსფერული ნალექისა (მ/ს თიანეთი) და მდინარე იორის ჩამონადენის შიდა წლიური განაწილება ჰ/ს ლელოვანის კვეთში

სარწყავი მეურნეობისა და წყალმომარაგების დაგეგმვისას ჰიდროლოგიური რეჟიმის სეზონურობის გათვალისწინების აუცილებლობას კიდევ უფრო მეტად უსვამს ხაზს ნახ.2-ზე გამოსახული მდინარე იორის ჩამონადენის მრავალწლიანი დინამიკა, სადაც თვალში საცემია გაზაფხულის ყოველწლიური პიკები, ხოლო დანარჩენი სეზონები უფრო სტაბილურია და ჩამონადენის დაბალი მნიშვნელობებით გამოირჩევა.



ნახ.2. მდინარე იორის სეზონური ჩამონადენის წლიური რეჟიმი

არსებული მონაცემების ანალიზი აჩვენებს, რომ იორის აუზში ჩამონადენის რეჟიმი ხასიათდება მკვეთრად გამოხატული სეზონურობით, რაც გაზაფხულზე წყლის რესურსების შედარებით სიჭარბეს, ხოლო ზაფხულის პერიოდში დეფიციტს განაპირობებს. აღნიშნული თავისებურება ქმნის მნიშვნელოვან სირთულეებს როგორც სარწყავი მეურნეობის, ისე ეკოსისტემური მოთხოვნების დაკმაყოფილების თვალსაზრისით.

ზაფხულის პერიოდში ჩამონადენის შემცირებას თან ახლავს წყლის მოხმარების ზრდა, სარწყავი წყლის დეფიციტი, რაც უარყოფითად აისახება სასოფლო-სამეურნეო კულტურების პროდუქტიულობაზე, განსაკუთრებით მარცვლეული და ბაღყელი კულტურების შემთხვევაში, რაც იწვევს მოსავლიანობის შემცირებას და ზრდის აგროსექტორში ეკონომიკურ რისკებს.

წყლის რესურსების რაოდენობრივ პრობლემებთან ერთად, აუზის ქვემო დინების მონაკვეთებში შეინიშნება წყლის ხარისხის გაუარესების ტენდენცია. ეს პროცესი დაკავშირებულია როგორც

ანთროპოგენური ზემოქმედების ზრდასთან (ურბანული და საწარმო ჩამდინარე წყლების ჩაშვება, გადაჭარბებული წყალაღება, დაბინძურება მუნიციპალური ნაგავსაყრელებიდან, ზეწოლა სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობით განპირობებული - ნუტრიენტების, პესტიციდებისა და სედიმენტის კარგვა და ა.შ), ისე მდინარის თვითგაწმენდის უნარის შემცირებასთან დაბალი ჩამონადენის პირობებში. შედეგად, ადგილი აქვს ეკოსისტემური დეგრადაციის ნიშნებს, რაც საფრთხეს უქმნის ბიომრავალფეროვნებასა და მდინარის ბუნებრივ ფუნქციონირებას [2]. ამ ფონზე სარწყავი სისტემების ტექნიკური მდგომარეობა, მოძველებული არხები და წყლის განაწილების არაეფექტიანი მექანიზმები იწვევს წყლის მნიშვნელოვან დანაკარგებს, რაც აუზის წყლის ბალანსს კიდევ უფრო ამძიმებს და ხაზს უსვამს სარწყავი სისტემების მოდერნიზაციის აუცილებლობას წყლის რესურსების მდგრადი მართვის კონტექსტში.

ცხრ. 2-ში მოცემულია მდ. იორის ირიგაციული შესაძლებლობა მის წყალშემკრებ აუზში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სარწყავი წყლითა და ნალექებით 50, 75 და 95%-იანი უზრუნველყოფის დროს [3]. წყალმოთხოვნილებისა და წყალმოხმარების მოცულობების ურთიერთშედარების საფუძველზე გამოთვლილია სარწყავი წყლის დეფიციტის მოსალოდნელი მოცულობები. შედეგები მიაჩვენებს მდ. იორის აუზში სარწყავი წყლის მწვავე დეფიციტზე. კერძოდ, მდინარეული ჩამონადენითა და ნალექებით 50%-იანი უზრუნველყოფის წლებში წყლის დეფიციტი 111.4 მლნ. მ³-ს შეადგენს, ხოლო 95%-იანი უზრუნველყოფის დროს 475,7 მლნ. მ³-ს აღწევს. აღნიშნული დეფიციტის დაფარვა და მდ. იორის ირიგაციული შესაძლებლობების გაზრდა გარკვეულწილად მოსახერხებელია მის აუზში მდებარე მარეგულირებელი წყალსაცავების საშუალებით, რომელთა მთლიანი სასარგებლო ტევადობა 456,4 მლნ. მ³-ს შეადგენს. თუმცა ეს ნაწილობრივ შეამცირებს სარწყავი წყლის დეფიციტს, ხოლო პერსპექტივაში არსებული წყალსაცავების აგებისა და ნალექთა ხელოვნური რეგულირების (ნხგ) სამუშაოების აღდგენის შემთხვევაში წყლის რესურსების დეფიციტი მთლიანად დაიფარება.

ცხრილი 2. მდ. იორის ირიგაციული შესაძლებლობა მის წყალშემკრებ აუზში სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების სარწყავი წყლითა და ნალექებით 50, 75 და 95%-იანი უზრუნველყოფის დროს

უზრუნ-ველყოფა, (%)	წლიური ჩამონადენი მლნ მ ³	მთლიანი წყალმოთხოვნა, მლნ მ ³	ფაქტიური წყალმოხმარება, მლნ მ ³	წყლის დეფიციტი მლნ მ ³	დარჩენილი ჩამონადენი, მლნ. მ ³
50	521.3	382.5	271.1	111.4	250.2
75	445,4	505.7	326.9	178.8	118.5
95	350.4	767.9	292.2	475.7	58.2

ნხგ ღონისძიებები, წყლის რესურსების მართვის სისტემაში განხილული უნდა იქნეს როგორც კლიმატური პირობებით გამოწვეული წყლის დეფიციტის შემარბილებელი მექანიზმი, ეფუძნებოდეს ეკოლოგიური უსაფრთხოების პრინციპებს და ინტეგრირდეს აუზური მართვის საერთო სტრატეგიაში [4, 5, 6, 7].

კლიმატის ცვლილებაზე საქართველოს მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში მიღებული შედეგების თანახმად მდ. იორის აუზში 2100 წლისთვის, 1986-2010 წწ. პერიოდთან შედარებით, მოსალოდნელი იქნება ნალექთა წლიური ჯამების შემცირება 10-14%-ით, რაც კიდევ უფრო გაამძაფრებს წყლის რესურსების დეფიციტს ხსენებულ რაიონში [8]. არსებული პრობლემების გადასაჭრელად მდინარე იორის აუზში საჭირო იქნება წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის (IWRM) პრინციპებზე დაფუძნებული მიდგომის დანერგვა, რომელიც უზრუნველყოფს წყლის რესურსების დაგეგმვას აუზური პრინციპის მიხედვით, ბუნებრივი, სოციალური და ეკონომიკური ფაქტორების გათვალისწინებით [9, 10].

- პირველ რიგში, აუცილებელია ჰიდროლოგიური და კლიმატური მონიტორინგის სისტემის გაძლიერება, რაც შექმნის საფუძველს წყლის რესურსების მდგომარეობის დროულად შეფასებისა და მართვითი გადაწყვეტილებების ეფექტიანად მიღებისთვის. მონიტორინგის მონაცემები უნდა გამოიყენებოდეს როგორც წყლის განაწილების ოპტიმიზაციისთვის, ისე კლიმატური რისკების შემცირების მიზნით;
- მნიშვნელოვან რეკომენდაციას წარმოადგენს სარწყავი ინფრასტრუქტურის ეტაპობრივი მოდერნიზაცია, რაც შეამცირებს წყლის დანაკარგებს და გაზრდის გამოყენების ეფექტიანობას;
- განსაკუთრებული ყურადღება უნდა დაეთმოს ნალექთა ხელოვნური რეგულირების სამუშაოების აღდგენისა და განვითარების შესაძლებლობას, როგორც დამატებით ინსტრუმენტს წყლის რესურსების მართვის სისტემაში;

- ამასთან, აუცილებელია უწყებათაშორისი კოორდინაციის გაძლიერება და ადგილობრივი საზოგადოების ჩართულობა წყლის რესურსების მართვის პროცესში, რაც გაზრდის მიღებული გადაწყვეტილებების ეფექტიანობასა და მდგრადობას.

დასკვნა

მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების არსებული მდგომარეობის ანალიზი ცხადყოფს, რომ კლიმატური პირობების თავისებურებები, წყლის მოხმარების ზრდა და მართვის სისტემის ხარვეზები ქმნის მდგრადი განვითარების მნიშვნელოვან გამოწვევებს. ჩამონადენის სეზონური შემცირება, სარწყავი სისტემების არაეფექტიანობა და ეკოსისტემური დეგრადაციის ნიშნები მიუთითებს ინტეგრირებული მართვის მიდგომის დანერგვის აუცილებლობაზე.

წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვა, რომელიც მოიცავს მონიტორინგის გაძლიერებას, ინფრასტრუქტურის მოდერნიზაციას, ინსტიტუციური კოორდინაციის გაუმჯობესებასა და ნალექთა ხელოვნური რეგულირების შესაძლებლობების გათვალისწინებას, წარმოადგენს მდინარე იორის აუზში ეკოლოგიური სტაბილურობისა და სოციალურ-ეკონომიკური მდგრადობის მიღწევის აუცილებელ წინაპირობას.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. National Environmental Agency of Georgia. Scientific-Applied Climate Handbook of Georgia. ISBN 978-9941-26-798-7, Tbilisi, 2020, 303 p.
2. European Union Water Initiative Plus for Eastern Partnership Countries (EUWI+). Development of the Alazani-Iori River Basin Management Plan in Georgia, 2020.
3. Svanidze, G., Chikvaidze, G. On the Issue of Irrigation Water Deficit in the River Basins of Eastern Georgia. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology, Tbilisi, 2001, Vol. 106.
4. Beritashvili, B., Tsintsadze, T., Kapanadze, N. Precipitation Enhancement Works in Georgia. Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, Tbilisi, 2020, 122 p.
5. Beritashvili, B., Kapanadze, N. Prospects for the Restoration of Precipitation Enhancement Activities Considering Climatic Data. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology, Tbilisi, 2019, Vol. 126, pp. 36–40.
6. Beritashvili, B., Kapanadze, N., Tsintsadze, T. Integration of Precipitation Enhancement Activities into the Future System of Integrated Water Resources Management in Eastern Georgia. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology, Tbilisi, 2020, Vol. 127, pp. 41–43.
7. Kapanadze, N., Tsintsadze, T., Mkurnalidze, I. Hydrometeorological Study of the Iori River Basin for the Development of an Integrated Water Resources Management System. Scientific Refereed Proceedings of the Institute of Hydrometeorology, Tbilisi, 2022, Vol. 13, pp. 27–34.
8. Ministry of Environment and Natural Resources Protection of Georgia. Third National Communication on Climate Change. Tbilisi, 2015.
9. Integrated Natural Resources Management in Watersheds (INRMW) of Georgia Program. Technical Report 2. Rapid Assessment of the Rioni and Alazani-Iori River Basins of Georgia, June, 2011.
10. Kapanadze, N., Tsintsadze, T. Main Natural Resources, Functions and Mechanisms of Integrated Management of River Basins. Proceedings of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, 2021, Vol. 131, pp. 67–71.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-112-117

UDC: 551.583

Hydrological Regime of the Iori River Basin and the Need for Integrated Water Resources Management. /Kapanadze N., Mkurnalidze I./ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.112-117. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The article examines the characteristics of the formation, distribution, and utilization of water resources in the Iori River basin under conditions of contemporary climatic and anthropogenic impacts. Based on the analysis of hydrological and climatic data, the seasonal runoff regime and its change trends are assessed. The study identifies the scale of water resource deficits under different reliability levels and evaluates the efficiency of irrigation systems. It is shown that reduced runoff during the summer period, combined with increased water demand, significantly aggravates the water balance and leads to the deterioration of ecological conditions.

The results of the study highlight the necessity of implementing an Integrated Water Resources Management (IWRM) approach, which includes strengthening monitoring systems, modernizing infrastructure, improving institutional coordination, and integrating precipitation enhancement measures. The findings can be used for the development of sustainable water resource management strategies in the Iori River basin.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-112-117

უკ:551.583

მდინარე იორის აუზის ჰიდროლოგიური რეჟიმი და წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის საჭიროება./კაპანაძე ნაილი, მკურნალიძე ირინე/. სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.112-117.-ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

სტატიაში განხილულია მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების ფორმირების, განაწილებისა და გამოყენების თავისებურებები თანამედროვე კლიმატური და ანთროპოგენური ზემოქმედების პირობებში. ჩატარებულია ჰიდროლოგიური და კლიმატური მონაცემების ანალიზი, რის საფუძველზეც შეფასებულია ჩამონადენის სეზონური რეჟიმი და მისი ცვლილების ტენდენციები. გამოვლენილია წყლის რესურსების დეფიციტის მასშტაბები სხვადასხვა უზრუნველყოფის პირობებში და შეფასებულია სარწყავი სისტემების ეფექტიანობა. ნაჩვენებია, რომ ზაფხულის პერიოდში ჩამონადენის შემცირება და წყალმოხმარების ზრდა მნიშვნელოვნად ამძიმებს წყლის ბალანსს და იწვევს ეკოლოგიური მდგომარეობის გაუარესებას. კვლევის შედეგები მიუთითებს წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის (IWRM) პრინციპებზე დაფუძნებული მიდგომის დანერგვის აუცილებლობაზე, რაც მოიცავს მონიტორინგის სისტემის გაძლიერებას, ინფრასტრუქტურის მოდერნიზაციას, ინსტიტუციური კოორდინაციის გაუმჯობესებას და ნალექთა ხელოვნური რეგულირების ღონისძიებების ინტეგრაციას. მიღებული შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნას მდინარე იორის აუზში წყლის რესურსების მდგრადი მართვის სტრატეგიების შემუშავებისათვის.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-112-117

УДК: 551.583

Гидрологический режим бассейна реки Иори и необходимость интегрированного управления водными ресурсами. /Капанაძე Н.И, Мკურნალიძე И.П./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.112-117. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье рассмотрены особенности формирования, распределения и использования водных ресурсов бассейна реки Иори в условиях современных климатических и антропогенных воздействий. На основе анализа гидрологических и климатических данных проведена оценка сезонного режима стока и тенденций его изменения. Выявлены масштабы дефицита водных ресурсов при различных уровнях обеспеченности и дана оценка эффективности оросительных систем. Показано, что снижение стока в летний период в сочетании с ростом водопотребления существенно ухудшает водный баланс и приводит к ухудшению экологического состояния. Результаты исследования указывают на необходимость внедрения принципов интегрированного управления водными ресурсами (IWRM), включая усиление системы мониторинга, модернизацию инфраструктуры, улучшение межведомственной координации и интеграцию мероприятий по искусственному регулированию осадков. Полученные результаты могут быть использованы при разработке стратегий устойчивого управления водными ресурсами в бассейне реки Иори.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124

უკ:551.583

კონვექციური შტორმების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები და მეზომასშტაბური ფაქტორების როლი

მკურნალიძე ირინე, კაპანაძე ნაილი, მელაძე მაია

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
i.mkurnalidze@gmail.com

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე ელქეჟური აქტივობის ზრდის დინამიკა და მისი პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები. სტატიაში მიმოხილულია მსოფლიოს წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების (NOAA HWT, NSSL, NWS) მიღწევები ამინდის საშიში მოვლენების პროგნოზირების მიმართულებით. გაანალიზებულია ბრიტანეთის ეკოლოგიისა და ჰიდროლოგიის ცენტრის მასშტაბური კვლევის შედეგები, რომლებიც ადასტურებენ ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტებისა და ვერტიკალური ქარის ძვრის (WIND SHEAR) გადამწყვეტ როლს ელქეჟური შტორმების ინიცირებაში.

ნაშრომში დეტალურადაა განხილული პროგნოზირების სინოპტიკური, რადიოლოკაციური, თანამგზავრული და რიცხვითი მეთოდები. ხაზგასმულია ხელოვნური ინტელექტის (AI) პოტენციური მეზომასშტაბური პროცესების მოდელირებაში. კვლევის პრაქტიკული ნაწილი ეთმობა საქართველოს, როგორც მაღალი ელქეჟური აქტივობის რეგიონს. პუასონის განტოლების გამოყენებით გამოთვლილია ელქეჟების ხდომილების ალბათობები საქართველოს 15 კლიმატური ზონისთვის, რაც ფუნდამენტური ადრეული შეტყობინების სისტემების დახვეწისა და ეკონომიკური ზარალის მინიმიზაციისთვის.

საკვანძო სიტყვები: კონვექციური შტორმი, ელქეჟი, ნიადაგის ტენიანობა, მეზომასშტაბური პროცესები, პუასონის განტოლება.

შესავალი

კლიმატის გლობალურმა ცვლილებამ მნიშვნელოვნად გაზარდა ელქეჟური აქტივობა დედამიწაზე. ეს გარემოება განაპირობებს ელქეჟების პროგნოზირების მეთოდების გაუმჯობესების აუცილებლობას, რაც იძლევა ხალხს და პირუტყვის სიცოცხლის გადარჩენის და ქონების და ინფრასტრუქტურის დაცვის კიდევ უფრო მაღალი ხარისხით უზრუნველყოფის შესაძლებლობას.

WMO-ს მიხედვით 2010-2019 წწ მონაცემებით ელქეჟური პროცესების მიზეზით დაღუპულია 30000 ადამიანი და ეკონომიკური ზარალი 500 მილიარდ დოლარს აღწევს [1].

ამჟამად არსებობს ელქეჟების პროგნოზირების შემდეგი ძირითადი მეთოდები:

- **სინოპტიკური მეთოდი** - გულისხმობს ამინდის რუკების ანალიზს- ატმოსფერული ფრონტების, ციკლონების ადგილმდებარეობის განსაზღვრას და ტემპერატურის და სინოტივის ადვექციის შეფასებას;
- **არამდგრადობის ინდექსები** - გულისხმობს ტემპერატურის და სინოტივის სხვადასხვა სიმალეებზე გამოთვლას აეროლოგიური ზონდირებით მიღებული მონაცემებით. არსებობს გამოთვლის სხვადასხვა ტიპის ინდექსები-ვაიტინგის, ლებედევას, ფაუსტის, შვალტერის და სხვა;
- **რადიოლოკაციური მეთოდი** - გულისხმობს კონვექციური ღრუბლის რეალურ დროში განვითარების მონიტორინგს, რადიოექსის სიმალლის და ამრეკვლადობის მიხედვით;
- **თანამგზავრული მეთოდი** - გულისხმობს თვალყურის დევნებას გროვა-საწვიმარი ღრუბლების ზედასაზღვრის შესაბამის ტემპერატურაზე და (ინფრაწითელი სურათები) და ღრუბლების სტრუქტურაზე - ხილულ დიაპაზონში;
- **რიცხვითი მეთოდები** - გულისხმობს მეტეოპარამეტრების (ელქეჟური ხდომილების ალბათობის ჩართვით) ატმოსფეროს ფიზიკური კანონების საფუძველზე შექმნილ კომპიუტერული მოდელების გამოყენებას.

პროგნოზირების თანამედროვე სისტემები ეფექტურად აფიქსირებენ ფართომასშტაბიან ატმოსფერულ პროცესებს, მაგრამ ცალკეული შტორმის წარმოქმნის ზუსტი ადგილის განსაზღვრა მეზომასშტაბურ დონეზე კვლავ ფუნდამენტურ გამოწვევად რჩება.

ძირითადი ნაწილი

ბრიტანეთის ეკოლოგიის და ჰიდროლოგიის ცენტრის მეცნიერებმა ჩაატარეს უნიკალური კვლევა. შესწავლილ იქნა ისეთი ატმოსფერული პირობების თანამგზავრული სურათები, რომლებმაც გამოიწვია 2,2 მილიონი შტორმი 2004-2024 წწ. პერიოდში სუბსაჰარულ აფრიკაში. აღსანიშნავია, რომ მეცნიერთა მტკიცებით, მსგავსი პრინციპი შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს დედამიწის სხვა რეგიონებისათვისაც. კვლევებით გამოავლენილი იქნა ატმოსფეროს დაბალ ფენებში ურთიერთდამოკიდებულება ნიადაგის ტენიანობასა და ქარის გარკვეულ კანონზომიერებებს შორის. ზუსტად ეს ურთიერთდამოკიდებულება ახდენს გავლენას ელქექის წარმოქმნის ადგილმდებარეობაზე, რომელთა მონიტორინგი ხდის წყალმოვარდნების, ძლიერი ქარის და შტორმების ნაადრევ პროგნოზირების შესაძლებლობას [2]. ჩვეულებრივ შტორმები ვითარდება დღის მეორე ნახევარში, როდესაც მიწისა და ატმოსფეროს შორის სითბოს გაცვლა იწვევს ატმოსფეროს არასტაბილურობას. მძლავრი კონვექცია შეიძლება განვითარდეს სულ რამდენიმე ათეულ წუთში. ამ დროს გროვა - საწვიმარი ღრუბელი სწრაფად იზრდება. ღრუბლის შიგნით აღმავალი ნაკადების გავლენით ელვა წარმოქმნება, ხოლო ნალექის აორთქლება ქმნის ძლიერ ქარის ნაკადებს. ძლიერმა წვიმამ შეიძლება გამოიწვიოს მოულოდნელი წყალდიდობები, განსაკუთრებით ქალაქებში, სადაც დრენაჟის სისტემა სუსტია. ყველაზე ექსტრემალური კონვექციური მოვლენები განსაკუთრებით ხშირად ვითარდება ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტების ზონებში, ქარის ძვრასთან ურთიერთობის პირობებში. 2.2 მილიონი შემთხვევის გაანალიზების შედეგად სუბსაჰარულ აფრიკაში დადგენილი იქნა, რომ ხელსაყრელ ნიადაგის პირობებში ექსტრემალური შტორმების დაწყება 68%-ით უფრო ხშირია.

ყველაზე ძლიერი ვერტიკალური განვითარება აღინიშნება იქ, სადაც ნიადაგის ტენიანობით გამოწვეული ცირკულაციები ეწინააღმდეგება ქარის მიერ გამოწვეულ ღრუბლების გადაადგილებას. ძლიერი კონვექციისთვის ხელსაყრელი პირობები მოიცავს:

- დაბალი ფენის ჰაერის თერმოდინამიკურ არამდგრადობას;
- ვერტიკალური ქარის ძვრას (ქარის სიჩქარისა და მიმართულების ცვლილება სხვადასხვა სიმაღლეებზე);

კონვექციის დაწყება ხშირად დაკავშირებულია დაბალი ფენის კონვერგენციის ზონებთან, რომლებიც ჰაერს ზემოთ წევს. ეს შეიძლება მოხდეს: ჰაერის მასების საზღვრებზე, შტორმის ნაკადებში, სინოპტიკური მასშტაბის პროცესებში, ან მიწის ზედაპირის თავისებურებების გამო. ქარის ძლიერი ძვრა ზოგჯერ აფერხებს კონვექციის დაწყებას, მაგრამ შემდგომში ხელს უწყობს შტორმის ზრდას, ეს ხდება ჰაერის მოწოდების არასტაბილურობის გამო.

