

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული
ტომი № 125

TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY
VOL. №125

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ТОМ № 125



ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური
პრობლემები

**PRESSING PROBLEMS OF HYDROMETEOROLOGY AND
ECOLOGY**

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

თბილისი _TBILISI _ ТБИЛИСИ

2019

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები

ტომი № 125

ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური
პრობლემები

TRANSACTIONS OF THE INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY
OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY

VOL.№125

PRESSING PROBLEMS IN HYDROMETEOROLOGY AND ECOLOGY

ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ТОМ № 125

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ

თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ

2019

მთავარი რედაქტორი

Editor in Chief

Главный редактор

სარედაქციო კოლეგია

ნ.ბეგალიშვილი

N.Begalishvili

Бегалишвили Н.А.

ბ.ბერიტაშვილი (რედაქტორის მოადგილე), გ.გაჩეჩილაძე, გ.გუნია, გ.გრიგოლია, ე.ელიზბარაშვილი, გ.მელაძე, რ. სამუკაშვილი, ვ. ცომაია, თ.ცინცაძე (პასუხ. მდივანი)

სარედაქციო საბჭო

Editorial Board

ნ.ბუაჩიძე, ი.გელაძე, ჯ.ვანხაძე, ლ.ინჭირველი, მ.მელაძე, გ.ხერხეულიძე. B.Beritashvili (Deputy Ed.-in-Chief), G.Gachechiladze, G.Gunia, G.Grigolia, E.Elizbarashvili, G.Meladze, R. Samukashvili, V.Tsomaia, T.Tsintsadze (Executive secretary)

Editorial Council

Редакционная коллегия

N.Buachidze, J.Vachnadze, I.Geladze, L.Inckirveli, M.Meladze, G.Kherkheulidze Бериташвили Б.Ш. (зам.гл. редактора), Гачечиладзе Г.А., Григолия Г.Л., Гуня Г.С., Меладзе Г.Г., Самукашвили Р.А., Цомая В.Ш., Цинцадзе Т.Н. (отв. секретарь), Элизбарашвили Э.Ш.

Редакционный совет

Буачидзе Н.С., Вачнадзе Д.И., Геладзе И.М., Инцкирвели Л.И., Меладзе М.Г., Херхеულიдзе Г.И.

შენიშვნა: რედაქცია არ აგებს პასუხს ავტორების მიერ წარმოდგენილ მასალებზე

Note: The Editorial board is not responsible for materials submitted by authors

Примечание: Редакция не несет ответственности за содержание материалов, представляемых авторами

ISSN 1512-0902

©	<p>საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი INSTITUTE OF HYDROMETEOROLOGY OF THE GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY ИНСТИТУТ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ ГРУЗИНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА</p>	2019
---	---	------

წინამდებარე კრებულში შესულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის 64-ე მაისის სამეცნიერო სესიაზე მოსმენილი მოხსენებები, მიძღვნილი ჰიდრომეტეოროლოგიისა და ეკოლოგიის აქტუალური პრობლემებისადმი. შესაბამისი სტატიები მოცემულია შემდეგ სამეცნიერო მიმართულებათა მიხედვით: მეტეოროლოგია, კლიმატოლოგია, აგრომეტეოროლოგია, ჰიდროლოგია, კლიმატის ცვლილება, ბუნებრივი გარემოს დაბინძურება.

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

In this issue texts of papers presented at the 64-th 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, 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 64-ой майской научной сессии Института Гидрометеорологии, посвященной актуальной проблеме 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.