კვლევები აჩვენებს, რომ ტენიანი ნიადაგი ზრდის ჰაერის ტენიანობას, მშრალი ნიადაგი ათბობს ჰაერს. თუმცა, რეალურ პირობებში კონვექცია ხშირად იწყება მშრალი ნიადაგის საზღვარზე, სადაც არსებობს მნიშვნელოვანი ტემპერატურული კონტრასტები. ეს ქმნის ცირკულაციებს, რომლებიც ჰგავს ზღვის ნიავს და იწვევს ჰაერის კონვერგენციას, სადაც იწყება კონვექცია. კვლევა განსაკუთრებულ ყურადღებას ამახვილებს ვერტიკალურ ქარის ძვრაზე, რომელიც განსაზღვრავს, როგორ ვითარდება უკვე დაწყებული შტორმი.

დადგენილი იქნა, რომ:

- ქარის ძვრა არამარტო აძლიერებს შტორმებს, არამედ ცვლის მათ მდებარეობას ნიადაგის ტენიანობასთან შესაბამისად;
- ღრუბლები მოძრაობენ შუა ატმოსფერული ფენის ქარის მიმართულებით;
- თუ ეს მიმართულება ეწინააღმდეგება დაბალი ფენის ქარს, ხდება მნიშვნელოვანი ეფექტი.
- ასეთ სიტუაციაში შტორმის წარმოქმნა იწყება მშრალ ზონაში, მაგრამ განვითარება და ინტენსიფიკაცია ხდება სხვა მიმართულებით გადაადგილებისას. ეს ნიშნავს, რომ ნალექის მაქსიმუმი ხშირად არ ემთხვევა კონვექციის საწყის წერტილს.

კვლევის ერთ-ერთი ყველაზე მნიშვნელოვანი შედეგია ის არის, რომ ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტებისა და ქარის ძვრის ერთობლივი მოქმედებით შესაძლებელია განისაზღვროს ყველაზე ძლიერი შტორმების წარმოქმნის ადგილი. კერძოდ:

- თუ ქარის ქროლვა სუსტია, ნიადაგის ეფექტი ნაკლებად მნიშვნელოვანია;
- თუ ქარის ქროლვა ძლიერია, ნიადაგის ტენიანობის გავლენა მნიშვნელოვნად იზრდება.

ექსტრემალური შტორმები (ძალიან ძლიერი ნალექით) ყველაზე ხშირად ვითარდება ნიადაგის ტენიანობის მკვეთრი საზღვრების ახლოს და ისეთ პირობებში, სადაც ქარის ძვრა ხელს უწყობს ღრუბლის განვითარებას.

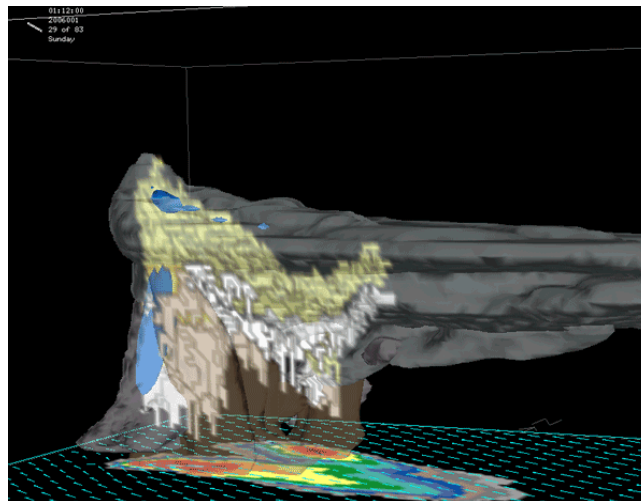
ფიზიკურად პროცესი შეიძლება ასე აიხსნას:

მშრალი ნიადაგი სწრაფად თბება, იქმნება თბილი და მსუბუქი ჰაერი. მეზობელი ტენიანი ზონებიდან ჰაერი გადაადგილდება ამ მიმართულებით, ხდება ჰაერის კონვერგენცია, ჰაერი ადის ზევით, ჩნდება კონვექცია.

შემდეგ ქარის ძვრა აღიერებს ღრუბლის სტრუქტურას. ღრუბელი გადაადგილდება, ნალექი შეიძლება მოვიდეს უკვე სხვა ადგილზე. კვლევა ადასტურებს, რომ დინამიკური ფაქტორები დომინანტურ როლს ასრულებს კონვექციის წარმოქმნის ადგილის განსაზღვრაში. ქარის ძვრა რადიკალურად ცვლის ხმელეთის და ატმოსფეროს ურთიერთქმედების ხასიათს. თანამედროვე რიცხვითი პროგნოზირების მოდელები ვერ ახერხებენ ამ მეზომასშტაბური პროცესების ადეკვატურ ასახვას, რაც იწვევს მათ დაბალ ეფექტურობას. ხელოვნურ ინტელექტზე დაფუძნებულ მოდელებს აქვთ დიდი პოტენციალი, გაუმჯობესოს პროგნოზები, თუ მათში სწორად იქნება ინტეგრირებული ინფორმაცია ნიადაგის ზედაპირის მდგომარეობის შესახებ.

კვლევის მეთოდები მოიცავს რამდენიმე წყაროდან (ძირითადად თანამგზავრებიდან) მიღებული მონაცემების დამუშავებას. მაგალითად კონვექციების წარმოქმნის იდენტიფიცირება მოხდა MSG სერიის გეოსტაციონარული თანამგზავრის მონაცემებით. ექსტრემალური კონვექციის ინიცირების მოვლენები განსაზღვრულია ღრუბლის გაციების ტემპით $\leq -78^{\circ}\text{C სთ}^{-1}$ (ზედა 1%), კონვექციური ინიცირების ლოკაციის დადგენა ხდება დაბალი ფენის ატმოსფერული არამდგრადობის პროფილების გამოყენებით. ნიადაგის ტენიანობის მონაცემები მიიღებოდა თანამგზავრ Metop-B-ზე დაყენებული ASCAT ხელსაწყოდან. გამოიყენებოდა ასევე რადიოლოკაციური და მეტეოსადგურების მონაცემები [2-5].

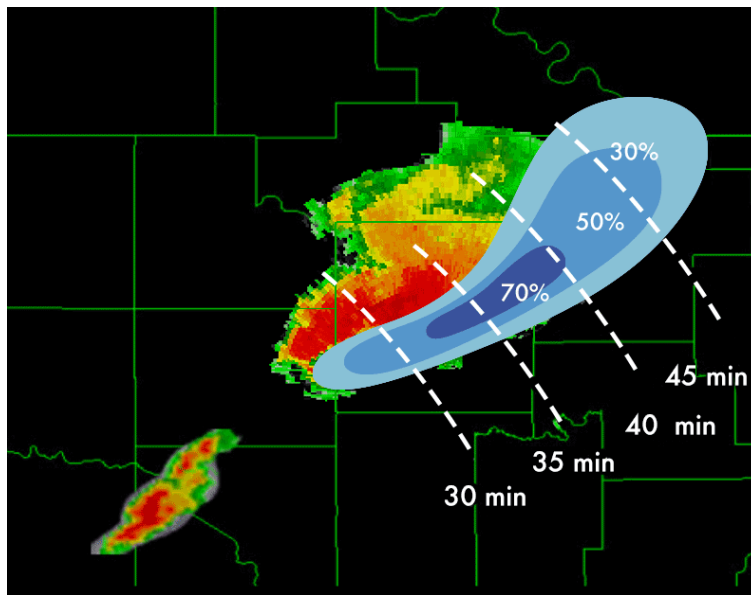
აღსანიშნავია, რომ ელქექების (შტორმების) პროგნოზების ამოცანები მსოფლიოს ყველა ცნობილ სამეცნიერო ცენტრებში მუშავდება. მაგალითად, NOAA-ს გამოსაცდელ პოლიგონზე Dangerous Weather Test (ამინდის საშიში მოვლენები) (HWT) NSSL თანამშრომლობს NOAA-ს შტორმების პროგნოზირების ცენტრთან და ამინდის ნაციონალურ ცენტრთან (NWS) იმ მიზნით, რომ გამოიცადოს და შეფასდეს ამინდის საშიში მოვლენების პროგნოზების წინასწარ გაფრთხილების მეთოდები აშშ-ს მთელ ტერიტორიისათვის. HWT-ს ქვაკუთხედი არის ე.წ. „გაზაფხულის ექსპერიმენტი“, რომელიც ტარდება ყოველწლიურად ამინდის საშიში მოვლენების აქტიური სეზონის პირობებში. შტორმების პროგნოზირებაში ყველაზე რთული ამოცანა არის პროცესის წარმოქმნის ზუსტი დროს და ადგილის დადგენა. გამოიყენება კომპიუტერული მოდელები იმისათვის, რომ გაირკვეს თუ რომელი პრედიქტორები გვატყობინებს შტორმული პროცესის ზრდას. პროექტის „Warm-on-Forecast“-ის თანამშრომლები ამუშავებენ საშიში ამინდის ისეთი სპეციფიკურ პროგნოზებს, რომლის საფუძველზე სინოპტიკოსს შეეძლება ელქექის ფორმირების შესახებ ინფორმაციის გამოცხადება ერთ საათზე ნაკლები დროით ადრე. NSSL (ძლიერი შტორმების შესწავლის ლაბორატორია) ამუშავებს ე.წ. ანსამბლურ (კომპიუტერული მოდელების ჯგუფი) მოდელებს ამინდის საშიში მოვლენების მოკლევადიან პროგნოზისთვის (0-60 წუთი). ასევე NSSL-ის მკვლევარებმა გაანალიზეს ელქექების კლიმატოლოგია, საშიში მოვლენების (ტორნადო, სეტყვა, ელქექური დამანგრეველი ქარები) ხდომილობის ალბათობის შეფასების მიზნით (სურათი 1-4). ეს პარამეტრი მნიშვნელოვანია პროგნოზირების სხვადასხვა მეთოდების გამოყენებისას, განსაკუთრებით კი რიცხვით მოდელებისათვის [6].



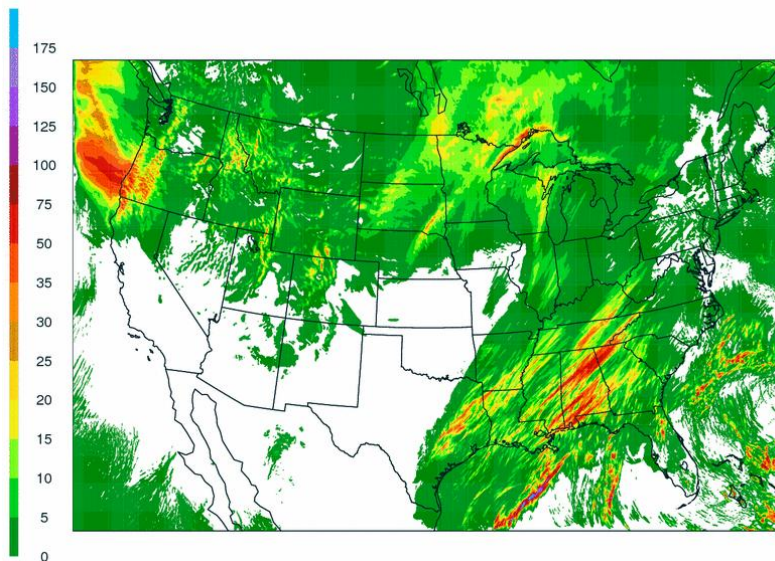
სურ. 1 NSSL-ის კვლევები იყენებენ 3-D კომპიუტერულ მოდელებს, რათა შეისწავლონ, თუ როგორ იქცევა ელქექი სხვადასხვა ამინდის პირობებში



სურ. 2 მკვლევარები სწავლობენ ელვას საველე პროექტებში აეროზონდის გამოყენებით



სურ. 3 Warm-on-Forecast-ს კონცეპტუალური მოდელი, რომელიც პროგნოზირებს პოტენციურად ტორნადოს სუპერუჯრედის გზას მომდევნო საათის განმავლობაში



სურ. 4. NSSL-ის WRF მოდელით გამოთვლილი 36-საათიანი ნალექების პროგნოზი.

როგორც ცნობილია საქართველო ერთ-ერთი ელჭექსაშიში რეგიონია [7] და ამინდის ექსტრემალური მოვლენების პროგნოზს დიდი მნიშვნელობა გააჩნია ამ ქვეყნისათვის. ამ მიმოხილვის ავტორების მიერ რამდენიმე წლის წინ [8] გამოთვლილ იქნა ელჭექების ხდომილების ალბათობა საქართველოს მთელ ტერიტორიის 15 კლიმატური ზონისათვის. ამ ალბათობის გამოსათვლელად გამოყენებულია პუასონის განტოლება, ჩაწერილი შემდეგი სახით:

$$P = 1 - \exp \left[-\frac{2}{3} \left(\frac{\bar{x}}{k} \times \frac{r}{r_0} \right) \right]$$

სადაც \bar{x} – წლის თბილი პერიოდის (III-X თვეები) ელჭექიან დღეთა საშუალო მრავალწლიური რიცხვია, k – სეზონის დღეთა რიცხვი, r – განსახილველი ფართობის რადიუსი (50კმ, 100კმ, 150კმ), r_0 – იმ ფართობის რადიუსია, რომელზეც ფიქსირდება ელჭექი ვიზუალურ-სმენითი მეთოდით (≈ 20 კმ).

საქართველოს ტერიტორია გამოირჩევა ძალიან რთული რელიეფით, ზღვის დონიდან სიმაღლეების დიდი დიაპაზონით. ამ მიზეზის გათვალისწინებით ნახსენებ ნაშრომში ალბათობა გამოთვლილია კლიმატურად განსხვავებულ 15 ზონისათვის. გეოგრაფიულად საქართველოს ტერიტორია იყოფა ორ ნაწილად – დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონად. იმავე მეთოდით გამოთვლილი ელჭექთა ხდომილების ალბათობები ამ ორი რეგიონისათვის მოყვანილია ცხრილი 1-ში.

ცხრილი 1. დასავლეთ და აღმოსავლეთ რეგიონისათვის ელჭექთა ხდომილების საშუალო \bar{P} და მაქსიმალური P_{max} ალბათობები

რეგიონი	\bar{P}			P_{max}		
	50 კმ	100 კმ	150 კმ	50 კმ	100 კმ	150 კმ
დასავლეთ საქართველო	0,19	0,33	0,46	0,30	0,52	0,66
აღმოსავლეთ საქართველო	0,23	0,41	0,55	0,35	0,58	0,72

როგორც ცხრილიდან ჩანს, ელჭექთა ხდომილების ალბათობა მეტია აღმოსავლეთ რეგიონში და იზრდება განსახილველი ფართობის რადიუსის ზრდასთან ერთად. მოყვანილი გამოთვლები შესაძლოა გამოყენებულ იქნეს პროგნოზირების ნებისმიერ მოდელში.

ამგვარად, ელჭექური პროცესების პროგნოზირება მეტეოროლოგიაში ერთ-ერთი ყველაზე რთული ამოცანაა ამ ფენომენის მცირე ლოკალიზების, სწრაფი განვითარების და ატმოსფერული ტურბულენტობის გამო. პროგნოზირების ძირითადი გამოწვევებია:

სივრცითი და დროითი გაურკვევლობა - ელჭექური ღრუბელი შეიძლება იყოს მხოლოდ რამდენიმე კილომეტრის დიამეტრის და განვითარდეს 30-60 წუთში. არსებული მოდელები ხშირად ვერ ახერხებენ იმ ქალაქის ან რეგიონის ზუსტი ადგილმდებარეობის პროგნოზირებას, სადაც განმუხტვა მოხდება.

ფიზიკური პროცესების სირთულე - ელჭექი არის რთული ფენომენი, რომელიც დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე, კერძოდ, ტენიანობაზე, ტემპერატურაზე (სხვადასხვა სიმაღლეებზე), აღმავალი ნაკადის ინტენსივობასა და ჰაერის აეროზოლურ შემადგენლობაზე. ამ ფაქტორებიდან რომელიმეს უმცირესმა ცვლილებამ შეიძლება ხელი შეუშალოს ელჭექის საერთოდ წარმოქმნას, ან გადაიქცეს დამანგრეველ შტორმად.

დაკვირვებების ქსელის არასაკმარისი სიმჭიდროვე - მეტეოროლოგიური სადგურები განლაგებულია ერთმანეთისგან მნიშვნელოვან მანძილზე. მცირე მასშტაბის პროცესები, რომლებიც იწვევს კონვექციას (ვერტიკალური ჰაერის მოძრაობა), ხშირად „გადაადგილდება“ გაზომვის ქსელის კვანძებს შორის.

რეგიონული და ოროგრაფიული მახასიათებლები - ურბანული განვითარება („სითბოს კუნძულები“) და რთული ტოპოგრაფია (მთები, ბორცვები) მნიშვნელოვნად ამახინჯებს ჰაერის მასების მოძრაობას, რაც ქმნის უნიკალურ ელჭექურ პირობებს, რომელთა გათვალისწინება გლობალურ მოდელებში რთულია.

რიცხვითი მოდელების სიზუსტის შეზღუდვები - ატმოსფეროს აღმწერი განტოლებები უკიდურესად მგრძობიარეა საწყისი მონაცემების მიმართ. გაზომვის შეცდომები გროვდება, რაც ელჭექების გრძელვადიან პროგნოზირებას (1-3 დღეზე მეტი ხნის შემდეგ) არაეფექტურს ხდის.

„მშრალი“ ელქეების პრობლემა - მიწასთან ახლოს დაბალი ტენიანობის პირობებში, ნალექი შეიძლება აორთქლდეს დედამიწის ზედაპირამდე მიღწევამდე, ხოლო ელექტრული აქტივობა გრძელდება, რაც დამატებით სირთულეებს ქმნის მისი რადარით აღმოსაჩენად. ამ პრობლემების გადასაწყვეტად მეცნიერები დიდ იმედებს ამყარებენ ხელოვნურ ინტელექტზე [9].

დასკვნები

განხილული კვლევა [2] აჩვენებს, რომ კონვექციური შტორმების განვითარება მხოლოდ ატმოსფერულ პირობებზე არ არის დამოკიდებული. აქტიურ როლს თამაშობს მიწის ზედაპირიც, განსაკუთრებით კი ნიადაგის ტენიანობის არათანაბარი განაწილება. ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტები ქმნის პირობებს კონვექციის დასაწყებად. ქარის ძვრა განსაზღვრავს როგორ და სად განვითარდება შტორმი. ამ ორი ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება იწვევს ამინდის ყველაზე ძლიერ და ექსტრემალურ მოვლენებს.

კვლევის შედეგები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მაშინ, როდესაც მცირე მასშტაბის მიწის ზედაპირის თავისებურებების გამო, ამინდის პროგნოზი ყოველთვის ვერ განსაზღვრავს ზუსტად შტორმის ლოკაციას. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ ნიადაგის ტენიანობაზე უკეთ დაკვირვებითა (მაგ. სატელიტებით) და მისი ჩართვით ამინდის მოდელებში მნიშვნელოვნად გაუმჯობესდება პროგნოზები.

ეს აღმოჩენები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს:

- ძლიერი წვიმისა და წყალდიდობის პროგნოზში;
- ძლიერი ელქეების რისკის შეფასებაში;
- კლიმატის ცვლილების გავლენის უკეთ გაგებაში.

ასეთი კვლევები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია რეგიონებისთვის, სადაც მოსახლეობა დაუცველია ამინდის კატასტროფული მოვლენებისაგან, ინფრასტრუქტურა არამდგრადია და პროგნოზირების საშუალებები არასაკმარისი.

კლიმატის ცვლილების კონტექსტში კვლევის ავტორები ყურადღებას ამახვილებენ იმაზე, რომ გლობალური დათბობა ზრდის ატმოსფეროს ენერჯიას. შედეგად კონვექციური შტორმები შეიძლება გახდეს უფრო ძლიერი და უფრო ხშირი. ამ პირობებში ნიადაგის ტენიანობის როლი კიდევ უფრო მნიშვნელოვანი ხდება, რადგან გვალვები და ძლიერი ნალექები უფრო მკვეთრ კონტრასტებს ქმნის, რაც ზრდის ექსტრემალური მოვლენების ალბათობას.

განხილულ კვლევას გლობალური მნიშვნელობა გააჩნია. მიუხედავად იმისა, რომ ფოკუსირებულია აფრიკაზე, კვლევებში გამოყენებული მექანიზმი მოქმედებს სხვა რეგიონებშიც, განსაკუთრებით იქ, სადაც ჰაერის მაღალი ტემპერატურები და ნიადაგის ტენიანობა არათანაბრადაა განაწილებული. ეს მნიშვნელოვანია ამინდის პროგნოზირების გაუმჯობესებისათვის, ექსტრემალური მოვლენების (წყალმოვარდნა, ძლიერი ელქეური პროცესი) უკეთ შესასწავლად, კლიმატის მოდელების დახვეწისათვის [2].

მარტივად რომ ვთქვათ: მშრალი და ტენიანი ნიადაგის „საზღვრები“ არის შტორმების დაბადების ადგილი, ქარი განსაზღვრავს, თუ როგორ განვითარდება შტორმული პროცესები, მათი კომბინაცია კი ქმნის ყველაზე კატასტროფულ სიტუაციებს. [2-5]

ლიტერატურა - REFERENCES

1. World Meteorological Organization (WMO). WMO Atlas of Mortality and Economic Losses from Weather, Climate and Water Extremes (1970–2019). WMO-No. 1267. *WMO* <https://wmo.int/publication-series/wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climateand-water-extremes-1970-2019> (2021).
2. Christopher M. Taylor, Cornelia Klein, Emma J. Barton, Sebastian Hahn & Wolfgang Wagner Wind shear enhances soil moisture influence on rapid thunderstorm growth *Nature* 651,116-121 (2026)
3. Froidevaux P., Schlemmer L., Schmidli, J., Langhans, W. & Schär, C. Influence of the background wind on the local soil moisture–precipitation feedback. *J. Atmos. Sci.* 71, 782–799 (2014).
4. Taylor, C. M. et al. Frequency of Sahelian storm initiation enhanced over mesoscale soil-moisture patterns. *Nat. Geosci* 4, 430–433 (2011).
5. Birch, C. E., Marsham, J. H., Parker, D. J. & Taylor, C. M. The scale dependence and structure of convergence fields preceding the initiation of deep convection. *Geophys. Res. Lett.* 41, 4769–4776 (2014).
6. NSSL Research: Thunderstorms: <https://www.nssl.noaa.gov/research/thunderstorms>
7. Probability of thunderstorms in the territory of Georgia. I.Mkurnalidze, M.Tatishvili Proceedings of the International Conference Dedicated to the 90th Anniversary of the GTU (II), Tbilisi, 2012, 248-253p

8. Dynamics and Statistical Distribution of Hail and Lightning Processes in Georgia Against the Background of Global Climate Change M.Tatishvili, L.Kartvelishvili, I.Mkurnalidze, R.Meskhia Monograph / Publishing House "Mtsignobari" Tbilisi 2018, 146 p.
9. Mkurnalidze I., Kapanadze N. Dry Thunderstorm as a cause of forest fires. International Scientific Conference "Geophysical Processes in the Earth and its Envelopes" Proceedings, ISBN 978-9941-36-147-0, Tbilisi, Georgia, November 16-17, 2023. pp. 181-184.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124

UDC: 551.583

Modern Methods for Forecasting Convective Storms and the Role of Mesoscale Factors. /Kapanadze N., Mkurnalidze I., Meladze M./ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.118-124. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

The paper discusses the dynamics of increasing thunderstorm activity against the background of global climate change and modern methods for its forecasting. The article reviews the work dedicated to forecasting hazardous weather events by world-renowned scientific centers such as **NOAA HWT, NSSL, and NWS**. It analyzes the results of a large-scale study conducted by the **UK Centre for Ecology & Hydrology**, which demonstrates the decisive role of soil moisture contrasts and vertical wind shear in the initiation of extreme storms.

The study reviews synoptic, radar, satellite, and numerical forecasting methods, and highlights the potential of Artificial Intelligence (AI) in reflecting mesoscale processes. Special attention is paid to the region of Georgia as a lightning-prone zone. Based on the **Poisson equation**, probabilities of thunderstorm occurrence are presented for 15 climatic zones of Georgia, which is crucial for improving early warning systems and reducing economic losses.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124

უკ:551.583

კონვექციური შტორმების პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები და მეზომასშტაბური ფაქტორების როლი/ მკურნალიძე ირინე, კაპანაძე ნაილი, მელაძე მაია/სტუპ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ.118-124. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ნაშრომში განხილულია კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე ელქექური აქტივობის ზრდის დინამიკა და მისი პროგნოზირების თანამედროვე მეთოდები. სტატიაში მიმოხილულია მსოფლიოს წამყვანი სამეცნიერო ცენტრების (NOAA HWT, NSSL, NWS) მიღწევები ამინდის საშიში მოვლენების პროგნოზირების მიმართულებით. გაანალიზებულია ბრიტანეთის ეკოლოგიისა და ჰიდროლოგიის ცენტრის მასშტაბური კვლევის შედეგები, რომლებიც ადასტურებენ ნიადაგის ტენიანობის კონტრასტებისა და ვერტიკალური ქარის ქროლვის (WIND SHEAR) გადაწყვეტ როლს ექსტრემალური შტორმების ინიცირებაში.

ნაშრომში დეტალურადაა განხილული პროგნოზირების სინოპტიკური, რადიოლოკაციური, თანამგზავრული და რიცხვითი მეთოდები. ხაზგასმულია ხელოვნური ინტელექტის (AI) პოტენციური მეზომასშტაბური პროცესების მოდელირებაში. კვლევის პრაქტიკული ნაწილი ეთმობა საქართველოს, როგორც მაღალი ელქექური აქტივობის რეგიონს. პუასონის განტოლების გამოყენებით გამოთვლილია ელქექების ხდომილების ალბათობები საქართველოს 15 კლიმატური ზონისთვის, რაც ფუნდამენტური ადრეული შეტყობინების სისტემების დახვეწისა და ეკონომიკური ზარალის მინიმიზაციისთვის.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-118-124

УДК: 551.583

Современные методы прогнозирования конвективных штормов и роль мезомасштабных факторов Резюме / Мкურნალიძე ი.პ., Капанაძე ნ.ი., Мელაძე მ.გ./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с.118-124. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В работе рассматривается динамика роста грозовой активности на фоне глобального изменения климата и современные методы её прогнозирования. В статье представлен обзор работ, посвященных прогнозированию опасных погодных явлений, ведущих мировых научных центров, таких как **NOAA HWT, NSSL и NWS**. Проанализированы результаты масштабного исследования Центра экологии и гидрологии Великобритании, которые демонстрируют решающую роль контрастов влажности почвы и вертикального сдвига ветра в иницировании экстремальных штормов.

В работе рассматриваются синоптические, радиолокационные, спутниковые и численные методы прогнозирования, а также подчеркивается потенциал искусственного интеллекта в отражении мезомасштабных процессов. Особое внимание уделено территории Грузии как грозоопасному региону. На основе **уравнения Пуассона** рассчитаны вероятности возникновения гроз для 15 климатических зон Грузии, что имеет важное значение для совершенствования систем раннего оповещения и снижения экономического ущерба.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-125-136
UCD 504.5.054

Study of Batumi Atmosphere Pollution with Microparticles According to 2025 Operating Observation

* **Aleksandre A. Surmava, ***Francesco Sbrana, **Vepkhia G. Kukhalashvili, *Natia G.Gigauri, *Liana N. Intskirveli

* Institute of Hydrometeorology of the Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia,
**M. Nodia Institute of Geophysics of the I. Javakhishvili Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia
*** ARPAT - Regional Agency for the Environmental Protection of Tuscany, SIRA, Pisa, Italy
aasurmava@yahoo.com

Abstract.

Time behavior of atmospheric concentration of PM_{2.5} and PM₁₀ microscopic particles hazardous for health has been assessed by means of operating supervision data obtained from Batumi air quality monitoring stations. 2025 data obtained from two observation points of the city have been used for analysis. Variation range, range of maximum, minimum and average values of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations have been determined. Linear correlation coefficients between PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations have been calculated. It has been accepted that there is a large correlation relationship between them. Values of linear correlation coefficients between data taken from the same observation point and different observation points mainly exceed 0.9. It has been also accepted that concentrations are mainly within the permissible levels. Concentration surpassing over the maximum permissible values takes place in separate days only.

Key words: Air pollution, daily concentration, Particulate Matter.

Introduction.

Microparticles present in the atmosphere of urban territories, which sizes don't exceed 2.5 μm and 10 μm – PM_{2.5} and PM₁₀, are extremely hazardous for human and animal health. Due to small sizes, they easily penetrate human body, cause many types of diseases and even result in death [1-10]. That is why, protection of urban areas from microaerosol pollution is a critically important environmental problem.

This problem is especially noteworthy for large cities – administrative and industrial centers [11-14], as well as for small towns [15-17] – touristic and medical and health-promoting resorts, with gathering of large crowds for recreation and health-improving and curative measures takes place.

Over the last 5-8 years, important practical air-protecting measures have been carried out in the cities of Georgia, aimed to monitoring of PM_{2.5} and PM₁₀ pollution of atmospheric air of Georgian cities both through field observation and mathematical modeling [17-21].

Batumi, the second largest administrative and transport city of Georgia is a hub center connecting east and west, north and south. It links the Eastern Europe and Russia with countries of the lesser Asia. At the same time, it is a very important cultural and resort city, with millions of humans, coming here every year from different regions of the world and taking a rest here. That is why, preservation of clean air and ecologically safe environment of Batumi is an urgent problem.

An observation of air pollution with PM_{2.5} and PM₁₀ in the city of Batumi has been carried out since 2018. Now an observation is carried out at two automated monitoring stations located approximately 880 m apart, 600m from the sea is Central Park, 800m from the sea is T.Abuseridze.

Both stations are located in highly urbanized areas of the city. The station on T. Abuseridze Street is located in close proximity to one of the city's main central streets, while the second station is located in a green zone of the city, 100–150 meters away from central roads. Monitoring has been conducted by the Batumi branch of the National Environmental Agency of Georgia according to internationally recognized standard program [22]. The measures' are made by Physical and chemical methods of analysis (APDA-372 PM₁₀&PM_{2.5}HORIBA and statistical data processing methods (StatSoft STATISTIKA 10.0 portable, Microsoft®Excel219).

Observation data and research results.

The pattern of Batumi atmospheric air pollution with PM_{2.5} and PM₁₀ particles has been analyzed in the presented article based on 2025 operating observation data [22]. Fig. 1-12 show a monthly variations of the average daily concentration (ADC) of PM_{2.5} and PM₁₀ during 12 months of 2025, at operating observation points located on T. Abuseridze Street and in the Central Park of city. Maximum permissible ADC of PM_{2.5} and PM₁₀ are equal to 25 μg/m³ and 50 μg/m³, respectively [22, 23].

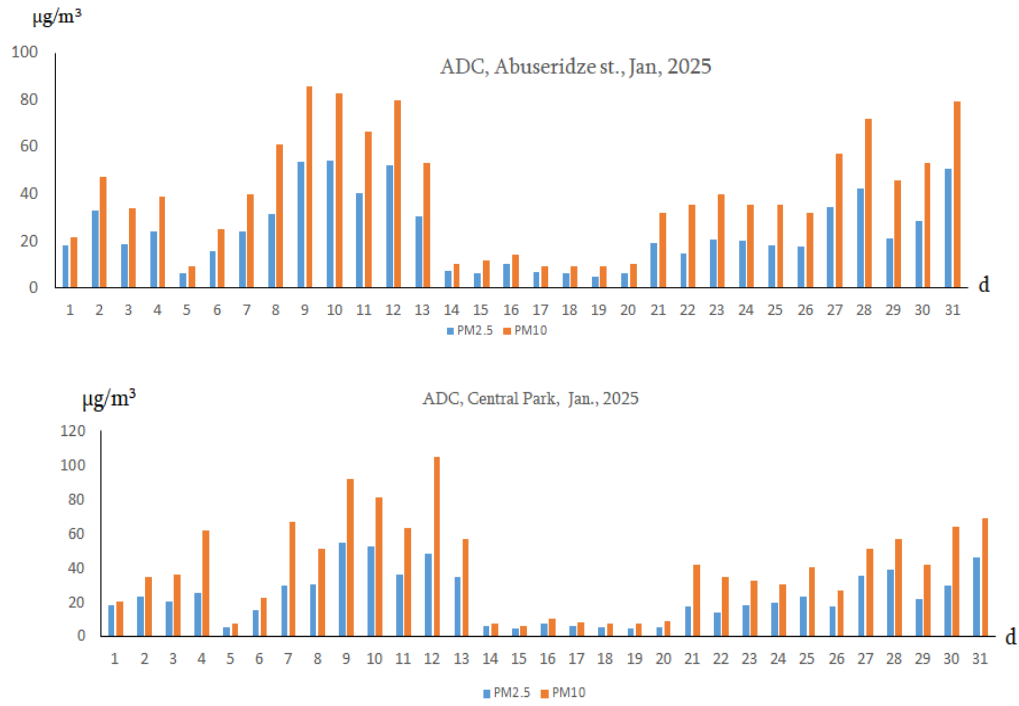


Fig. 1. ADC of PM2.5 and PM10 in January at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

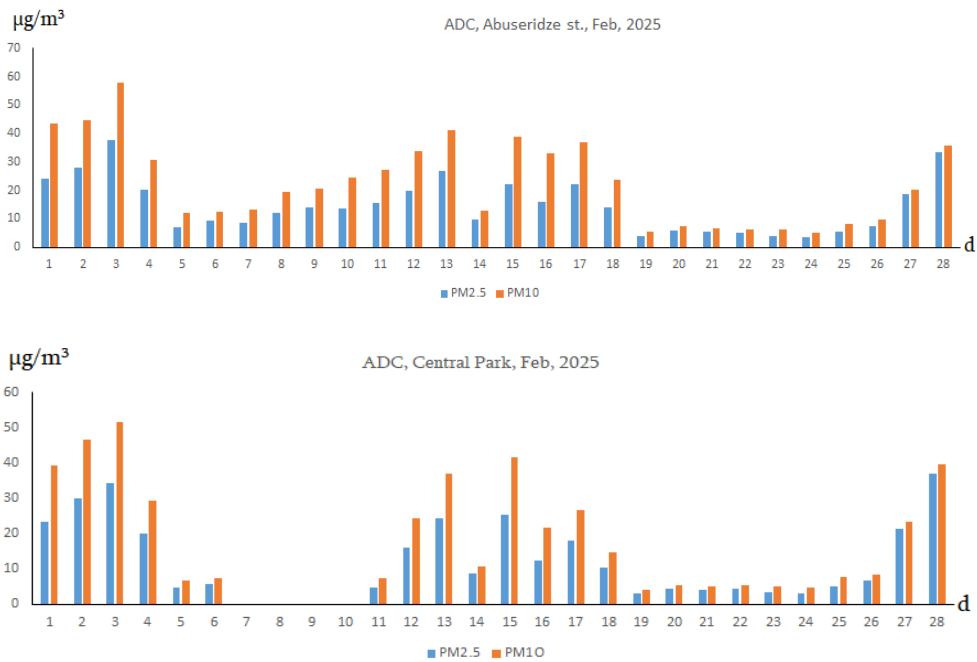


Fig. 2. ADC of PM2.5 and PM10 in February at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

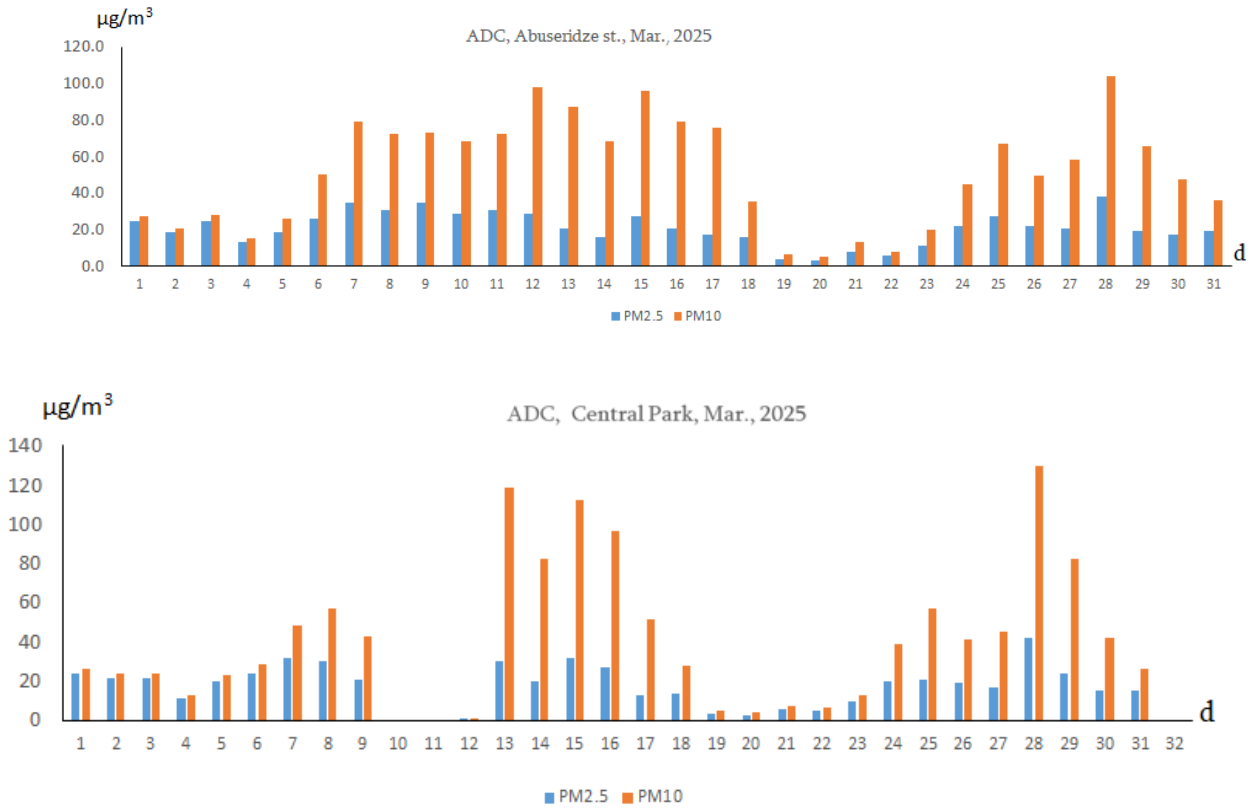


Fig. 3. ADC of PM2.5 and PM10 in March at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

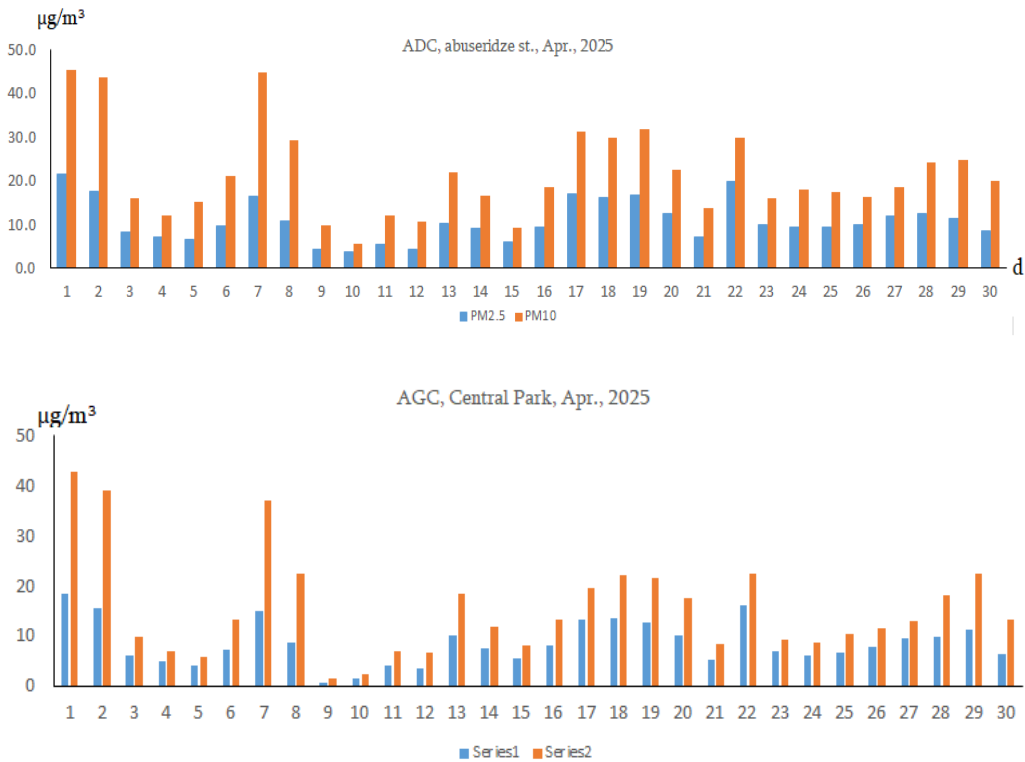


Fig. 4. ADC of PM2.5 and PM10 in April at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

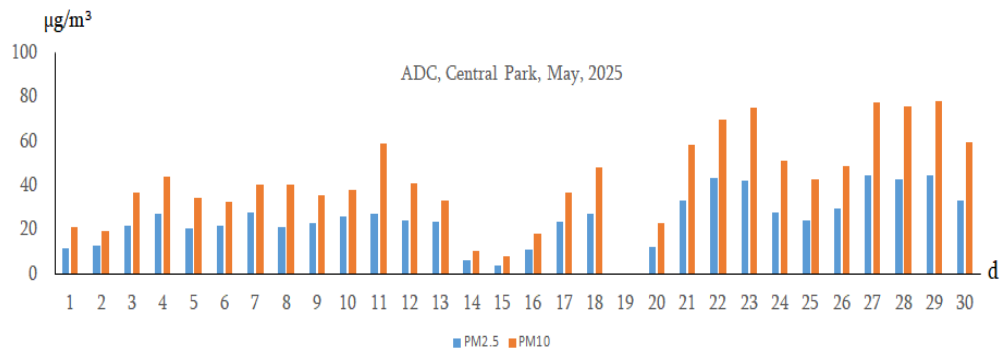
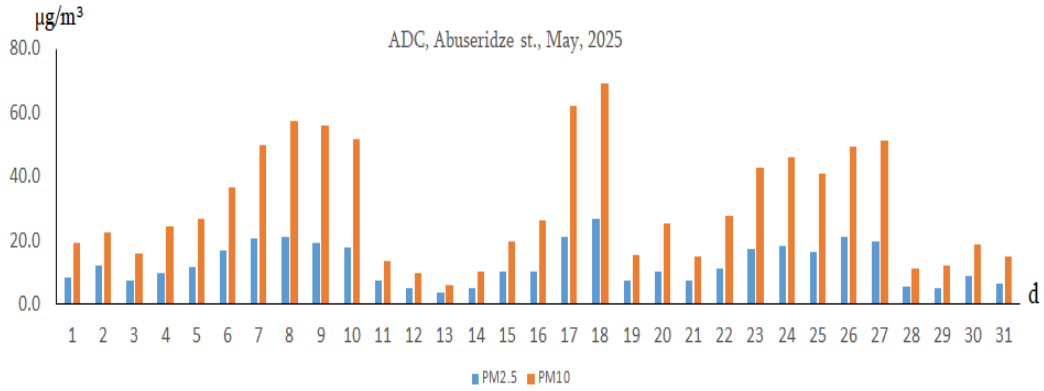


Fig. 5. ADC of PM2.5 and PM10 in May at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

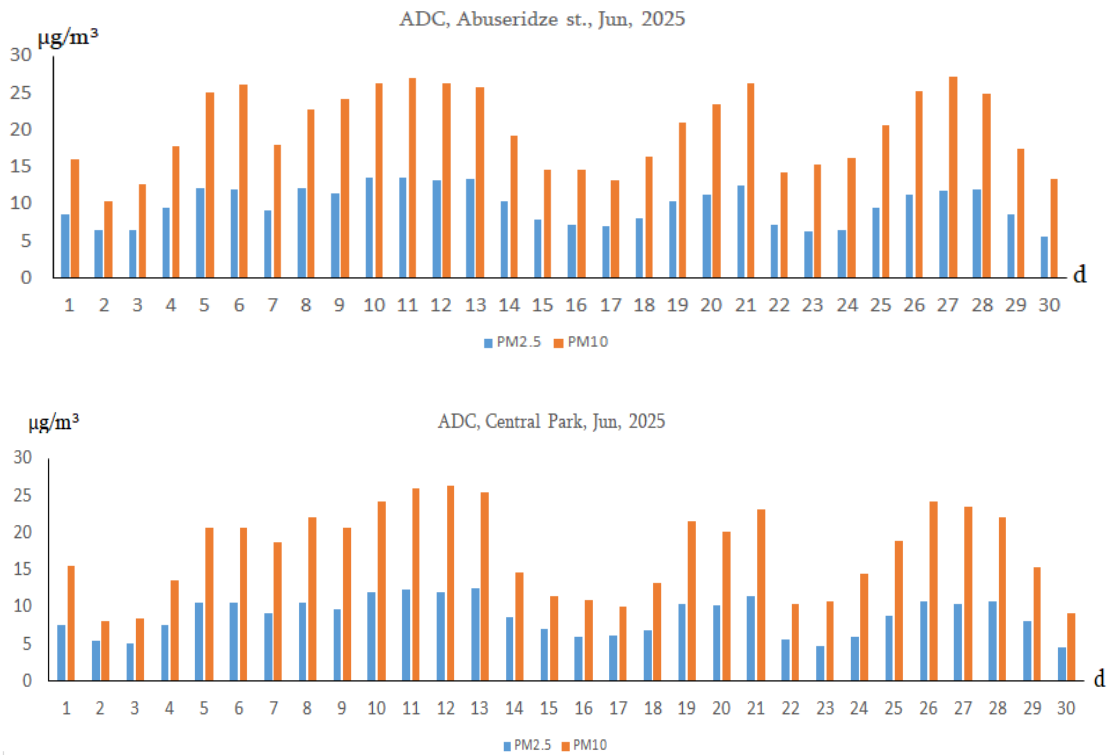


Fig. 6. ADC of PM2.5 and PM10 in June the observation points T. Abuseridze and Central Park.

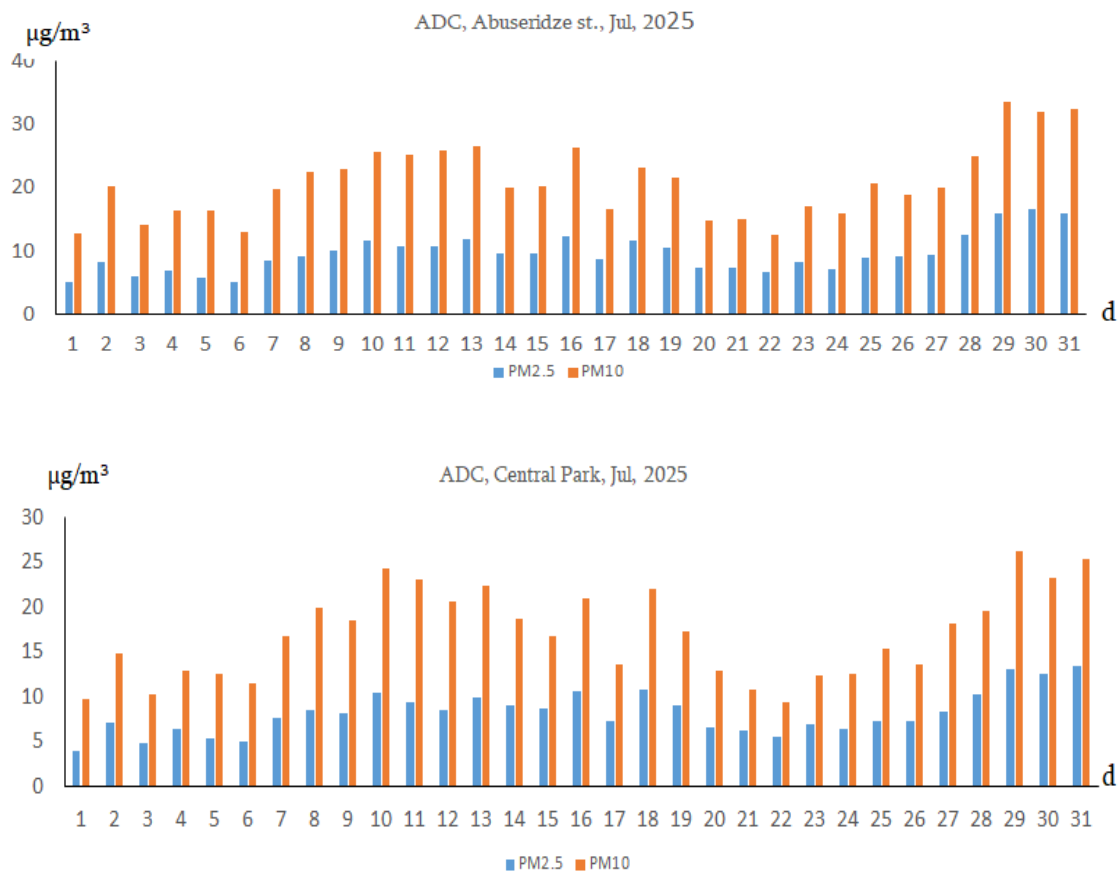


Fig. 7. ADC of PM2.5 and PM10 in July at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

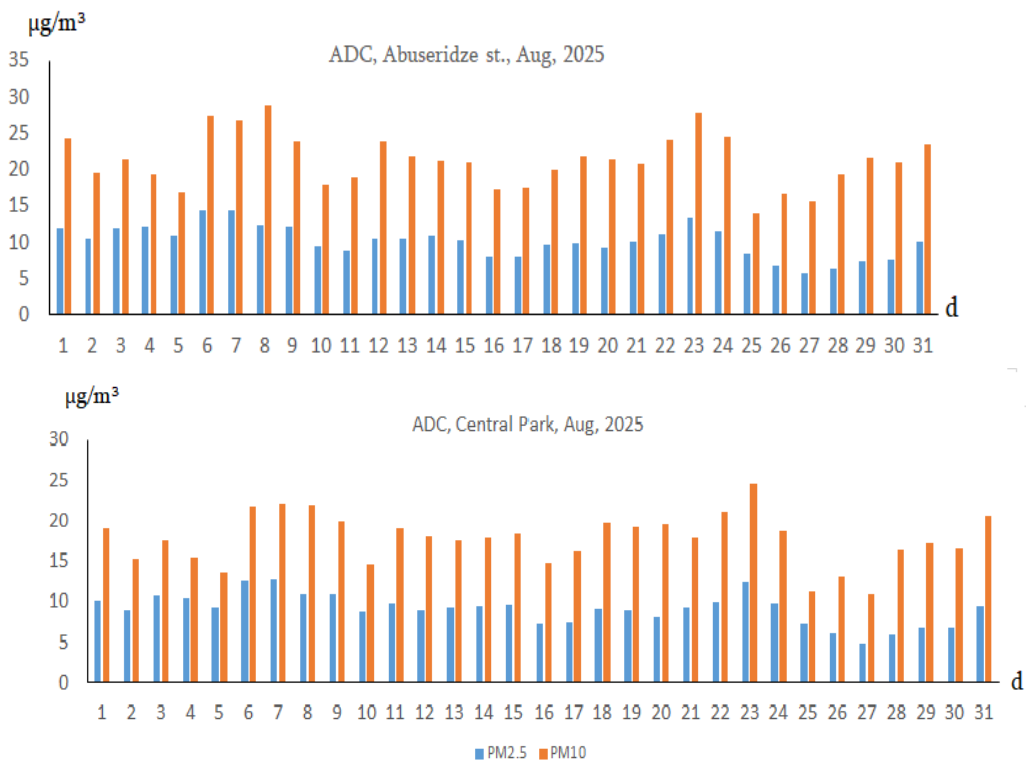


Fig. 8. ADC of PM2.5 and PM10 in August at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

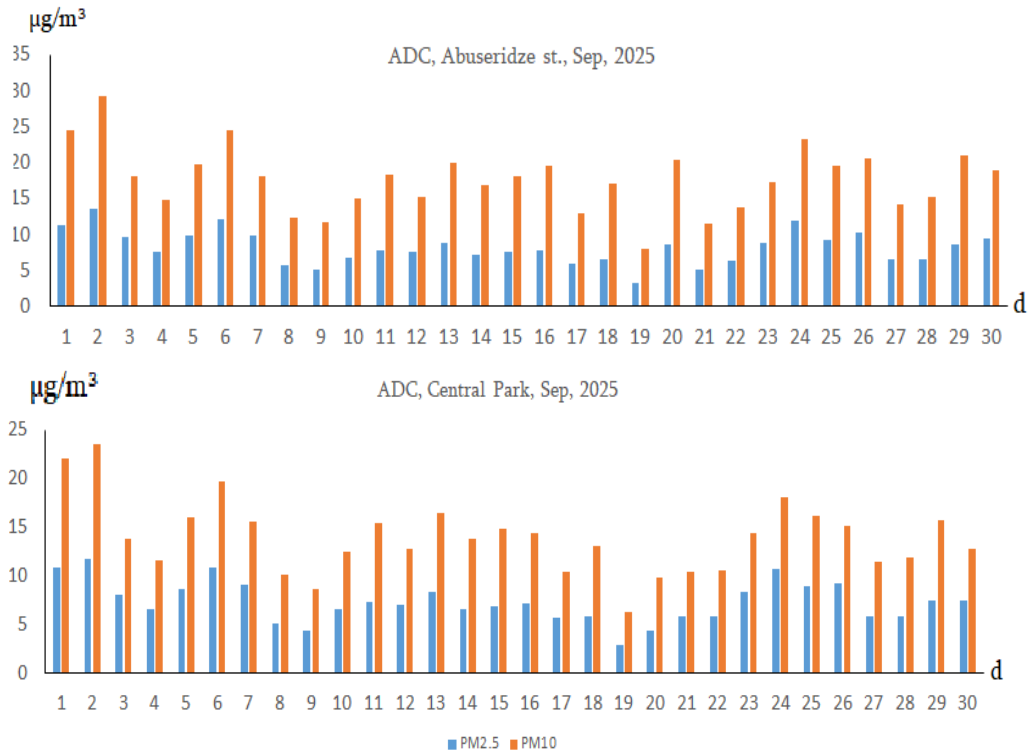


Fig. 9. ADC of PM2.5 and PM10 in September at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

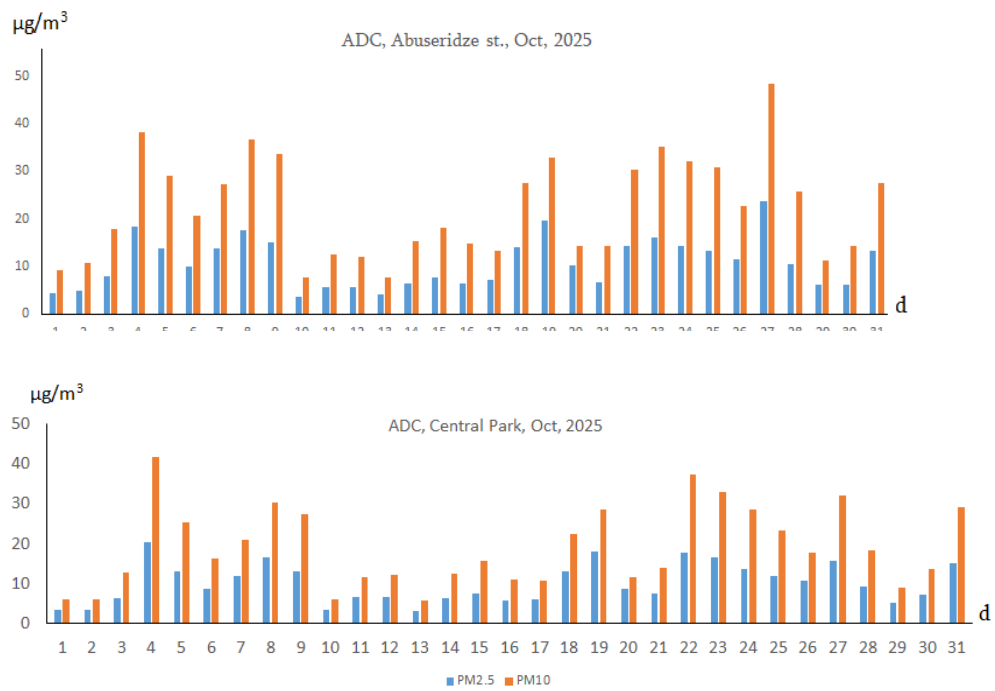


Fig. 10. ADC of PM2.5 and PM10 in October at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

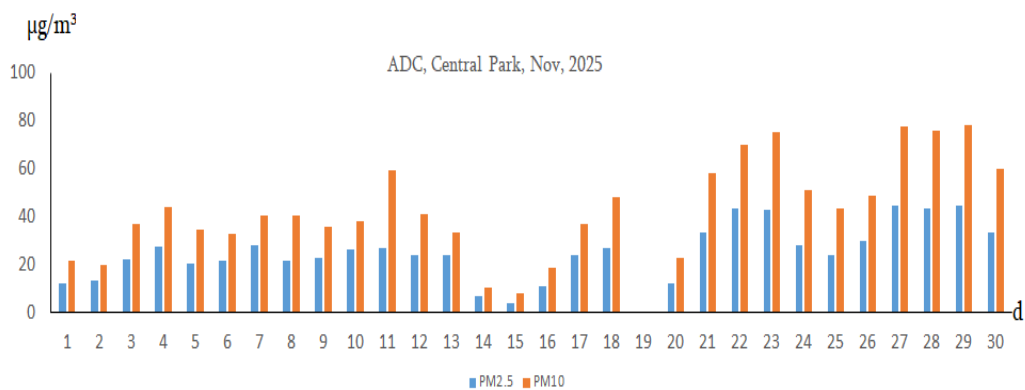
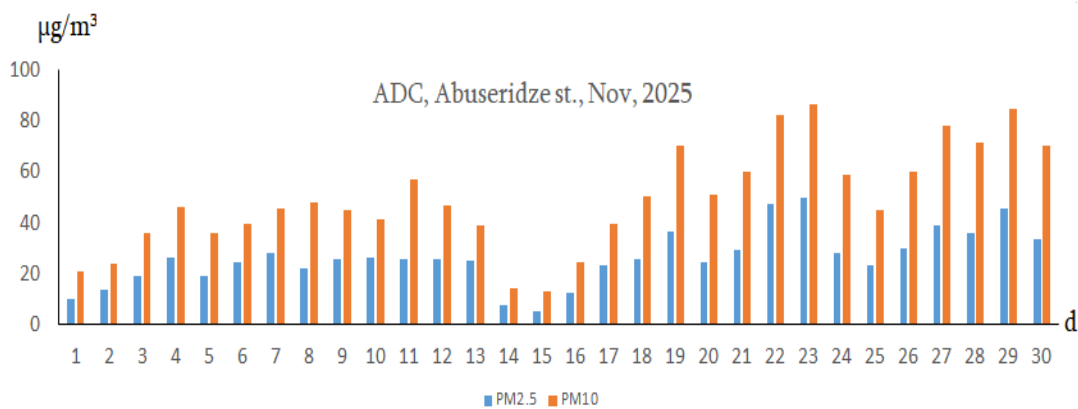


Fig. 11. ADC of PM2.5 and PM10 in November at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

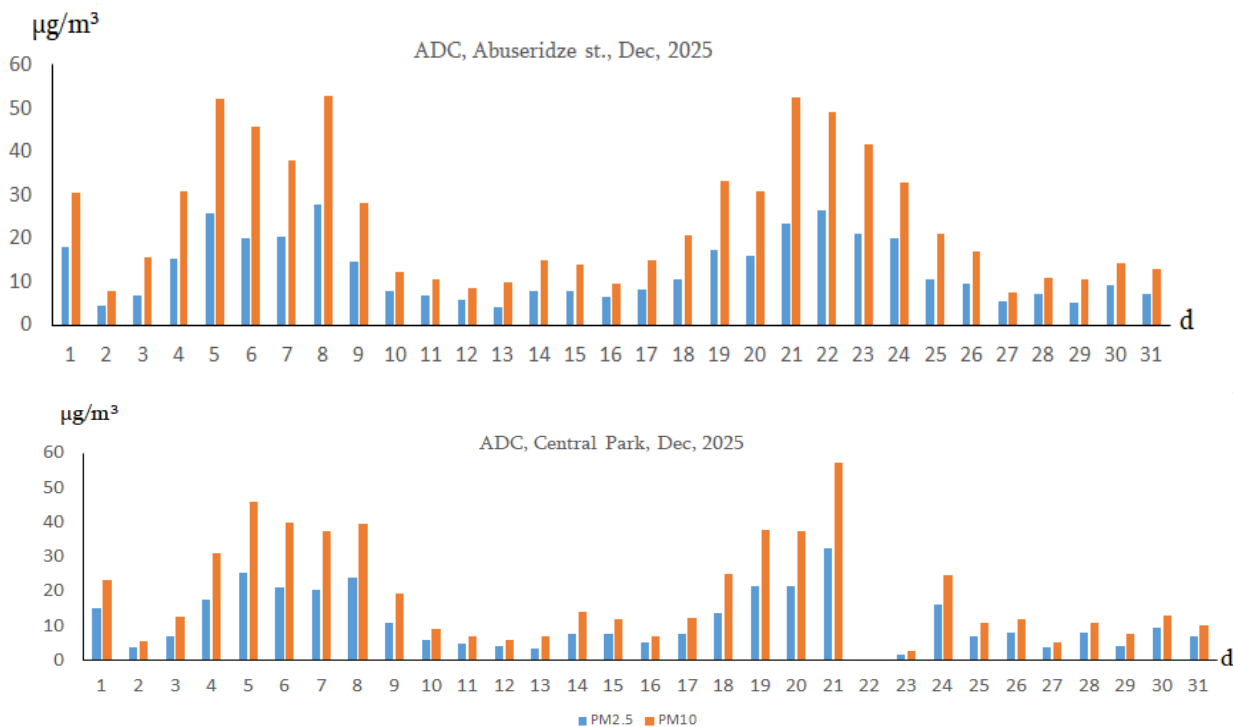


Fig. 12. ADC of PM2.5 and PM10 in December at the observation points T. Abuseridze and Central Park.

It is seen from the Figures that microaerosol concentrations are mainly varied in synchronism: concentration of PM2.5 is always less than PM10 concentration; the range of its increase/decrease coincide in time with those of PM10. Monthly

numbers of increase/decrease ranges are within 2-4, while duration of every single time interval varies from 3 to 8. The mentioned effect is presumably associated with change of local meteorological conditions. At the same time, some deviations from common pattern – short-term (one-day) drastic changes of concentration – take place. For instance, one-day sharp increase of concentration are observed on 12th, 31st of January 14th of February etc.

Concentration change statistics can be characterized by means of data presented in Table 1 and Table 2, where numerical values of statistical characteristics of PM2.5 and PM10 concentrations calculated by Exel are given. It is seen from Table 1 that a minimal value of ADC of PM2.5 concentration on T. Abuseridze Street varies within a range of 1.9-5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, while an average value – 10.1 – 26.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and maximal – 13.5 – 58.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For PM10, these data are as follows: 5.0-13.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 17.6 -51.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 27.5 – 104.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. As for the PM10/PM2.5 ratio, its values vary within following ranges: minimal – 1.1-1.9, average – 1.7-2.4, and maximal – 2.1-4.5. In some days, the exceedance of average daily concentrations over maximum permissible average hourly concentrations is obtained. In case of PM2.5 particles, the mentioned exceedance took place during 44 days throughout 2025, while for PM10 – during 46 days. Correlation between PM2.5 and PM10 concentrations is quite high. Linear correlation values mainly exceed 0.90. Only in two months, in March and August, linear correlation coefficients are less than 0.9 and equal to 0.80 and 0.76 in observation points located on T. Abuseridze Street and in the Central park.

Table 1. Statistical characteristics of PM2.5 and PM10 concentrations. Batumi, 2025, T. Abuseridze Street.

Month	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				PM10/PM2.5			PM10, M2.5 Correl. Koeff
	Min	Aver	Max	>MPC	Min	Aver	Max	>MPC	Min	Aver	Max	
Jan	5.0	23.7	53.9	11	9.0	39.3	85.9	10	1.2	1.7	2.4	0.98
Febr	3.4	14.8	58.0	4	5.0	22.8	58.0	1	1.1	1.5	2.1	0.96
March	3.2	11.1	38	10	5.1	51.4	104.0	15	1.1	2.4	4.5	0.80
April	3.8	10.7	21.8	0	5.5	21.5	45.4	0	1.5	2.0	2.8	0.92
May	3.6	12.6	26.7	1	5.8	30.6	69.4	5	1.6	2.3	2.9	0.99
June	5.5	9.8	13.6	0	10.3	19.4	27.5	0	1.6	2.0	2.5	0.96
July	5.0	9.6	16.6	0	12.4	20.8	33.4	0	1.9	2.2	2.8	0.96
Aug	5.7	10.1	14.7	0	13.9	21.2	28.8	0	1.5	2.1	3	0.76
Sept	1.9	8.2	13.5	0	8.1	17.6	29.2	0	1.8	2.2	2.7	0.95
Oct	3.5	10.7	23.6	0	7.7	22.3	48.3	0	1.4	2.1	2.7	0.97
Nov	5.1	26.2	49.8	16	12.9	49.4	86.3	13	1.6	1.9	2.5	0.99
Dec	4.1	12.8	27.7	2	7.4	24.2	53.0	2	1.4	1.9	2.4	0.98

In terms of quantity, the data observed in the air Central Park quality are similar to concentrations values obtained on T. Abuseridze Street. In particular, minimal value of PM2.5 average daily concentration varies within a range of 0.13-6.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, average one – 7.3-25.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and maximal – 11.8 – 54.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. For PM10 particles, these data are as follows: 0.5-10.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 13.9-43.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 20.4-129.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. As for the PM10/PM2.5 ratio, its values vary within following ranges: minimal – 1.1-1.7, average – 1.7-2.4, and maximal – 2.1-4.5.

Table 2. Statistical characteristics of PM2.5 and PM10 concentrations. Batumi, 2025, the Central Park.

Month	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				PM10/PM2.5			PM10, M2.5 Correl Coeff
	Min	Ave r	Max	>PMC	Min	Aver	Max	>PMC	Min	Av er	Max	
Jan	4.2	22.9	54.6	13	6.2	40.9	104.5	12	1.1	1.7	2.5	0.95
Febr	2.2	12.7	36.8	4	4.0	18.8	51.5	1	1.1	1.4	1.8	0.99
Mar	0.13	18.4	47.9	5	0.5	43.9	129.8	9	1.1	2.3	4.2	0.80
Apr	6.9	8.5	18.3	0	1.5	15.4	43.6	0	1.1	1.8	2.6	0.92
May	2.5	11.1	25.1	1	3.9	27.0	73.0	4	1.6	2.2	3.4	0.98
June	4.6	8.7	12.4	0	8.1	17.5	26.2	0	1.5	2.0	2.4	0.97
July	4.1	8.2	13.3	0	9.46	16.9	20.4	0	1.7	2.1	2.5	0.94
Aug	4.9	9.15	12.9	0	10.9	17.2	24.5	0	1.4	2.1	2.7	0.74
Sept	6.2	7.3	11.8	0	2.9	13.9	23.5	0	1.6	1.9	2.2	0.95
Oct	3.2	10.1	20.3	0	5.6	19.0	41.6	0	1.4	1.9	2.1	0.95
Nov	4.15	25.6	44.7	14	8.1	43.1	78.4	9	1.4	1.7	2.2	0.98
Dec	1.7	11.5	18.9	2	2.6	18.9	57.1	1	1.3	1.6	2.1	0.99

As for exceedance of ADC concentrations over maximum permissible ADC, it took place during 39 days in case of PM2.5 and 36 days – for PM10. Correlation between PM2.5 and PM10 concentration is very high. The value of linear correlation coefficient between them mainly exceeds 0.90. Only in two months, in March and August, linear correlation coefficients are less than 0.9 and equal to 0.80 and 0.74.

Table 3. Values of linear correlation coefficient between PM2.5 and PM10 concentration in the observation points T. Abuseridze and the Central Park and number of cases with concentration exceedance PM2.5 C.P. > PM2.5 Abu. და PM10 C. P> PM10 Abu.

Month	Jen	Febr	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
PM2.5	0.98	0.96	0.75	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97	0.93	0.93	0.95	0.83
PM10	0.93	0.94	0.77	0.97	0.97	0.96	0.95	0.90	0.92	0.93	0.96	0.82
PM2.5 C.P. >PM2.5Abu.	10	4	8	0	2	1	1	1	1	8	12	10
PM10 C.P. >PM10Abu.	10	4	7	0	3	2	0	1	0	4	4	5

It is seen from Fig. 3, that there is a very high correlation between concentrations observed on T. Abuseridze Street and at the Central Park territory. At the same time, pollution level at the Central Park territory is mainly less than that registered on T. Abuseridze Street. Only during 4-12 days of January-March and October-December, average daily concentrations are higher than values observed on T. Abuseridze Street.

Conclusion. Availability of high linear correlation relationship between concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ particles both between data of the same observation point and different observation points, as well as similarity between a range of high, average and low values points at the fact that air pollution with PM particles in the vicinity of two observation points is formed by one and the same pollution source. (avtotransporti amoviRe)

Analysis of variation range of PM_{2.5} and PM₁₀ concentrations, and the small number of those days, when an average daily concentration exceeds maximum permissible concentration, enable us to make conclusion that city of Batumi, according to its atmospheric air purity, may be placed into a category of slightly polluted cities. At the same time, proceeding from complex terrain of the city and adjacent territories and city urbanization nature, for improve air quality assessment is deemed reasonable to increase a number of observation points situated in the city. For this purpose, the frequent observation low-cost sensor networks introduced in Europe can be used [24-27].

Acknowledgment. The scientific research has been funded and performed within the frameworks of the Grant project FR-24-223 of the Shota Rustaveli National Scientific Foundation.

ლიტერატურა-REFERENCES

1. Nemery B., Hoet P. H., Nemmar A.. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)04135-0
2. Bell M. L, Davis D.D. Reassessment of the lethal London fog of 1952: novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. *Environ Health Perspect.* 2001;109(3):389–394. doi: 10.1289/ehp.01109s3389.
3. Pope C.A., Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D. et al. (2002) Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *J. Am. Med. Assoc.*, 287: 1132–1141.
4. World Health Organization. Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air–REVIHAAP Project (2022) First result. <https://media.xpair.com › pdf › REVIHAAP>
5. Mortality and burden of disease from ambient air pollution-WHO. 2020. https://www.who.int/gho/phe/outdoor_air_pollution/burden/en/
6. World's most polluted cities (historical data 2017-2022). <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities>
7. Anonymous. “History | Clean Air Act | US EPA”. *US Environmental Protection Agency*, 16 Nov 2010. http://www.epa.gov/air/caa/caa_history.html. Accessed on 22 July 2011
8. Jonathan O. Anderson, Josef G. Thundiyil, Andrew Stolbach. Clearing the Air: A Review of the Effects of Particulate Matter Air Pollution on Human Health. 2011 Dec 23;8(2):166–175. doi: [10.1007/s13181-011-0203-1](https://doi.org/10.1007/s13181-011-0203-1)
9. Integrated Science for Particulate Matter. 2019. EPA. United States Environmental Protector Agency. p. 1967. EPA/600/R-19/188. www.epa.gov/isa.
10. Jacob S. Lefler, Joshua D. Higbee, Richard T. Burnett, Majid Ezzati, Nathan C. Coleman, Dalton D. Mann, Julian D. Marshall, Matthew Bechle, Yuzhou Wang, Allen L. Robinson and C. Arden Pope III. Air pollution and mortality in a large, representative U.S. cohort: multiple pollutant analyses, and spatial and temporal decompositions. *Environmental Health*, volume 18, Article number: 101 (2019).
11. World’s polluted countries & regions. <https://www.iqair.com/world-most-polluted-countries>
12. Most Polluted Cities in the World. <http://earth.org/most-polluted-cities-in-the-world/The-5-most-polluted/cleanest-countries-in-the-world-where-does-Georgia-rank/> <https://commersant.ge/news/world/msoflioshi-5-yvelaze-dabindzurebulisufta-qveyana-romel-adgilzea-saqartvelo>.
13. List of countries by air pollution. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_air_pollution
14. Agrawal G., Mohan D., Rahman H. Ambient air pollution in selected small cities in India: Observed trends and future challenges. *IATSS Research*. Volume 5, Issue 1, April 2021, Pages 19-30. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2021.03.004>
15. Kobza J., Geremek M., Dul L. Characteristics of air quality and sources affecting high levels of PM₁₀ and PM_{2.5} in Poland, Upper Silesia urban area. *Environmental Monitoring and Assessment*, volume 190, Article number: 515. 2018.
16. Gigauri N., Intskirveli L, Surmava A. Study of Rustavi City Atmospheric Pollution with Particulate Matter - PM_{2.5} and PM₁₀. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*. 2023, vol. 17, no. 4, pp. 74-80.

17. Gigauri N., Intskirveli L., Surmava A., Kukhalashvili V.. The Results of Kutaisi City Atmospheric Air Pollution with PM Particles, Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences., v.18. 18, No. 3, 2024, ISSN - 0132 – 1447. Pp. 90-96.
18. Surmava A. A., Kukhalashvili V. G., Gigauri N. G., Intskirveli L. N.. Study of Kutaisi City Atmospheric Air Pollution with PM10 Particles using Numerical Modeling. A Case of Fresh Western Background Breeze. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 27(1), 2024, pp. 19 – 24. e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127.
19. Surmava, A., Gigauri, N., Kukhalashvili, V., Intskirveli, L. Assessment of Kutaisi City Atmospheric Air Pollution with the High-Risk-Factor PM2.5 Particle by Means of Numerical Modeling. RT&A, Special Issue No.9(87), Volume 20, November 2025, pp.137-1267.
20. Surmava A., Gigauri N., Intskirveli L., Dumbadze G. PM10 concentration distribution in surface layer of the atmosphere of Kutaisi city, Georgia - during calm weather. Proceedings of the Twelfth International Conference on Environmental Management, Engineering, Planning & Economics. Mykonos island, Greece, May 25-29, 2025. ISBN: 978-618-5710-90-3, pp. 67-75.
21. Surmava A. A., Kukhalashvili V. G., Gigauri N. G., Intskirveli L. N., Gverdtseteli L.V. Numerical Modeling of Kutaisi City Atmospheric Air Pollution with PM2.5 Particles in Winter During Ground Level Calm and Background Eastern Wind in the Free Atmosphere. Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v. 28(1), 2025, pp. 40 - 49 e-ISSN: 2667-9973, p-ISSN: 1512-1127.
22. Air.gov.ge. <https://air.gov.ge/>
23. EU air quality standards. https://environment.ec.europa.eu/topics/air/air-quality/eu-air-quality-standards_en
24. Stefano C., Di Pietro A., Pollino M., Taraglio S. Urban Air Pollutant Monitoring through a Low-Cost Mobile Device Connected to a Smart Road. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022, 11(2), 132; <https://doi.org/10.3390/ijgi11020132>
25. Online the 2022 Air Quality Assessment Report for the Po Valley Basin and Slovenia. <https://www.lifeprepare.eu/index.php/2023/06/22/online-the-2022-air-quality-assessment-report-for-the-po-valley-basin-and-slovenia/?lang=en>
26. ARPA Emilia-Romagna. Studio invernale sulla qualità dell'aria a Ferrara 2023. Bologna, 2024. <https://www.arpae.it/it/notizie/la-qualita-dellaria-nel-2024-in-emilia-romagna>
27. Di Pietro A. , Maurizio Pollin M., Taraglio S. Urban Air Pollutant Monitoring through a Low-Cost Mobile Device Connected to a Smart Road. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* 2022, 11(2), 132; <https://doi.org/10.3390/ijgi11020132>

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-126-136

უკ 504.5.054

ქ. ბათუმის ატმოსფეროს მიკრო ნაწილაკებით დაზიანებების კვლევა 2025 წლის ოპერატიული დაკვირვების მიხედვით /ა. სურმავა, გ. სბრანა, ვ. კუხალაშვილი, ლ. ინჭკირველი, ნ. გიგაური/სტუ ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026. ტ.139. გვ.125-136, ინგ., რუზ.: ქართ., ინგ., რუს.

ქ. ბათუმის ჰაერის ხარისხის მონიტორინგის სადგურების ოპერატიული დაკვირვების მონაცემების ანალიზის საშუალებით შეფასებულია ატმოსფერულ ჰაერში ჯანმრთელობისათვის საშიში მიკროსკოპული ნაწილაკების PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციების დროში ცვლილების ხასიათი. ანალიზისათვის გამოყენებული ქალაქის ორ სადამკვირვებლო პუნქტის 2025 წლის მონაცემები. განსაზღვრულია PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციათა ცვლილების დიაპაზონი, მაქსიმალური, მინიმალური და საშუალო მნიშვნელობათა ინტერვალები. გამოთვლილია PM2.5 და PM10-ის კონცენტრაციებს შორის წრფივი კორელაციის კოეფიციენტები. მიღებულია, რომ მათ შორის არსებობს დიდი კორელაციური კავშირი. წრფივი კორელაციის კოეფიციენტების სიდიდეები ერთი და იგივე დაკვირვების პუნქტისა და სხვადასხვა დაკვირვების პუნქტების მონაცემებს შორის ძირითადად აღემატება 0.9. ასევე, მიღებულია, რომ კონცენტრაციები ძირითადად დასაშვები ნორმის ფარგლებშია. კონცენტრაციის ზღვრულად დასაშვებ მნიშვნელობაზე გადაჭარბებას ადგილი აქვს მხოლოდ ცალკეულ დღეებში.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-125-136

UDC 504.5.054

Study of c. Batumi Atmosphere Pollution with Microparticles According to 2025 Operating Observation/Aleksandre A. Surmava, Francesco Sbrana, Vepkhia G. Kukhalashvili, Natia G.Gigauri, Liana N. Intskirveli/ Transactions IHM,GTU. -2026. -vol.139. -pp. 125-136 . Eng., Summ.: Georg., Eng. Rus.

Time behavior of atmospheric concentration of PM2.5 and PM10 microscopic particles hazardous for health has been assessed by means of operating supervision data obtained from Batumi air quality monitoring stations. 2025 data obtained from two observation points of the city have been used for analysis. Variation range, range of maximum, minimum and average values of PM2.5 and PM10 concentrations have been determined. Linear correlation coefficients between PM2.5 and PM10 concentrations have been calculated. It has been accepted that there is a large correlation relationship between

them. Values of linear correlation coefficients between data taken from the same observation point and different observation points mainly exceed 0.9. It has been also accepted that concentrations are mainly within the permissible levels. Concentration surpassing over the maximum permissible values takes place in separate days only.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-125-136

УДК 504.5.054

Исследование загрязнения атмосферы г. Батуми микрочастицами на основе данных оперативного наблюдения 2025 года /Сурмава А.А., Франческо Сбрана, Кухалашвили В.Г., Гигаური Н.Г., Инцкирвели Л.Н. / Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. – ст. 125-136. Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Динамика изменения концентрации в атмосфере г. Батуми опасных для здоровья микроскопических частиц PM_{2.5} и PM₁₀ оценивалась на основе данных оперативного мониторинга, полученных со станций контроля качества воздуха в г. Батуми. Для анализа использованы данные за 2025 год, полученные с двух точек наблюдения в городе. Определены диапазон колебаний, диапазон максимальных, минимальных и средних значений концентраций PM_{2.5} и PM₁₀. Рассчитаны линейные коэффициенты корреляции между концентрациями PM_{2.5} и PM₁₀. Получено, что между ними существует сильная корреляция. Значения коэффициентов линейной корреляции между данными, полученными из одной и той же точки наблюдения и из разных точек наблюдения, в основном превышают 0,9. Также получено, что концентрации микрочастиц в основном находятся в пределах допустимых уровней. Превышение концентрации над максимально допустимыми значениями наблюдается только в отдельные дни.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-137-142

UDC: 551.4; 551.31

Principles of compiling an inventory map of geological processes using the example of Chiatura Municipality

*Rikadze Z., **Shavliashvili L., **Kuchava G., **Shubladze E.,

***Gavardashvili G., ***Modebadze S.

* National Environmental Agency of the Ministry of Environment Protection and Agriculture of Georgia

** Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University

*** Tsoetne Mirtskhulava Institute of Water Management, Georgian Technical University

Zurab.Rikadze@nea.gov.ge

**The research was performed with the support of the Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia,
Grant No. FR-23-6375**

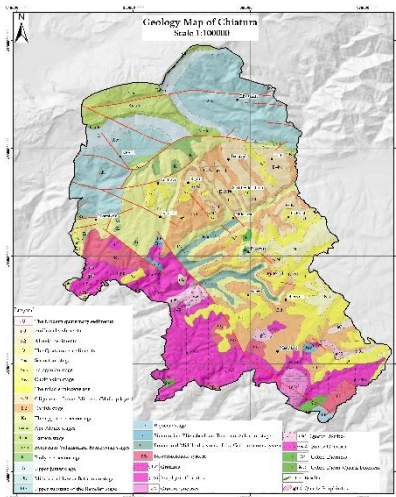
Abstract. In Georgia, in the Chiatura municipality, one of the main problems is the activation of natural disasters (landslides, mudflows, rockfalls, floods, winds, erosion, etc.), which, along with natural factors, is facilitated by anthropogenic impacts. Of the above processes, landslides and erosion are the most characteristic and the biggest problem for the Chiatura municipality, the formation and activation of which is associated with both naturally formed complex geological, morphological and climatic conditions, and human activity, including large-scale mining and quarrying activities. Within the framework of the project, a large-scale (1:25,000 or 1:10,000) geological hazard zoning map will be created, which will be one of the main results of the project and will have both scientific and applicable meaning significance. It will then be used in the municipality for a sharp mitigation of the geocological situation and as a basic basis for the targeted development of the territory.

Before creating the geological hazard zoning map, an inventory map was developed in the ArcMap program, which reflects the spatial distribution of natural geological processes. This map is one of the important bases for compiling the geological hazard zoning map. It shows natural geological processes that have occurred in the past or have recently developed, and this information was reflected on the basis of processing historical fund materials and field geological surveys. In addition, the intensity of erosion processes was assessed based on field-scientific surveys and the results obtained.

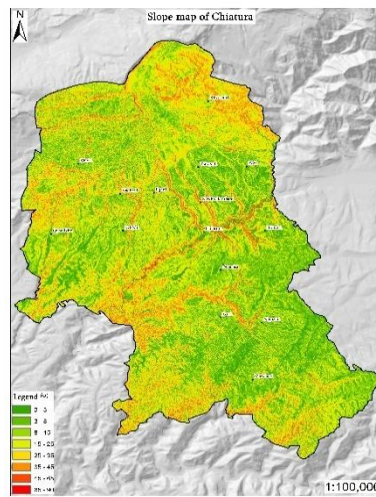
Keywords: Chiatura Municipality, natural disasters, inventory map, landslide, water erosion.

Introduction

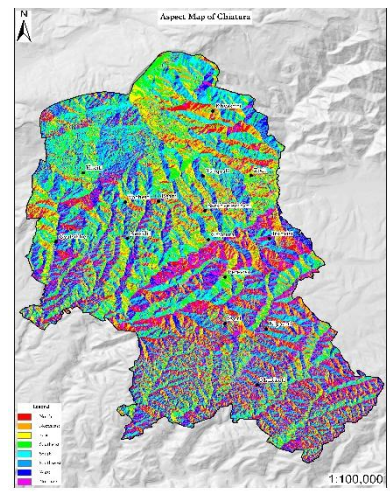
In Georgia, one of the most vulnerable places in terms of geocological conditions is the Chiatura municipality, the main problem of which, against the backdrop of climate change, is the activation of natural disasters (landslides, mudflows, floods, winds, erosion, etc.), which, along with natural factors, is facilitated by anthropogenic impacts, including the intensification of mining activities (manganese production) in the municipality. Ore mining is associated with many controversial issues. On the one hand, it is a source of income and new job creation. However, it causes significant damage to the environment and the local population. Deforestation and destruction of vegetation cover over large areas are possible; the landscape is very degraded, which has a significant negative impact on biodiversity; pollution of ecosystems and food products is likely; Soil degradation, big material losses, etc. [1]. Due to this, the socio-economic situation of the population is significantly deteriorating and migration processes are becoming more active [2,3]. The issue is important for mountainous regions, including the territory of Chiatura municipality, whose population has been experiencing extremely negative impacts of landslide-gravitational processes and ore mining for more than a century. The purpose of the study is precisely to identify natural geological processes in the target area and use modern methodology to regionalize the entire territory of the municipality according to various categories of natural hazards. This will allow us to reduce the negative consequences caused by natural geological processes and to properly plan the territories.



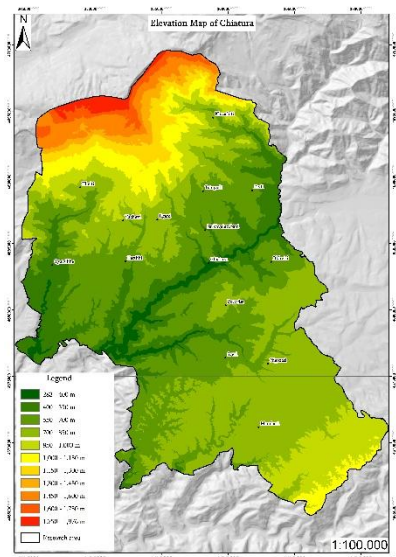
Geological map



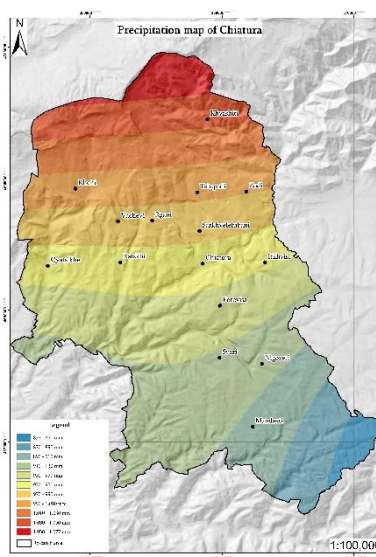
Slope map



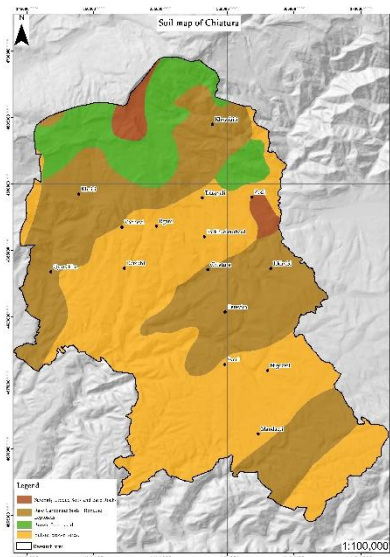
Aspect map



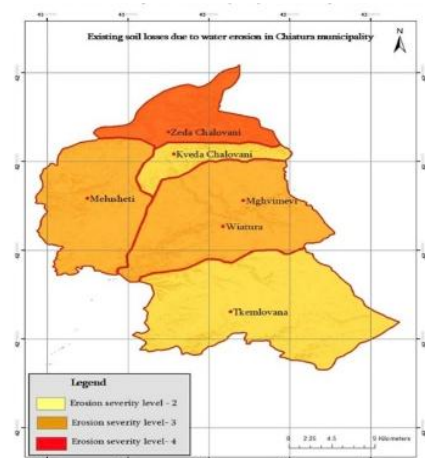
Elevation map



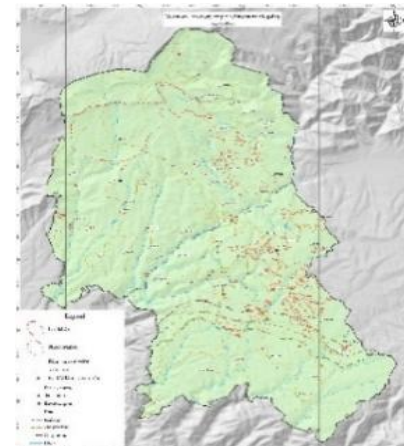
Rainfall map



Soils map



Water erosion map



Inventory map

Research area and methods

According to the morphological division of the relief of Georgia [4], the study area practically entirely falls within the boundaries of the intermountain plain zone of the Imereti Upland. The hilly, low and medium-mountainous relief of the Imereti Upland is divided by a frequent network of erosional valleys. Within the upland, the Chiatura structural plateau is distinguished, which extends over the Dzirula-Kvirila watershed and the right side of the Kvirila River gorge. The relief is mostly undulating and dissected.

The geological structure of Chiatura Municipality includes a wide range of sedimentary, magmatic, and metamorphic formations, the age range of which, with minor outliers, ranges from the Upper Proterozoic (Neoproterozoic) to the modern period. Landslide-gravity processes are widespread in Chiatura Municipality. Their development is associated with both natural and anthropogenic (technogenic) factors. Accordingly, the landslides that have developed here can be divided into two types according to their genesis or origin: landslides caused by natural factors and landslides caused by natural-technogenic factors. The development of landslides of the first type is directly related to the complex geological structure of the territory, morphological conditions, climate, etc., while the development of landslides of the second type is related to natural factors and partially to anthropogenic factors, including manganese mining in Chiatura.

Within the framework of the study, an inventory map of hazardous (natural) geological processes within the borders of Chiatura Municipality was compiled, for which both historical fund materials and field geological surveys were processed. The inventory map (8) reflects the spatial distribution of natural geological processes and serves as the basis for compiling a geological hazard zoning map. In addition, a digital elevation model (DEM) of the study area and the following thematic maps necessary for the assessment of geological hazards were processed: geological, slope, aspect, elevation, rainfall, soils, and water erosion maps (1-6) and etc. The maps were prepared in the ArcGIS program [5-7].

For erosion prediction GIS are used to detect gullies and ravines on mountain slopes, determine their geometric dimensions and the causes of their slopes, and plot them on a large-scale digital map (7). Using statistical material and the scale of the English professor Roy Morgan, the erosion class and its intensity were determined, taking into account the time factor [8-13].

Results

Based on historical fund materials and field research data, an inventory map of hazardous geological processes (scale 1:50,000) was prepared, which includes: landslide areas - 135; river bank erosion - 16; mudflow - 5; rockfall/rock avalanche - 12; sheet erosion - 9.

As a result of data processing in the ArcGIS program, the degree and areas of damage to the territory caused by the impact of natural and anthropogenic geological processes were revealed. According to which, landslide areas in Chiatura municipality occupy 9.8% (5442.3 ha) of its total area, of which 7.5% (4165 ha) are landslides caused by natural factors, and 2.3% (1277.3 ha) are natural-technogenic. Chiatura municipality is divided into the following categories according to land cover: forest cover (47%), grass-shrubland (23%), hydrological object (0.1%), road (1.5%), S/S Savarguli (28%), buildings and structures (0.4%). 5.5% of the buildings and structures in Chiatura Municipality are located in the area of landslide processes, which amounts to 2139 in quantity, of which 1509 buildings and structures are located in the area of landslide processes caused by natural factors, and 630 - by natural-technogenic factors. The total length of the road network in the municipality is 1537.1 km, of which 6.7% of the total length is in the area of influence of landslide processes, which is approximately 103.1 km. 13.6% of the agricultural lands of Chiatura Municipality are in the area of spread of landslide processes, which is 2075.7 ha. The forest cover in the area of spread of landslide processes occupies 6.9% of the total area, which is approximately 1803.1 ha.

A large-scale digital map was created in the GIS program for erosion prediction, which presents the losses caused by water erosion in the Chiatura municipality. It was determined that the activation of gullies and ravines are observed at five study sites, which, according to the scale of the English scientist, Professor Roy Morgan, ranges from 2nd to 4th class of erosion. The intensity of the corresponding water erosion processes of soil on mountain slopes is equal to 3.2-45.0 t/ha per year, which indicates a fairly high degree of soil loss on mountain slopes.

Conclusion

1. Within the framework of the study, it was planned to prepare an inventory map of hazardous (natural) geological processes within the boundaries of the municipality, for which both historical fund materials were processed and field geological surveys were conducted;
2. The study presents an inventory map of hazardous geological processes of Chiatura Municipality (scale 1:50,000), which includes: landslide area - 135; bank erosion - 16; mudflow - 5; rockfall/rock avalanche - 12; extensive erosion - 9;
3. Factors that generate and trigger hazardous geological processes, such as geological structure, tectonics, slope inclination, relief types, climate, anthropogenic impact, etc., were assessed; the degree and areas of vulnerability of the territory caused by the impact of natural and anthropogenic geological processes were identified;
4. The paper presents maps of the geological, tectonic division of the territory, land cover, slope inclination, elevation, soils and atmospheric precipitation of Chiatura Municipality;
5. Field-scientific research was conducted and the results were processed to assess the intensity of erosion processes. A large-scale digital map was created in the GIS system for erosion prediction, which presents losses caused by water erosion in the Chiatura municipality;
6. It was determined that activation of gullies and ravines are observed at five study sites, which, according to the scale of the English scientist, Professor Roy Morgan, ranges from 2nd to 4th class of erosion. The intensity of corresponding water erosion processes of soil on mountain slopes is equal to 3.2-45.0 t/ha per year, which indicates a fairly high degree of soil loss on mountain slopes.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. Tsereteli E., Gobejishvili R., Bolashvili N., Gaprindashvili G., Nanobashvili T. - The state of natural exodynamic disasters and the risk of anthropogenic load in Georgia, actions to optimize their management - Collection of works of the V. Bagrationi Institute of Geography, N4 (83). Tbilisi, pp. 50-63, 2012.
2. "Mineral Extraction and Critical Ecosystems: Assessing Risks", World Resources Institute, Washington, DC, 2003. http://pdf.wri.org/mining_critical_ecosystems_full.pdf
3. "The Impact of Extractive Industries on Developing Countries", Friends of the Earth - Europe, 2007. <http://www.foeeurope.org/corporates/Extractives/social.pdf>
4. Gobejishvili, R., Lomidze, N. and Tielidze, L. (2011) Late Pleistocene (Wurmian) Glaciations of the Caucasus. In: Ehlers, J., Gibbard, P.L. and Hughes, P.D., Eds., Quaternary Glaciations: Extent and Chronology, Elsevier, Amsterdam, 141-147.
5. Tsereteli E., Gaprindashvili G., Donadze T., Nanobashvili T., Kurtsikidze O. - Some aspects of Proceedings of International Conference "Applied Ecology: Problems, Innovations" (ICAE-2015), pp. 30-36, Tbilisi, 2015.
6. "Engineering-geodynamic conditions and geological hazard assessment of the Tbilisi territory", National Environmental Agency, Department of Geology, 233 p.; Tbilisi, 2019.
7. Marui, H., Nadim, F., Landslides and Multi-Hazards. In: Sassa, K., Canuti, P. (eds) Landslides – Disaster Risk Reduction, pp. 435-450, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-69970-5_23
8. Gavardashvili G.- Irrigation, Drainage, Erosion. Publishing House "Universal", 2018, 470 p.
9. Gavardashvili G.V. - Forecasting of Erosion and Debris flow Processes for the Energy Supply and Transport Corridors of Georgia Using the Theory of Reliability and Risk. First International Conference on Vulnerability and Risk Analysis and Management.(ICVRAM) April 11-13, 2011, University of Maryland, USA, pp. 813-820. (Publishing ASCE)
10. Gavardashvili G. - Safety measures for mountain landscapes during natural and man-made disasters. Tbilisi, Publishing House "Universal", 2011, 237 p.
11. Gavardashvili G.V. – Forecasting of Erosion and Debris Flow Processes for the Energy Supply and Transport Corridors of Georgia Using the Theory of Reliability and Risk. 6th International Conference on Contemporary Problems of Architecture and Construction. VSB-Technical University of Ostrava. Ostrava, CZECH REPUBLIC, 24th -27th, June, 2014, pp. 71. (Publishing skopos).
12. Gavardashvili G., Modebadz S.- Controlling Water Erosion Processes on Mountain Slopes Using Innovative Measures – Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 19(193), no. 1, 2025 © 2025 Bull. Georg. Natl. Acad. Sci.
13. Gavardashvili G., Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Kordzakhia G., Rikadze Z., Modebadze S. – Study of the main parameters determining the prediction of water erosion slopes – Soil Science, Conservation, and Land Restoration.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-137-142

UDC: 551.4; 551.31

Principles of compiling an inventory map of geological processes using the example of Chiatura Municipality / Rikadze Z., Shavliashvili L., Kuchava G., Shubladze E., Gavardashvili G., Modebadze S / Transactions IHM, GTU. - 2026. -vol.139. 137-142 pp.- Eng., Summ. Eng., Georg., Rus.

In Georgia, in the Chiatura municipality, one of the main problems is the activation of natural disasters (landslides, mudflows, rockfalls, floods, winds, erosion, etc.), which, along with natural factors, is facilitated by anthropogenic impacts. Of the above processes, landslides and erosion are the most characteristic and the biggest problem for the Chiatura municipality, the formation and activation of which is associated with both naturally formed complex geological, morphological and climatic conditions, and human activity, including large-scale mining and quarrying activities. Within the framework of the project, a large-scale (1:25,000 or 1:10,000) geological hazard zoning map will be created, which will be one of the main results of the project and will have both scientific and applicable meaning significance. It will then be used in the municipality for a sharp mitigation of the geoecological situation and as a basic basis for the targeted development of the territory.

Before creating the geological hazard zoning map, an inventory map was developed in the ArcMap program, which reflects the spatial distribution of natural geological processes. This map is one of the important bases for compiling the geological hazard zoning map. It shows natural geological processes that have occurred in the past or have recently developed, and this information was reflected on the basis of processing historical fund materials and field geological surveys. In addition, the intensity of erosion processes was assessed based on field-scientific surveys and the results obtained.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-137-142

უკ: 551.4; 551.31

სტიქიური გეოლოგიური პროცესების ინვენტორული რუკის შედგენის პრინციპები ჭიათურის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე / რიკაძე ზ., შავლიაშვილი ლ., კუჩავა გ., შუბლაძე ე., გავარდაშვილი გ., მოდებაძე ს. / სტუპ-ს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული. -2026. -ტ.139. -გვ.137-142. - ინგ., რეზიუმე. ინგ., ქართ., რუს.

საქართველოში, ჭიათურის მუნიციპალიტეტში, ერთ-ერთ მთავარ პრობლემას წარმოადგენს ბუნებრივი სტიქიური მოვლენების (მეწყობები, ღვარცოფები, კლდეზვავი/ქვათაცვენები, წყალდიდობა, ქარები, ეროზია და სხვა) გააქტიურება, რასაც ბუნებრივ ფაქტორებთან ერთად ხელს უწყობს ანთროპოგენური ზემოქმედება. აღნიშნული პროცესებიდან ჭიათურის მუნიციპალიტეტისთვის ყველაზე მეტად დამახასიათებელია და ყველაზე დიდ პრობლემას ქმნის მეწყობები და ეროზიები, რომელთა წარმოქმნა-გააქტიურება დაკავშირებულია როგორც ბუნებრივად ჩამოყალიბებულ რთულ გეოლოგიურ, მორფოლოგიურ და კლიმატურ პირობებთან, ისე ადამიანის საქმიანობასთან, მათ შორის ფართომასშტაბიან სამთო-მოპოვებით საქმიანობასთან. პროექტის ფარგლებში შეიქმნება მსხვილმასშტაბიანი (1:25 000 ან 1:10 000) გეოლოგიური საფრთხეების ზონირების რუკა, რომელიც იქნება პროექტის ერთ-ერთი მთავარი შედეგი და მას ექნება როგორც სამეცნიერო, ისე გამოყენებითი მნიშვნელობა. შემდეგში მუნიციპალიტეტში იგი გამოყენებული იქნება, გეოეკოლოგიური მდგომარეობის მკვეთრი შერბილებისათვის და როგორც ბაზისური საფუძველი ტერიტორიის მიზანმიმართული ათვისებისათვის.

გეოლოგიური საფრთხეების ზონირების რუკის შექმნამდე ArcMap პროგრამაში დამუშავდა ინვენტორული რუკა, რომელიც ასახავს სტიქიური გეოლოგიური პროცესების სივრცულ განაწილებას. აღნიშნული რუკა წარმოადგენს გეოლოგიური საფრთხეების ზონირების რუკის შედგენის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საფუძველს. მასზე ნაჩვენებია წარსულში მომხდარი ან ახლად განვითარებული სტიქიური გეოლოგიური პროცესები, აღნიშნული ინფორმაციის ასახვა მოხდა საფონდო ისტორიული მასალების დამუშავებისა და სავსე გეოლოგიური კვლევების საფუძველზე.

გარდა ამისა, სავსე-სამეცნიერო კვლევებისა და მიღებული შედეგების საფუძველზე შეფასდა ეროზიული პროცესების ინტენსივობა.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-137-142

УДК: 551.4; 551.31

Принципы составления инвентаризационной карты стихийных геологических процессов на примере муниципалитета Чиатура / Рикадзе З., Шавлиашвили Л., Кучава Г., Шубладзе Е., Гавардашвили Г., Модбадзе С. / Сб. трудов ИГМ ГТУ. -2026. -том 139. 137-142с. - Англ.; Рез: Англ., Груз., Рус.

В Грузии, в муниципалитете Чиатура, одной из главных проблем является интенсификация стихийных бедствий (оползни, селевые потоки, камнепады, наводнения, ураганы, эрозия и т.д.), которая, наряду с природными факторами, усугубляется антропогенным воздействием. Из вышеперечисленных процессов оползни и эрозия являются наиболее характерной и масштабной проблемой для муниципалитета Чиатура, формирование и активизация которых связаны как с естественными сложными геологическими, морфологическими и климатическими условиями, так и с деятельностью человека, включая крупномасштабную добычу полезных ископаемых и разработку карьеров. В рамках проекта будет создана крупномасштабная (1:25 000 или 1:10 000) карта геологического

зонирования опасности, которая станет одним из главных результатов проекта и будет иметь как научное, так и прикладное значение. Впоследствии она будет использоваться в муниципалитете для радикального смягчения геологической ситуации и в качестве основы для целенаправленного развития территории.

Перед созданием карты геологической опасности в программе ArcMap была разработана инвентаризационная карта, отражающая пространственное распределение природных геологических процессов. Эта карта является одной из важных основ для составления карты геологической опасности. Она показывает природные геологические процессы, которые происходили в прошлом или развивались недавно, и эта информация была отражена на основе обработки исторических материалов и полевых геологических исследований.

Кроме того, интенсивность эрозионных процессов была оценена на основе полевых научных исследований и полученных результатов.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-143-146

УДК.539.16; 539.19

О некоторых проблемах измерения радона

Гребенчук Гарри

Центр Экспериментальной Биомедицины им. И.Бериташвили

Тбилиси, Грузия

h.grebenchuk@lifescience.org.ge

harrygrebenchuk@gmail.com

h.grebenchuk@biomedicine.org.ge

Аннотация

Показано, что измерение и описание концентрации радиоактивного газа радона в единицах активности –Беккерелях, так, как это рекомендовано Международной Комиссией по радиационной защите (ICRP) приводит к ошибочной (учтенной) величине этого показателя. Предложен подход для разрешения указанной проблемы.

Ключевые слова: Радон, активность, Беккерель, концентрация в среде

Описание

Благородный радиоактивный газ радон, являющийся продуктом распада радия, достаточно широко распространен и оказывает значительное влияние на живую природу. Высокие концентрации радона наблюдаются в атмосфере и водах подземных выработок и зачастую применяются в лечебных целях.

Согласно ныне рекомендованной и принятой Международной комиссией по радиационной защите (ICRP) методологии, радон следует определять посредством его активности в беккерелях [1].

Основная часть

Как известно, Беккерель является мерой (единицей) числа распадов соответствующего вещества в 1 секунду в конкретном объеме, например, в кубическом метре или литре. При этом обычно предполагается, что все распады принадлежат именно радону, хотя контроля этого не производится и он в таком режиме вряд ли возможен, так как число распадов никак не несет в себе информации об их генетическом происхождении, поскольку оно никак не указывает на их источник, хотя предполагается, что таким источником является собственно радон [2].

Такое предположение может быть подтверждено либо опровергнуто только путем спектрального (энергетического) анализа субатомных частиц, в данном случае, альфа-частиц, порождаемых указанным распадом, что значительно отличается от простого подсчета числа распадов в единицу времени, или, иными словами, активности.

С другой стороны, хорошо известно, что распад атомных ядер радона является каскадным процессом, включающем последовательную генерацию четырех альфа-частиц, четырех электронов и четырех гамма-квантов (см. Табл.).

Если предположить, что главными, наиболее энергетически интенсивными процессами в каскадном распаде радона, связанными с генерацией альфа-частиц, являются именно те, что порождают вышеупомянутые беккерели, тогда окажется, что только один из каждой четверки, самый первый из них, принадлежит собственно радону, а остальные три принадлежат его прогенам, а именно, полонию Po218, полонию Po214 и полонию Po210, т.е. не все альфа-частицы, создающие импульсы в устройстве регистрации активности, генетически принадлежат распаду собственно радона.

Если, кроме того, в каскадном распаде радона в беккерелях будут учтены также и процессы эмиссии β и γ , это еще более повысит ложную информацию о концентрации радона.

Кроме того, если отказаться от подсчета беккерелей и перейти к методу осаждения альфа-частиц на активированном угле, результат также будет тем же – только одна из каждой четверки альфа-частиц будет ответственна за активность собственно радона и, соответственно, его концентрацию в среде. Таким образом, невозможно судить об активности радона в беккерелях, (а также по количеству осажденных на активированном угле альфа-частиц), так как это приводит к ложному учету информации о концентрации радона в среде.

Каскадный распад радона ^{222}Rn

Элемент	Вид распада	Энергия, MeV	Период полураспада
^{222}Rn	α	5,49	3,9235 days
^{218}Po	α	6,0	3,11 min
^{214}Pb	β	0,67, 0,73	26,8 min
	γ	0,352, 0,30, 0,24	

214Bi	β	1,54, 1,51, 3,27	19,9 min
	γ	0,61, 1,76, 1.12	
214Po	α	7,69	164,3 mks
210Pb	β	0,06, 0,02	22,3 years
	γ	0,044	
210 Bi	β	1,16	5,012 days
	γ	0,27, 0,30	
210 Po	α	5,3	138,376 days
206Pb	Stab.		

Из вышеизложенного следует, что рекомендованный ISRP и поныне действующий метод оценки концентрации радона в беккерелях является некорректным и не способным давать адекватную информацию о его распространенности в естественной среде и, соответственно, опасности для живых организмов [6 -9].

Другие, еще более серьезные вопросы возникают касательно роли Международной комиссии по радиационной защите (ISRP). Эта проблема возникла у нас именно из-за ее роли в реализации вышеупомянутой методологии. Наши попытки связаться с членами ISRP оказались безрезультатными несмотря на то, что мы получаем много материалов об их деятельности.

Наше расследование показало, что вышеупомянутая Комиссия, которая, как утверждается ею, состоит преимущественно из врачей, но «также включает и физиков», состоит из четырех членов и находится в Канаде. Нам не удалось найти никакой информации о создании этой Комиссии или о методе ее формирования. Естественно, что при таком составе и неизвестном (нам) методе формирования и не следовало бы ожидать каких-либо иных результатов ее деятельности несмотря на то, что ее методология широко признана и принята на международном уровне (по крайней мере, на постсоветском пространстве).

Простейшим приблизительным способом избежать подобной ситуации при определении концентрации радона является деление зарегистрированной активности радона в беккерелях на 4, то- есть на количество α -частиц, образующихся в процессе каскадного распада одного ядра радона, но это возможно только в случае энергетической дискриминации беккерелей, связанной с другими типами распадов — β и γ .

Другим, более реалистичным методом оценки концентрации радона может быть хорошо известный и упомянутый выше метод аккумуляции альфа-частиц на активированном угле, конечно, модифицированный с учетом принятия во внимание каскадного характера процесса распада с генерацией четырех (4) альфа-частиц и делением результата на 4.

Между тем представляется, что корректный расчет как поглощенной дозы, так и количества нуклидов распада, накопленных (включенных) в организме, возможен только на основе решения хорошо известного уравнения радиоактивного распада.

Уравнение радиационного распада [3-5] есть

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (1),$$

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (2),$$

где $d(N(t)) = d(N_0 \exp(-\lambda t)) = -\lambda N_0 \exp(-\lambda t) dt, \quad (3)$

а N_0 является числом радиоактивных ядер в момент времени $t=0$, и λ есть постоянная распада (его вероятность) для радона ^{222}Rn , определяемая из выражения $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$, или $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$, причем все вычисления в этих выражениях следует выполнять в системе СИ во избежание получения некорректных значений:

$\ln 2 = 0,69314718056$, (безразмерная величина),

$T_{1/2} = 3,8235$ (период полураспада в днях (сутках),

$T_{1/2} = (3,8235 \times 24 \times 60 \times 60) = 330350.4$ (период полураспада в секундах).

Тогда $\lambda = 0,69314718056 / (3,8235 \times 24 \times 60 \times 60) = 0,00000209821$ или $\lambda \approx 2,1 \times 10^{-6} \text{с}^{-1}$.

Кроме того, из того же выражения может быть получена оценка скорости распада радона или, иными словами, его активность при постоянной концентрации N_{const} : этого нуклида:

$$\mu = \frac{dN}{dt} = \lambda N_{\text{const}} \quad (4)$$

Таким образом, устанавливается связь между двумя наиболее важными константами радиационного распада – вероятностью распада λ и его активностью μ при известной концентрации радиоактивных ядер N_0 , или наоборот, концентрацией ядер радона

$$N_0 = \mu/\lambda \quad (5)$$

Из вышеизложенного следует, что утвержденная ИСРЦ и действующая поныне методика оценки концентрации радона в беккерелях в принципе является некорректной и не способной адекватно отображать эту величину в окружающей среде, а следовательно, и опасность радона для живых организмов [6 -9].

Простейшим приближенным способом избегания указанной ситуации при определении концентрации радона представляется деление зарегистрированной активности радона в беккерелях на 4, т.е. на число α -частиц, генерируемых при каскадном распаде одного ядра радона, но это возможно только в случае энергетической дискриминации беккерелей, связанных с другими типами распада - β и γ .

Другим, более реалистичным методом корректной оценки концентрации радона может быть хорошо известный метод аккумуляции α -частиц на активированном угле в течении фиксированных интервалов времени, конечно, модифицированный для принятия во внимание каскадного характера распада радона с генерацией 4 α -частиц и делением результата на 4.

ლიტერატურა-REFERENCES

1. The 2007 Recommendation of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103.
2. Идентификация радиоактивных источников и устройств – Серия изданий МАГАТЕ по физической ядерной безопасности (In Russian), No 5. STI/PUB/1278/ 978-92-0-449623-9.
3. Мухин К.Н.– Введение в ядерную физику (In Russian), – Госатомиздат, 1963.
4. Grebenchuk H., Gogebashvili M., Ivanishvili N., Nadareishvili D.– Patent of Georgia P 2020 7206 B,- Method for determination the radiation dose absorbed by a biological object under the influence of radon, priority 09-10-2019, registration 21-12-2020.
5. Grebenchuk H., Gogebashvili M., Ivanishvili N., Nadareishvili D.- Patent of Georgia P 2021 7304 B - Method for assessing and predicting the complex biological effects of radon, priority 16-07-2020, registration 05-10-2021.
6. Grebenchuk H., Gogebashvili M., Ivanishvili N.- Long-term effects of the cumulative impact of low concentrations of radon on the body and mechanisms of their implementation. Researchgate.net, July 2021, DOI: 10.13140/RG.2.2.15656.08960, Research Interest Score 2.1.
7. Grebenchuk H., Gogebashvili M., Nadareishvili D., Ivanishvili N.- The role of Lead 210Pb in the manifestation the effects of radon exposure on living organism: a conceptual analysis. - Radiobiology and Radiation Safety, Vol.1, 2021, p.p. 26-33, ISSN 2667-9787.
8. Gogebashvili M., Ivanishvili N., Grebenchuk H.- Modern approaches to radiation risk management in urban areas (systems) – International Scientific-Practical Conference, Tbilisi, Georgia, “Biomedical aspects of dangers, caused by the methodological shortcomings of radiobiological studies, conducted in Georgia.” November 16-17, 2021.
9. Grebenchuk H., Gogebashvili M., Nadareishvili D. Ivanishvili N.- The problem of Lead 210Pb in the manifestation of the effects of the radon exposure on living organism: a conceptual analysis. - In the book “Systemic, Cellular and Molecular Mechanisms of Physiological Functions and Their Disorders, Charter 3, p.p. 23-33, – Proceedings of Iv.Beritashvili Center for Experimental Biomedicine, Edd. - N.Nachkebia and N.Mitagvaria, Nova Medicine and Health.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-143-146

UDC: 539.16; 539.19

On Some Issues in Radon Measurement /Grebenchuk H./ Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp.143-146. - Georg., Summ. Georg., Eng.Rus.

It has been shown that measuring and describing the concentration of radioactive radon gas in Becquerel activity units, as recommended by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), results in an erroneous (quadrupled) value for this indicator. An approach to resolving this problem is proposed.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-143-146

უკ:539.16; 539.19

როდონის ცვლილების ზოგიერთი პრობლემების შესახებ /გრებენჩუკი გ./ სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ. 143-146. -ქართ., რეზ. ქართ., ინგლ., რუს.

ნაჩვენებია, რომ რადიოაქტიური აირი რადონის კონცენტრაციის გაზომვა აქტივობის ერთეულებში - ბეკერელებში ისე, როგორც ეს არის რეკომენდებული რადიაციული დაცვის საერთაშორისო კომისიის (ICRP-ს) მიერ იწვევს მის მცდარ (გაოთხმაგებულ) მნიშვნელობას. შეთავაზებულია აღნიშნული პრობლემის გადაჭრის გარკვეული მიდგომა

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-143-146

УДК: 539.16; 539.19

О некоторых проблемах изменения родона /Гребенчук Г./Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с. 143-146. - Груз.; Рез.: Груз., Англ., Рус.

Показано, что измерение и описание концентрации радиоактивного газа радона в единицах активности – Беккерелях, так, как это рекомендовано Международной Комиссией по радиационной защите (ICRP) приводит к ошибочной (учетверенной) величине этого показателя. Предложен подход для решения указанной проблемы.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-147-151

UDC: 504.05/06

Developing new strategic ways to develop environmental education

Gunia Garry*, Svanidze Zizi**

* Institute of Hydrometeorology, GTU, ** Georgian Technical University

Email: garrygunia@yahoo.com

Abstract. According to the UN Environment Programme (UNEP) report, the forecast for human development to 2032 is disappointing: More than 70% of the Earth's surface will be deformed in one way or another, more than a quarter of all animal and plant species will be irreversibly lost, and safe air and clean drinking water will become irreparably scarce.; scientific and technological progress has created the risk of environmental catastrophe, and the very concept of "development" has been called into question.

In 2021, the WHO took into account new research on the dangers of air pollution and revised almost all target concentrations of air pollutants, reducing their maximum permissible levels by 1.1 to 4 times.

Characteristics and indicators of atmospheric air pollution from 2025 include monitoring of key pollutants such as particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide (CO), ozone (O₃) and radioactive substances, assessed according to international (WHO) and national standards - Maximum Permissible Concentration (MPCs).

Keywords: Environmental education, ecology, new strategy

Introduction. To successfully implement environmental policy and effectively manage environmental conditions, reliable, comprehensive, and timely information is needed on the availability and condition of natural resources, environmental quality and pollution, as well as the causes and consequences of adverse environmental situations, emergencies, and disasters.

Environmental monitoring is a means of obtaining, processing, storing, and displaying information that forms the basis for forecasts and, ultimately, for developing environmentally safe decisions. Thus, the development of an environmental monitoring system plays a key role in environmental protection and environmental management. Consequently, in a number of countries, the course "Environmental Monitoring" is included in the special disciplines (SD) program, the teaching goals of which are:

- developing an understanding of the current state of the environment, taking into account the ever-increasing anthropogenic impact on it;
- familiarizing students with the main principles of environmental research to obtain optimal information about the state of the environment and its components when substantiating and refining environmental forecasts.

Main part. Air pollution monitoring is a system of regular, long-term observations in space and time, providing information on the state of air pollution for past, present, and future assessments. Environmental protection has always been a concern due to its harmful impact on public health. For example, air pollution is a contributing factor to allergies and respiratory diseases. This is why the quality of the air we breathe is so important.

Elevated concentrations of pollutants are observed in the atmosphere of virtually every major city, negatively impacting the ecosystem and the health of its residents. Air composition can vary over time and space. This is facilitated by pollutant emissions, weather conditions, and geographic location. Both anthropogenic and natural sources of pollution play a major role in shaping the qualitative and quantitative composition of atmospheric air: - natural sources of atmospheric pollution include volcanic eruptions, forest fires, dust storms, weathering processes, and the decomposition of organic matter; - anthropogenic sources of atmospheric pollution include industrial and thermal power plants, transport, home heating systems, agriculture, and household waste. Economic activities in sectors such as energy, transportation, agriculture, and waste management emit pollutants or chemical compounds into the air, which, through various chemical reactions, form secondary air pollution. Accelerating urbanization also significantly increases air pollution. Today, more than half of the world's population lives in cities, which, while often a source of air pollution, are also where the effects of air pollution are felt most acutely.

The ecologically induced threat to the existence of human civilization has been officially recognized at the highest international level; scientific and technological progress has created the risk of environmental catastrophe, and the very concept of "development" has been called into question. An urgent need has emerged to reexamine the scale of human values. Consumerism has pushed nature to the brink of extinction.

Dominant patterns of production and consumption are leading to environmental devastation, increasing risks to human life and health due to declining environmental quality. The foundations of global security are under threat.

Results. According to the UN Environment Programme (UNEP) report, the forecast for human development to 2032 is bleak [1]. Human activity will cause irreversible changes to the planet. More than 70% of the Earth's surface will be deformed in one way or another, more than a quarter of all animal and plant species will be irreversibly lost, safe air, clean drinking water (according to the WHO, 80% of all diseases worldwide are already caused by the consumption of poor-quality drinking water), and undisturbed landscapes will become irreparably scarce, and nature's ability to recover from anthropogenic impacts will be diminished.

Atmospheric air, as a component of natural resources, is a national treasure and is protected by the state. Therefore, strict, scientifically based quality control is so important. Elevated concentrations of pollutants are observed in the atmosphere of virtually every major city, negatively impacting the ecosystem and the health of its residents [2, 3, 4]. Air pollution knows no boundaries: emissions from a source in one country can be transported and deposited in another, sometimes thousands of kilometers away.

Table 1. Comparison of permissible average daily concentrations of harmful substances in the air according to WHO recommendations and Russian air quality standards (SanPiN)

Harmful substance	Average daily concentration, WHO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Average daily concentration, SanPiN, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Difference in indicators
PM _{2.5}	15	35	SanPiN requirements are 2.3 times lower
PM ₁₀	45	60	SanPiN requirements are 1.3 times lower
Ozone (O ₃)	100*	100*	SanPiN requirements comply with WHO
Nitrogen dioxide (NO ₂)	25	100	SanPiN requirements are 4 times lower
Sulfur dioxide (SO ₂)	40	50	SanPiN requirements are 1.25 times lower
Carbon monoxide (CO)	4000	3000	SanPiN requirements are 1.3 times higher

Table 2. Comparison of permissible average annual concentrations of harmful substances in the air according to WHO recommendations and Russian air quality standards (SanPiN)

Harmful substance	Average annual concentration, WHO, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Average annual concentration, SanPiN, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Difference in indicators
PM _{2.5}	5	25	SanPiN requirements are 5 times lower
PM ₁₀	15	40	SanPiN requirements are 2.7 times lower
Ozone (O ₃)	60**	30	It is impossible to compare
Nitrogen dioxide (NO ₂)	10	40	SanPiN requirements are 4 times lower
Sulfur dioxide (SO ₂)	-	-	-
Carbon monoxide (CO)	-	3000	-

In the given 1 and 2 tables we present the air quality criteria recommended by WHO and the Maximum Permissible Concentrations (MPC) established in Russia for some pollutants, $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Air quality standards in force in Russia are significantly less stringent than WHO recommendations: the difference in indicators ranges from 1.25 to 5 times. This leads to greater air pollution than if WHO standards were in effect. The WHO Air Quality Guidelines are an international standard that sets out recommended standards for maximum concentrations of harmful substances in the air.

According to a rapid analysis of potential scenarios conducted by WHO, nearly 80% of deaths due to exposure to PM_{2.5} particles worldwide could be prevented by reducing current air pollution levels to those recommended in the updated guidelines. At the same time, achieving intermediate targets would reduce the disease burden, particularly in countries with high concentrations of fine particulate matter (PM_{2.5}) and large populations.

In 2021, the WHO took into account the results of new research on the harm of air pollution and revised almost all target concentrations of air pollutants, reducing their maximum permissible levels by 1.1 to 4 times [5, 6].

The permissible average annual concentration of PM_{2.5} was reduced by half - from 10 to 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and the permissible daily concentration - from 25 to 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The permissible average annual concentration of PM₁₀ was reduced from 20 to 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, and the daily concentration - from 50 to 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [6].

The Second WHO Global Conference on Air Pollution and Health concluded (March 28, 2025) with the adoption of the aforementioned important commitments by more than 50 countries [7]. In particular: - a decision was made to accelerate

actions to ensure clean air, access to clean energy and mitigate climate change; - highlighted evidence-based, coordinated, multifaceted solutions in cities, countries and regions to prevent various diseases, save lives, protect children's health and limit climate change worldwide. In addition, it was decided that the countries participating in the conference commit to reducing air pollution by 2030 and beyond.

Characteristics and indicators of ambient air pollution from 2025 include monitoring of key pollutants such as particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), nitrogen dioxide, sulfur, carbon monoxide (CO), ozone (O₃) and radioactive substances, with an assessment according to international (WHO) and national standards - Maximum Permissible Concentration (MPC).

Data for 2025 show persistent problems for a significant portion of the population in both Georgia (monthly bulletins) and globally, related to PM_{2.5} exceedances and rising CO₂ emissions, despite efforts to reduce them. 2025 trends: - Global: - 36% of the world's population is exposed to PM_{2.5}; - US: - 2.4% increase in greenhouse gas emissions from fossil fuel combustion compared to the previous year, a negative trend.

Georgia, like other countries, faces poor air quality in cities, where standards for nitrogen oxides, sulfur, formaldehyde, benz(a)pyrene and dust are often exceeded. As a result, on June 26, 2025, Amendments to the Georgian Law on Atmospheric Air Protection were adopted as a preventive measure aimed at improving atmospheric air quality.

The main changes concern tightening the regulation of harmful substance emissions, strengthening control mechanisms and bringing air quality closer to European standards, which will reduce anthropogenic impact.

In particular, the air quality management plan approved by the Georgian government is aimed at reducing air pollution and improving the environmental situation in the country [7]. The plan includes measures to reduce harmful substance emissions, increase the amount of green spaces and regulate traffic flow.

Furthermore, it should be noted that raising the level of environmental education and awareness occupies an important place in all program documents of the Government of Georgia [8, 9, 10]. In particular, the new government program (2021–2024) "For Building a European State" envisages strengthening activities aimed at promoting environmental education and raising environmental awareness, as well as integrating environmental education issues into the school and higher education systems.

Global environmental problems - pose the greatest threat to our planet, as they impact the entire world. They develop gradually, as a result of long-term impacts on the natural environment, and therefore, the desire alone is not enough to solve them - requires significant effort to prevent environmental catastrophe.

Overpopulation of our planet is one of the most pressing environmental problems of our time, as it exacerbates all other problems. The problem of natural resource depletion encompasses not only the depletion of minerals (such as metals or oil), but also the depletion of land resources (decreased soil fertility), water resources (depletion of fresh water reserves), forest resources (decreasing forest cover), and so on. The problem is dangerous precisely because of its scale - our planet is slowly dying, but it can still be saved.

Global climate change is driven by a multitude of factors that lead to massive alterations in natural processes and established norms. Abnormal temperature fluctuations are observed, precipitation patterns are changing, and natural disasters are occurring everywhere, causing enormous damage (Fig. 1).

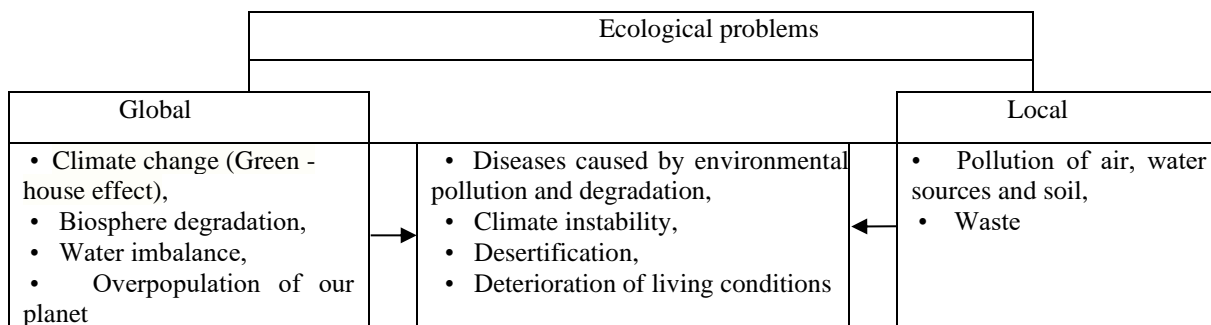


Fig. 1. The relationship between global and local environmental problems

The problem of ozone layer depletion became a pressing concern at the end of the last century. At that time, considerable panic ensued, leading to the adoption of a number of measures to slow the process of ozone layer depletion. However, the problem has not yet been fully resolved, remaining a global environmental threat.

Environmental pollution causes significant damage to nature. This occurs because harmful substances enter natural systems, disrupting their functioning (even leading to their destruction). However, statistics indicate that the pollution problem is only getting worse, causing ever greater harm.

Desertification is a global problem, characterized by the transformation of fertile lands into desert. In the future, this threatens our planet with the destruction of most of its flora and fauna.

The decline of Earth's biodiversity is a contemporary environmental problem that could develop into a real environmental catastrophe in the future. The extinction of living organisms and the decline in species diversity on our planet lead to an imbalance in the natural balance, which leads to the disruption of natural systems. And this is a very serious problem.

Food shortages have long been a pressing issue in many countries around the world. The problem is only worsening over time, spreading to new regions (primarily due to population growth). And there's a risk of further spread in the near future.

Conclusion. New scientific research on the impact of air quality on human health shows that the harm caused by air pollution has previously been underestimated. This is why the WHO is calling on countries to revise their domestic air quality standards. It should be noted that, along with climate change, air pollution is one of the most serious environmental threats to human health.

The new Global Air Quality Guidelines (GAQGs) prepared by the World Health Organization (WHO) present clear evidence of the harm air pollution causes to human health, even at lower pollutant concentrations than previously thought. The document recommends new air quality targets, the implementation of which will protect public health by reducing concentrations of key pollutants, some of which also contribute to climate change.

Since the last update of the WHO global guidelines in 2005, the body of scientific evidence on the negative impacts of air pollution on various aspects of human health has increased significantly, demonstrating its detrimental impact on health even at low concentrations.

New data has led to a revision of WHO recommendations (2021), confirming that 99% of the world's population breathes unsafe air, causing millions of premature deaths annually. For this reason, and following a systematic review of the accumulated data, WHO has adjusted almost all recommended air pollution limits downwards, warning that exceeding the new maximum permissible concentrations of pollutants.

ლიტერატურა - REFERENCES

1. UNEP, United Nations Environment Programme, Retrieved 13 February 2025. (Eng.)
2. Bragina A. V., Chernova I. I. Environmental Safety in Cities: Monitoring and Forecasting. Moscow: Akademkniga, 2020. – 216 p. (search: <https://elibrary.ru>) (Rus.)
3. Gunia Garry. Explanatory Glossary of Terms on Basics of Ecology. In the field of sciences about Earth and Environment. Tbilisi, HMI, 2024, 275 p. ISBN 978-9941-8-6228-1 (Geo.)
4. German Environment Agency (UBA). Clean Air Programme for Germany. – Berlin: 2021. (Eng.) <https://www.umwelt-bundesamt.de/en>
5. Japan Ministry of the Environment. Air Pollution Control Strategy. – Tokyo, 2021. (Eng.) <https://www.env.go.jp/en>
6. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. ISBN 978-92-4-0034228. ©World Health Organization 2021 (Eng.)
7. Second WHO Global Conference on Air Pollution and Health. 28/03/2025; (Eng.)
8. "On Amendments to the Law of Georgia "On Protection of Atmospheric Air" (26/06/2025). (Geo.)
9. "Ambient Air Quality Management Plan for the Tbilisi Agglomeration for 2024-2026" - Decree of the Government of Georgia N1361 of September 17, 2024. (Geo.)
10. The Youth Policy Concept of Georgia for 2020–2030, approved by Resolution No. 7054 of the Parliament of Georgia dated July 17, 2020. <https://matsne.gov.ge/ka/document/view/4936402?> (Geo.)
11. The State Youth Strategy for 2023–2026 and the Action Plan for 2023, approved by Resolution No. 606 of the Government of Georgia dated December 29, 2022. (Geo.) <https://www.matsne.gov.ge/ka/document/view/5675992?>
12. Law of Georgia No. 680 of June 12, 2025 "On Amendments to the Environmental Assessment Code" (Geo.)

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-147-151

UDC: 504.05/.06

Developing new strategic ways to develop environmental education. Gunia Garry*, Svanidze Zizi**

Transactions IHM, GTU. -2026. -vol.139. -pp. 147-151. - Eng., Summ. Georg., Eng. Rus.

According to the UN Environment Programme (UNEP) report, the forecast for human development to 2032 is disappointing: More than 70% of the Earth's surface will be deformed in one way or another, more than a quarter of all animal and plant species will be irreversibly lost, and safe air and clean drinking water will become irreparably scarce.; scientific and technological progress has created the risk of environmental catastrophe, and the very concept of "development" has been called into question.

In 2021, the WHO took into account new research on the dangers of air pollution and revised almost all target concentrations of air pollutants, reducing their maximum permissible levels by 1.1 to 4 times.

Characteristics and indicators of atmospheric air pollution from 2025 include monitoring of key pollutants such as particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀), nitrogen dioxide, sulfur dioxide, carbon monoxide (CO), ozone (O₃) and radioactive substances, assessed according to international (WHO) and national standards - Maximum Allowable Concentrations (MACs)).

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-147-151

უაკ: 504.05/06

გარემოსდაცვითი განათლების განვითარების ახალი სტრატეგიული გზების დამუშავება. გუნია გარი, სვანიძე ზიზი. ჰმი-ის შრომათა კრებული-2026.-ტ.139.-გვ. 147-151. - ინგლ. რეზ. ქართ. ინგლ. რუს.

გაეროს გარემოსდაცვითი პროგრამის (UNEP) ანგარიშის თანახმად, 2032 წლამდე ადამიანის განვითარების პროგნოზი იმედგაცრუებას იწვევს: დედამიწის ზედაპირის 70%-ზე მეტი ასე თუ ისე დეფორმირდება, ყველა ცხოველთა და მცენარეთა სახეობის მეოთხედზე მეტი შეუქცევადად დაიკარგება, ხოლო უსაფრთხო ჰაერი და სუფთა სასმელი წყალი შეუქცევადად დეფიციტური გახდება; სამეცნიერო და ტექნოლოგიურმა პროგრესმა გარემოსდაცვითი კატასტროფის რისკი შექმნა და „განვითარების“ კონცეფცია კითხვის ნიშნის ქვეშ დადგა.

2021 წელს ჯანმო-მ გაითვალისწინა ჰაერის დაბინძურების საფრთხეებთან დაკავშირებული ახალი კვლევები და გადახედა ჰაერის დამაბინძურებლების თითქმის ყველა სამიზნე კონცენტრაციას, რითაც მათი მაქსიმალური დასაშვები დონეები 1.1-დან 4-ჯერ შეამცირა. ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების მახასიათებლები და ინდიკატორები 2025 წლიდან მოიცავს ისეთი ძირითადი დამაბინძურებლების მონიტორინგს, როგორცაა მყარი ნაწილაკები (PM_{2.5}, PM₁₀), აზოტის დიოქსიდი, გოგირდის დიოქსიდი, ნახშირბადის მონოქსიდი (CO), ოზონი (O₃) და რადიოაქტიური ნივთიერებები, რომლებიც შეფასებულია საერთაშორისო (ჯანმო) და ეროვნული სტანდარტების - მაქსიმალური დასაშვები კონცენტრაციების (MACs) მიხედვით.

doi.org/10.36073/1512-0902-2026-139-147-151

УДК: 504.05/06

Разработка новых стратегических путей развития экологического образования./Гуния Гарри, Сванидзе Зизи./Сб. Трудов ИГМ ГТУ. - 2026. – том 139. - с. 147-151. - Англ.; Рез: Груз., Англ.,Рус.

Согласно докладу Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП), прогноз развития человечества до 2032 года неутешителен: более 70% поверхности Земли будет деформировано тем или иным образом, более четверти всех видов животных и растений будут безвозвратно утрачены, а чистый воздух и чистая питьевая вода станут непоправимо дефицитными; научно-технический прогресс создал риск экологической катастрофы, и само понятие «развития» поставлено под сомнение. В 2021 году ВОЗ учла новые исследования об опасностях загрязнения воздуха и пересмотрела почти все целевые концентрации загрязняющих веществ в воздухе, снизив их максимально допустимые уровни в 1,1–4 раза.

Характеристики и показатели загрязнения атмосферного воздуха с 2025 года включают мониторинг ключевых загрязняющих веществ, таких как твердые частицы (PM_{2.5}, PM₁₀), диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода (CO), озон (O₃) и радиоактивные вещества, оцениваемые в соответствии с международными (ВОЗ) и национальными стандартами – предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

ჩვენი იუბილარები

ელიზბარ ელიზბარაშვილს



80 წელი შეუსრულდა გამოჩენილ ქართველ გეოგრაფს, კლიმატოლოგს, საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსს, ღირსების ორდენის კავალერს, საქართველოს სახელმწიფო და მიხეილ ნოდიას სახელობის აკადემიური პრემიების ლაურეატს, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილეს, გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორს, პროფესორ ელიზბარ ელიზბარაშვილს.

ელიზბარ ელიზბარაშვილი დაიბადა 1946 წლის 28 ნოემბერს ქალაქ თელავში. 1953 წელს იგი შეიყვანეს თელავის რუსულ საშუალო სკოლაში. სკოლა იმ პერიოდისთვის ერთ-ერთ ყველაზე პრესტიჟულ საგანმანათლებლო დაწესებულებად მიიჩნეოდა თელავში. აქ სწავლობდნენ თელავის გამორჩეული ინტელიგენციის, სახელმწიფო მოხელეების, აგრეთვე ქალაქში განთავსებული სამხედრო ლეგიონის სარდლობის წარმომადგენელთა შვილები. სკოლა

გამორჩეოდა მაღალი აკადემიური დონითა და ძლიერი პედაგოგიური კოლექტივით, რომელიც იმდროინდელ თელავის სკოლებს შორის ერთ-ერთ საუკეთესოდ ითვლებოდა. სწორედ ასეთმა საგანმანათლებლო გარემომ ჩამოუყალიბა ბატონ ელიზბარს განსაკუთრებული ინტერესი სწავლისადმი, განსაკუთრებით კი ფიზიკისა და მათემატიკის მიმართ, რამაც არსებითად განსაზღვრა მისი მომავალი პროფესიული არჩევანი. ჯერ კიდევ მოსწავლეობის პერიოდში იგი ფიზიკის ოლიმპიადების გამარჯვებული იყო, რაც მის გამორჩეულ ნიჭსა და ზუსტ მეცნიერებათა მიმართ განსაკუთრებულ ინტერესზე მიუთითებდა. ეს წარმატება მნიშვნელოვან საფუძვლად იქცა მისი შემდგომი აკადემიური და პროფესიული განვითარებისათვის.

სკოლა 1963 წელს წარჩინებით, მედალზე დაამთავრა და იმავე წელს ჩაირიცხა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტზე, სადაც აღმოჩნდა გამოჩენილი მეცნიერების გარემოცვაში. ლექციებს უკითხავდნენ ცნობილი მეცნიერები, აკადემიკოსები: მათე მირიანაშვილი, ვაგან მამასახლისოვი, გივი ხუციშვილი, ვლადიმერ ჭელიძე; პროფესორები ელიზბარ წითლანაძე, დავით კვესელავა, ალექო იშხნელი და სხვები. სპეციალურ საგნებში მის პედაგოგებს შორის იყვნენ გეოფიზიკური მეცნიერებების ფუძემდებელი და თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გეოფიზიკის კათედრის დამაარსებელი პროფესორი მიხეილ ნოდია, გამოჩენილი მეტეოროლოგი, უნივერსიტეტის მეტეოროლოგიური სადგურის დამაარსებელი პროფესორი იოსებ ქურდიანი, აგრეთვე პროფესორები მიხეილ ჩხეტია, გრიგოლ მანაგაძე და ზურაბ ხვედელიძე. იმ პერიოდში უნივერსიტეტის რექტორი იყო აკადემიკოსი ევგენი ხარაძე. უნივერსიტეტში მოღვაწეობდნენ მისი დამაარსებლები და გამოჩენილი მეცნიერები — აკადემიკოსები აკაკი შანიძე, გიორგი ახვლედიანი, შალვა ნუცუბიძე, ივანე ბერიტაშვილი, გიორგი ჩუბინაშვილი, ალექსანდრე ჯავახიშვილი და სხვები. ამ გარემომ და გამოჩენილ მეცნიერთა უშუალო სიახლოვემ მასზე განსაკუთრებული შთაბეჭდილება მოახდინა და მნიშვნელოვანი გავლენა იქონია მისი სამეცნიერო ინტერესებისა და პროფესიული გზის ჩამოყალიბებაზე.

თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში სწავლის მესამე კურსზე, პროფესორ მიხეილ ჩხეტიას რეკომენდაციით, ბატონი ელიზბარ ელიზბარაშვილი უნივერსიტეტის მეტეოროლოგიურ სადგურში ნახევარ განაკვეთზე დამკვირვებლად მიიღეს. რამდენიმე თვის შემდეგ იგი გეოფიზიკის კათედრაზე ლაბორანტის თანამდებობაზე დანიშნეს, ხოლო უნივერსიტეტის დამთავრების შემდეგ იმავე კათედრაზე უფროს ლაბორანტად გადაიყვანეს. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დასრულების დროისთვის ბატონი ელიზბარი უკვე მუშაობდა უნივერსიტეტის გეოფიზიკის კათედრაზე უფროსი ლაბორანტის თანამდებობაზე. მის მოვალეობაში შედიოდა უნივერსიტეტის მეტეოროლოგიურ სადგურში მეტეოროლოგიური დაკვირვებების წარმოება, აგრეთვე ფიზიკის ფაკულტეტის სტუდენტებთან ლაბორატორიული სამუშაოების ჩატარება.

იმ პერიოდში თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის რექტორად დაინიშნა აკადემიკოსი ილია ვეკუა, რომელმაც მანამდე დააარსა და დიდი სახელი მოუხვეჭა ნოვოსიბირსკის სახელმწიფო უნივერსიტეტს. ილია ვეკუამ თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ახლად შექმნილი მეტეოროლოგიის, კლიმატოლოგიისა და ოკეანოლოგიის კათედრის გამგედ მოიწვია პროფესორი გიორგი სულაქველიძე, რომელიც მანამდე ხელმძღვანელობდა ქალაქ ნაღჩიკში მისივე დაარსებულ მაღალმთიან გეოფიზიკის

ინსტიტუტს. სწორედ გიორგი სულაქველიძის ხელმძღვანელობით შეასრულა ელიზბარ ელიზბარაშვილმა ასპირანტურაში საკანდიდატო დისერტაცია და 1975 წლის 27 ივნისს თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოგრაფია-გეოლოგიის ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოს სხდომაზე წარმატებით დაიცვა თემა — „საქართველოს ტერიტორიაზე ძირითადი კლიმატური მახასიათებლების სივრცე-დროითი განაწილების თავისებურებანი“, რის საფუძველზეც მიენიჭა გეოგრაფიის მეცნიერებათა კანდიდატის სამეცნიერო ხარისხი. იმავე წელს ელიზბარ ელიზბარაშვილი აირჩიეს ფიზიკის ფაკულტეტის გეოფიზიკის კათედრის ასისტენტად და მიიწვიეს სალექციო კურსების წასაკითხად ატმოსფეროს ფიზიკასა და სინოპტიკურ მეტეოროლოგიაში. სწორედ ამ პერიოდიდან დაიწყო მისი პედაგოგიური საქმიანობა.

იმ დროს საქართველოში ერთ-ერთ წარმატებულ სამეცნიერო-კვლევით ცენტრს წარმოადგენდა ი. კონიაშვილის სახელობის კურორტოლოგიისა და ფიზიოთერაპიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი. იგი საქართველოს ერთ-ერთი უძველესი სამეცნიერო დაწესებულება იყო და გასული საუკუნის 20-იან წლებში დაარსდა. ინსტიტუტის ფილიალები ფუნქციონირებდა სოხუმში, ბათუმში, წყალტუბოსა და ბორჯომში, ხოლო მისი სამეცნიერო საქმიანობა და მიღწევები ფართოდ იყო აღიარებული როგორც საბჭოთა კავშირში, ისე მის ფარგლებს გარეთ. ინსტიტუტი მრავალპროფილიანი ხასიათის იყო და იკვლევდა საკითხთა ფართო სპექტრს — ჰიდროგეოლოგიური და კლიმატოლოგიური პრობლემებიდან დაწყებული, საზოგადოებრივი ჯანმრთელობის აქტუალურ საკითხებამდე. კლიმატოლოგიურ კვლევებს ხელმძღვანელობდა გამოჩენილი ქართველი კლიმატოლოგი გიორგი ჭირაქაძე, რომელიც 1978 წელს გარდაიცვალა. აღნიშნული დანაკლისის შესავსებად, საქართველოს კურორტოლოგიისა და ფიზიოთერაპიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტის დირექტორის მოადგილემ, პროფესორმა გიორგი უშვერიძემ, ინსტიტუტში უფროს მეცნიერ-თანამშრომლად, კლიმატოლოგის პოზიციაზე, მიიწვია ელიზბარ ელიზბარაშვილი. 1980 წელს იგი იმავე ინსტიტუტის სამედიცინო კლიმატოლოგიის ლაბორატორიის ხელმძღვანელად აირჩიეს. მისი ხელმძღვანელობით კომპლექსური კლიმატური კვლევები ჩატარდა საქართველოს მრავალ კურორტსა და რეგიონში, მათ შორის ურეკი-შეკვეთილის საკურორტო ზონაში, ბორჯომის ჯგუფის კურორტებზე, აჭარაში, არაგვის ხეობაში, კახეთში და სხვა ტერიტორიებზე. სწორედ ამ კვლევებმა წარმოაჩინა ურეკი-შეკვეთილის საკურორტო ზონის მნიშვნელობა, რაც საფუძვლად დაედო მის განვითარებას. აღნიშნული კვლევების შედეგები აისახა მის მონოგრაფიაში საქართველოს კურორტების კლიმატოგრაფიის შესახებ, აგრეთვე მრავალრიცხოვან ბროშურებში. ათი წლის განმავლობაში ჩატარებული საკურორტო რესურსების კვლევის შედეგები განზოგადდა ფუნდამენტურ ატლასში — „საქართველოს კურორტები და საკურორტო რესურსები“, რომელიც 1989 წელს მოსკოვში გამოიცა. ატლასის კლიმატური რესურსების რუკები შესრულდა ბატონი ელიზბარის ხელმძღვანელობით. აღნიშნული ნაშრომისთვის მის ავტორებს, მათ შორის ელიზბარ ელიზბარაშვილს, მიენიჭათ საქართველოს სახელმწიფო პრემია.

გასული საუკუნის 80-იან წლებში ელიზბარ ელიზბარაშვილი მონაწილეობდა უნიკალური პროექტის — მზიურის — შექმნაში. მან შეიმუშავა პროექტის კლიმატური დასაბუთება, რაც მნიშვნელოვან საფუძველს წარმოადგენდა აღნიშნული სივრცის დაგეგმვისა და განვითარებისათვის. ბატონი ელიზბარის თქმით, „ეს იყო მომავლის შესანიშნავი საბავშვო ქალაქი, რომელიც ვერეს ხეობაში, გმირთა მოედნიდან ბეთანიაძე ვრცელდებოდა.“

სწორედ კურორტოლოგიისა და ფიზიოთერაპიის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში შეასრულა ელიზბარ ელიზბარაშვილმა სადოქტორო დისერტაცია. დისერტაცია სრულდებოდა იუნესკოს ორი პროგრამის — „ალპები-კავკასია“ და „ადამიანი და ბიოსფერო“ — ფარგლებში. აღნიშნულ პროგრამებში მონაწილეობდნენ მსოფლიოში ცნობილი მეცნიერები, აკადემიკოსები: ი. გერასიმოვი, გ. მარჩუკი, მ. ბუდიკო, მ. გოლიცინი, კ. კონდრატიევი, ვ. კოტლიაკოვი, პროფესორები ი. მაშბიცი, ა. კრენკე და სხვები. საქართველოდან პროგრამების კურატორი იყო პროფესორი ემილ კობახიძე. დისერტაციაზე მუშაობის პროცესში ბატონმა ელიზბარმა დაამყარა სამეცნიერო კავშირები მსოფლიოს ცნობილ სამეცნიერო ცენტრებთან — ა. ვოეიკოვის სახელობის მთავარი გეოფიზიკური ობსერვატორიასა და საბჭოთა კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტთან. დისერტაციის ძირითადი შედეგები ქვეყნდებოდა წამყვან საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალებში, რის გამოც საერთაშორისო გეოგრაფიული საზოგადოება კარგად იყო ინფორმირებული მისი კვლევებისა და სამეცნიერო მიღწევების შესახებ.

ელიზბარ ელიზბარაშვილმა 1990 წლის 16 ნოემბერს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტში დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად თემაზე — „სითბოსა და ტენის კლიმატურ მახასიათებლებზე მთის რელიეფის გავლენის მათემატიკურ-კარტოგრაფიული მოდელირება“. სადისერტაციო საბჭომ დისერტაცია მაღალი შეფასებით მიიღო. ნაშრომის შესახებ დადებითი რეცენზიები წარმოადგინეს პროფესორებმა: ო. დროზდოვმა — ლენინგრადის სახელმწიფო უნივერსიტეტის კლიმატოლოგიის კათედრის გამგემ; ნ. კობიშევამ — ა. ვოეიკოვის სახელობის მთავარი გეოფიზიკური ობსერვატორიას კლიმატოლოგიის განყოფილების ხელმძღვანელმა; და მ. პეტროსიანცმა — მოსკოვის მ. ლომონოსოვის სახელობის სახელმწიფო

უნივერსიტეტის მეტეოროლოგიისა და კლიმატოლოგიის კათედრის გამგემ. დისერტაციის შედეგების პრაქტიკული მნიშვნელობა დასტურდებოდა სხვადასხვა სახელმწიფო და სამეცნიერო დაწესებულების დასკვნებითა და რეკომენდაციებით. მათ შორის იყვნენ საქართველოს მინისტრთა საბჭო, სოფლის მეურნეობის სამინისტრო, სახელმწიფო სამმართველო ინსტიტუტი, რესპუბლიკური სამმართველო გაერთიანება, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, საქართველოს კურორტოლოგიისა და ფიზიოთერაპიის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი და სხვ. აღნიშნულ ორგანიზაციებში დისერტაციის შედეგები დანერგული და შეტანილი იქნა სხვადასხვა პრაქტიკულ სამუშაოებში, სამეცნიერო და სახელმძღვანელო ხასიათის ნაშრომებში, რაც კიდევ ერთხელ უსვამდა ხაზს ელიზბარ ელიზბარაშვილის კვლევების მაღალ სამეცნიერო და გამოყენებით მნიშვნელობას.

1994 წელს აკადემიკოსმა გივი სვანიძემ ელიზბარ ელიზბარაშვილი მიიწვია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში მთავარი მეცნიერ-თანამშრომლის თანამდებობაზე. 2001–2005 წლებში იგი იყო ინსტიტუტის კლიმატის მოდელირების ლაბორატორიისა და ზოგადი კლიმატოლოგიის სექტორის გამგე, 2005–2006 წლებში — მეტეოროლოგიის განყოფილების გამგე, ხოლო 2006 წლიდან 2024 წლამდე ხელმძღვანელობდა კლიმატოლოგიისა და აგრომეტეოროლოგიის განყოფილებას. ბატონი ელიზბარაშვილის შეფასებით, ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესი პროექტი, რომელიც მისი ინიციატივით დაიგეგმა და თანახელმძღვანელობით განხორციელდა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში, იყო „საქართველოს კლიმატური და აგროკლიმატური ატლასი“. ატლასი მოიცავს 112 რუკას და ასახავს საქართველოს კლიმატურ და აგროკლიმატურ რესურსებს, კლიმატის ცვლილებასა და ჰიდროლოგიურ თავისებურებებს. ე.ელიზბარაშვილის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი წამოწყება ინსტიტუტში იყო საქართველოს ადმინისტრაციული რეგიონების კლიმატური და აგროკლიმატური რესურსების სისტემური კვლევა, რომელიც 2000 წლიდან დაიწყო და დღესაც გრელდება. ჩატარებული კვლევების შედეგები ქვეყნდება სერიის სახით — „საქართველოს ჰავა“. აღნიშნული სერიით დღემდე უკვე გამოცემულია 10 ტომი.

1985 წლიდან ელიზბარ ელიზბარაშვილი აკადემიურ თანამდებობას იკავებს იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტში. მისი ინიციატივითა და ინსტიტუტის ხელმძღვანელობის მხარდაჭერით საქართველოში პირველად გაიხსნა გეოგრაფია-ეკოლოგიის სპეციალობა. 1991 წლიდან, სადოქტორო დისერტაციის დაცვის შემდეგ, ბატონი ელიზბარაშვილი თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტში პროფესორის თანამდებობაზე აირჩიეს. 1995 წელს, საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსად არჩევის შემდეგ, მან დააარსა აკადემიის კახეთის რეგიონული განყოფილება და თავადვე ჩაუდგა მას სათავეში. 2004 წლიდან იგი არის უნივერსიტეტის გეოგრაფიის კათედრის გამგე და მიმართულების ხელმძღვანელი, ხოლო 2007–2017 წლებში არჩეული იყო უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს წევრად. 2013 წლის გაზაფხულიდან ნოემბრამდე ელიზბარ ელიზბარაშვილი ასრულებდა უნივერსიტეტის აკადემიური საბჭოს თავმჯდომარის მოვალეობას.

უმაღლესი განათლების სისტემაში განხორციელებული რეფორმის შემდეგ ელიზბარ ელიზბარაშვილი იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ხელმძღვანელობდა ორ საბაკალავრო პროგრამას — გეოგრაფიასა და ეკოლოგიას; ორ სამაგისტრო პროგრამას — მეტეოროლოგიას, კლიმატოლოგიასა და ეკოლოგიას; აგრეთვე ორ სადოქტორო პროგრამას მეტეოროლოგიის, კლიმატოლოგიისა და ეკოლოგიის მიმართულებით. რეფორმის საწყის ეტაპზე გეოგრაფიის მიმართულების სამივე საფეხურზე სასწავლო სილაბუსების უმრავლესობა სწორედ მისი მომზადებული იყო. ახალი პროგრამების ფარგლებში მან დანერგა არაერთი ახალი სასწავლო კურსი, მათ შორის: გეოგრაფიული მოდელირება, გლობალური ეკოლოგია, ეკოლოგიური პროგნოზირება (ბაკალავრიატში), კლიმატის ცვლილება, ატმოსფეროზე ანთროპოგენული ზემოქმედება (მაგისტრატურაში) და სხვა. აღნიშნულ დისციპლინებთან დაკავშირებით მან შეადგინა დამხმარე სახელმძღვანელოები და სალექციო კურსები. 2008–2015 წლებში ბატონი ელიზბარაშვილი ხელმძღვანელობდა ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს, ხოლო 2015–2018 წლებში ამავე საბჭოს სწავლული მდივანი იყო.

ელიზბარ ელიზბარაშვილის მაღალი სამეცნიერო ავტორიტეტის შედეგად, მეტეოროლოგიისა და კლიმატოლოგიის სამაგისტრო და სადოქტორო პროგრამები საქართველოში მხოლოდ თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტში ფუნქციონირებდა. სწორედ ამ პროგრამების საფუძველზე აღიზარდა გეოგრაფიის არაერთი დოქტორი, რომლებიც წარმატებით საქმიანობენ სხვადასხვა საგანმანათლებლო, სამეცნიერო და საწარმოო დაწესებულებაში, მათ შორის ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში, ბათუმის შოთა რუსთაველის სახელობის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, იაკობ გოგებაშვილის სახელობის თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტში, გარემოს ეროვნული სააგენტოში, საწარმოო გაერთიანება „დელტა“ში, აგრეთვე კანადასა და სხვა ქვეყნების სამეცნიერო და საგანმანათლებლო ცენტრებში. 2018 წელს საქართველოს

უნივერსიტეტებს შორის პირველი ავტომატური მეტეოროლოგიური სადგური, ელიზბარ ელიზბარაშვილის დიდი ავტორიტეტისა და ინიციატივის საფუძველზე, სწორედ თელავის უნივერსიტეტში დაამონტაჟა გარემოს ეროვნულ სააგენტომ.

ელიზბარ ელიზბარაშვილი წარმოადგენს ერთ-ერთ მაღალრეიტინგულ მეცნიერ-გეოგრაფს საქართველოში. იგი ავტორია 260-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომისა, მათ შორის სახელმძღვანელოების, სამეცნიერო ატლასებისა და მონოგრაფიების. ბატონი ელიზბარის მიერ განხორციელებული კვლევების შედეგები წარმოდგენილი იქნა მრავალ საერთაშორისო ფორუმზე, მათ შორის საფრანგეთში, ავსტრიაში, გერმანიაში, ბულგარეთში, თურქეთში, რუსეთში, აზერბაიჯანში, სომხეთში და სხვა ქვეყნებში. შრომათა დიდი ნაწილი გამოქვეყნებულია მსოფლიოს ავტორიტეტულ სამეცნიერო ჟურნალებში. მისი კვლევების საფუძველზე შესწავლილია მთის ჰავის ჩამოყალიბების მექანიზმის არაერთი მნიშვნელოვანი საკითხი. ასევე გამოვლენილია საქართველოს კლიმატური, მათ შორის საკურორტო და ენერგეტიკული რესურსების თავისებურებები, აგრეთვე გლობალური დათბობის პირობებში კავკასიის კლიმატის ცვლილების ძირითადი ტენდენციები. ელიზბარ ელიზბარაშვილი არის ახალი სამეცნიერო მიმართულების — ლანდშაფტების კლიმატოლოგიის — შექმნისა და განვითარების ავტორი. მისი ხელმძღვანელობით მომზადებულია 2 მეცნიერებათა დოქტორი, 10 მეცნიერებათა კანდიდატი და 11 აკადემიური დოქტორი.

ელიზბარ ელიზბარაშვილი 1995 წლიდან არის საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემიის აკადემიკოსი, 2003 წლიდან — აშშ ბიოგრაფიული ინსტიტუტის მრჩეველთა საბჭოს წევრი, 2005 წლიდან იგი არის მსოფლიო ბანკის ექსპერტი ჰიდრომეტეოროლოგიის დარგში და 2021 წლიდან — ევროპის გეომეცნიერებათა კავშირის (EGU)ს წევრი.

ელიზბარ ელიზბარაშვილი არის საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და ბუნებრივი კატასტროფების სამეცნიერო პრობლემების შემსწავლელ კომისიების წევრი. იგი მონაწილეობს მრავალი საერთაშორისო და რეგიონული სამეცნიერო ჟურნალის გამოცემაში, მათ შორის არის საერთაშორისო ჟურნალის European Geographical Studies-ის მთავარი რედაქტორის მოადგილე, „ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომების“ კრებულის მთავარი რედაქტორის მოადგილე, ბულგარეთში გამოცემული საერთაშორისო ჟურნალის Ecology & Safety-ის სარედაქციო კოლეგიის წევრი და სხვ.

მეცნიერების განვითარებაში შეტანილი წვლილისთვის ელიზბარ ელიზბარაშვილი 2003 წელს დაჯილდოვდა ღირსების ორდენით.

1993 წელს ატლასისათვის "საქართველოს კურორტები და საკურორტო რესურსები" მას თანაავტორებთან ერთად მიენიჭა საქართველოს სახელმწიფო პრემია მეცნიერების და ტექნიკის დარგში, ხოლო 2025 წელს შრომათა ციკლისათვის "ბუნებრივი საშიშროებები საქართველოში : პარამეტრული კატალოგების შედგენა და კანონზომიერებების გამოკვლევა" შემოქმედებით ჯგუფთან ერთად მიენიჭა მიხეილ ნოდინის სახელობის აკადემიური პრემია.

ვულოცავთ ბატონ ელიზბარს სახელოვან იუბილეს და ვუსურვებთ ჯანმრთელობას, ნაყოფიერ სამეცნიერო საქმიანობას და ახალ შემოქმედებით წარმატებებს.

ცისანა ბასილაშვილი



85 წელი შეუსრულდა გამოჩენილ ქართველ ჰიდროლოგს, ღირსების ორდენის კავალერს, ვ. გლუშკოვისა და ვ. ურივაევის სახელობის საკავშირო სახელმწიფო პრემიის ლაურეატს, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მთავარ მეცნიერ თანამშრომელს, გეოგრაფიის მეცნიერებათა დოქტორს ცისანა ბასილაშვილს.

ცისანა ბასილაშვილი დაიბადა 1941 წლის 5 ივლისს ქალაქ თბილისში. 1961 წელს ჩაირიცხა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოგრაფია-გეოლოგიის ფაკულტეტზე და 1965 წელს დაამთავრა ხმელეთის ჰიდროლოგიის სპეციალობით.

ქალბატონმა ცისანამ 1964 წელს მუშაობა დაიწყო ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში ჯერ ტექნიკოსად, შემდეგ ინჟინრის, მეცნიერ მუშაკის, 1989 წლიდან წამყვან მეცნიერ თანამშრომლის თანამდებობაზე, 2003 წლიდან მთავარი მეცნიერ თანამშრომელია.

1968-1973წწ. ასპირანტურის კურსი გაიარა ქ. მოსკოვის საბჭოთა კავშირის ჰიდრომეტეოროლოგიის ცენტრში და 1980 წელს იქვე დაიცვა საკანდიდატო დისერტაცია თემაზე - "დასავლეთ საქართველოს მდინარეთა ჩამონადენის ანალიზი და გრძელვადიანი პროგნოზები", ხოლო 2002 წელს ივ.ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტში დაიცვა სადოქტორო დისერტაცია "მთის მდინარეთა ჩამონადენის პროგნოზირება (საქართველოს მაგალითზე)".

ქალბატონი ცისანა ავტორია 100-ზე მეტი სამეცნიერო ნაშრომისა, მათ შორის მონოგრაფიებისა. მათი დიდი ნაწილი გამოქვეყნებულია საზღვარგარეთის ავტორიტეტულ სამეცნიერო ჟურნალებში. შედგენილი აქვს მონაცემთა სტატისტიკური ანალიზის და მრავალფაქტორიან დამოკიდებულებათა განსაზღვრისა და შეფასების კომპიუტერული პროგრამები, რომლებიც გამოქვეყნებულია მსოფლიო მონაცემთა ცენტრში და გამოიყენება მეცნიერების სხვადასხვა დარგში. მის მიერ შედგენილი 24 მეთოდური მითითება ორბიტული პროგნოზირების შესადგენად, დანერგილია სახალხო მეურნეობის მნიშვნელოვანი ობიექტების მომსახურებისათვის.

მეცნიერების განვითარებაში შეტანილი წვლილისთვის ცისანა ბასილაშვილი 2003 წელს დაჯილდოვდა ღირსების ორდენით.

1991 წელს ჩატარებული შრომათა ციკლისათვის საბჭოთა კავშირის ჰიდრომეტეოროლოგიის სახელმწიფო კომიტეტმა მას მიანიჭა ვ. გლუშკოვისა და ვ. ურივაევის სახელობის პრემია.

იგი 1972 წლიდან არის ალექსანდრე ჯავახიშვილის სახელობის საქართველოს გეოგრაფიული საზოგადოება, წევრი. 1976 და 1995 წლებში მ.ლომონოსოვის სახელობის მოსკოვის სახელმწიფო უნივერსიტეტში გაიარა იუნესკოს უმაღლესი საერთაშორისო ჰიდროლოგიური კურსები. დამთარებული აქვს საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის დედამიწის შემსწავლელ მეცნიერებათა სახალხო უნივერსიტეტი 1977 წელს; თბილისის სახელმწიფო სამედიცინო ინსტიტუტის კურსები 1990; თბილისის უცხო ენების ინსტიტუტის ინგლისური ენის კურსები 1993 წელს.

ვულოცავთ ქალბატონ ცისანას სახელოვან იუბილეს და ვუსურვებთ ჯანმრთელობას, და ახალ შემოქმედებით წარმატებებს.