ს ა რ ჩ ე ბ ა CONTENTS СОДЕРЖАНИЕ

1	<p>გრიგოლია გ., ალავერდაშვილი მ. მდინარე მტკვარზე (მინაძე) მინიმალური დონეებისა და ხარჯების ცვალებადობის დინამიკა Grigolia G., M.Alaverdashvili. Dynamics of changes in minimum levels and expenses on the Mtkvari River (Minadze) Григолия Г., Алавердашвили М.,Динамика изменения минимальных уровней и расходов на реке Мтквари (Минадзе).....</p>	5
2	<p>ბასილაშვილი ც.ირიგაციული წყალმომარაგება და წყალუზრუნველყოფა შიგნი კახეთის ტერიტორიაზე Basilashvili Ts.Irrigation AatervConsumption and Water Safety in the Territory of Inland Kakheti Басилашвили Ц.З. Ирригационная водопотребность и водообеспеченность на территории Кахетии.....</p>	9
3	<p>გ. გელაძე, ნ. ბეგალიშვილი, ნ. ბეგალიშვილი წყლის ფაზური გადასვლების გათვალისწინება მეზომეტეოროლოგიის ზოგიერთ რიცხვით მოდელში G. Geladze, N. Begalishvili, N. Begalishvili Account of phase transformations of water in some numerical models of mesometeorology Г. Геладзе, Н.А Бегалишвили, Н.Т Бегалишвили Учёт фазовых превращений воды в некоторых численных моделях мезометеорологии.....</p>	14
4	<p>ბასილაშვილი ც.მდ. ალაზნის მოსალოდნელი წყალმცირობის ნეგატიური შედეგების შერბილების შესახებ Basilashvili Ts. On Mitigation of the Negative Results of Expected Milover r.Alazani Басилашвили Ц.З.О смягчении негативных результатов ожидаемого малаводиья р.Алазани.....</p>	21
5	<p>თ. ცინცაძე, ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, ს. მდივანი საქართველოში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრობლემაზე 1980-იანი წლებიდან წარმოებულ სამუშაოთა მოკლე მიმოხილვა. T. Tsintsadze, B. Beritashvili, N. Kapanadze, S. Mdivani Overview of activities carried out since 1980es in Georgia on the problem of integrated management of water resources. Цинцадзе Т.Н., Бериташвили Б.Ш., Капанадзе Н.И., Мдивани С.Г Обзор работ, выполненных в Грузии с 1980-х годов в области проблемы интегрированного управления водными ресурсами.....</p>	27
6	<p>თავარტილაძე კ., ბოლაშვილი ნ., ბეგალიშვილი ნ.ზღვის სანაპირო ზონაში ატმოსფერული აეროზოლების სელექტიური შთანთქმა 0.52-0.80 მკმ სპექტრულ დიაპაზონში. Tavartkiladze K., Bolashvili N., Begalishvili N.Selective Absorption of the Atmospheric Aerosols of Sea Coast Zone in 0.52-0.80 Microns Spectral Range. Таварტილაძე К.А., Болашвили Н.Р., Бегалишвили Н.А. Селективное поглощение атмосферных аэрозолей морской береговой зоны в спектральном диапазоне 0,52-0,80 МКМ</p>	39
7	<p>ს. გორგიჯანიძე. საქართველოს ტბების კატალოგის ზოგადი მიმოხილვა S. Gorgijanidze. Review of Georgian Lake Catalog С. Н. Горгиджанидзе. Общий обзор каталога озер Грузии.....</p>	47
8	<p>მელაძე მ.გ., მელაძე გ.გ.სამეგრელო-ზემო სვანეთის რეგიონის აგროკლიმატურ პირობებში თხილის კულტურის აგრობიოლოგიური თავისებურებანი Meladze M.G., Meladze G.G. Agrobiological Peculiaritiws of Hazelnut ih Agrokliatic Conditions of Samegrelo – Zemo Svaneti Region Меладзе М.Г., Меладзе Г.Г. Агробиологические особенности культуры фундука в Агро-климатических условиях региона Самегрело Земо Сванети.....</p>	51
9	<p>სამუკაშვილი რ., ვაჩნაძე ჯ.,დიასამიძე ც.ქარის ენერგეტიკული რესურსები რაჭა-ლეჩხუმის რაიონში Samukashvili R., Vachnadze J., Diasamidze Ts.Wind energy resource in the Racha-Lechkhumi area. Самукашвили Р.,Вачнадзе Дж. Диасамидзе Ц. Ветроэнергетический ресурс в районе Рача-Лечхуми.....</p>	56
10	<p>ფიფია მ., ბეგლარაშვილი ნ. ქარბუქიან დღეთა რიცხვი საქართველოში 1966-2017 წლების სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით Pipia M., Beglarashvili N. Number of days with a blizzard in Georgia according to statistics from</p>	63

	1966-2017 Пи́пия М.Г., Бегларашвили Н.Г. Число дней с метелью в Грузии по статистическим данным 1966-2017 годов.....	
11	ლ. ინჭირველი, ა. სურმავა, ნ. გიგაური. ლისის ტბის წყლის ჰიდრობიოქიმიური მდგომარეობის დახასიათება Intskirveli L., Surmava A., Gigauri N. Evaluation of the Hydrobiolochemical State of Waters of the Lisi Lake Инцкирвели Л.Н., Сурмава А.А., Гигаური Н.Г. Оценка гидрохимического состояние вод озера Лиси.....	67
12	ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინჭირველი ქალაქ ზესტაფონის ატმოსფეროში მტვრის გავრცელების შეფასება რიცხვითი მოდელირებით N. Gigauri, L. Gverdtsiteli, A. Surmava, L. Intskirveli Estimation of Dust Distribution in the Zestafony District bt Numerical Modeling Н. Гигаური, Л. Гвердтсители, А. Сурмава, Л. Инцкирвели Оценка распространение пыли в воздухе Зестафонского района с помощью численнрг моделирования.....	74
13	ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, ს. მდივანი წყლის ინტეგრებული მართვის მოდელის WEAP 21 გამოყენების გამოცდილება. B. Beritashvili, N. Kapanadze, S. Mdivani. Experience of WEAP 21 Integrated Water Resource Management Model. Бериташвили Б.Ш., Капанадзе Н.И., Мдивани С.Г Опыт применения модели интегрированного управления водными ресурсами WEAP 21 в бассейне р. Сакраменто.....	77
14	ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია, მ. ძაძამია საქართველოს მცირე მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენის შესწავლა დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენებით L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, V. Tsomaia, M. Dzadzamia Study of climate change impact on small glaciers of Georgia based on remote sensing data Л.Д. Шенгелия, Г.И. Кордзахия, Г.А. Тваური, В.Ш. Цомаия, М. Ш Дзадзамия Изучение влияния изменения климата на малые ледники Грузии с использованием данных дистанционного зондирования.....	83
15	დ. დემეტრაშვილი ამინდის პროგნოზის რიცხვითი მოდელები შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის D. Demetrashvili Numerical Weather Forecasting Model For Limited Area Д. Деметрашвили. Численные модели прогноза погоды для ограниченной территории.....	90
16	ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., ზოტიკიშვილი ნ., სამხარაძე ი. ჰაერის მიკროცირკულაციური პროცესები და კლიმატური თავისებურებანი თბილისის ტერიტორიაზე. Z. Khvedelidze, M. Tatishvili, N. Zotikishvili, I. Samkhaxadze Air micro-circular processes and climate peculiarities over Tbilisi territory З. Хведелидзе, М. Татишвили, Н. Зотикишвили, И. Самхарадзе Микроциркуляционные процессы воздуха и климатические особенности города Тбилиси.....	99

უაკ 551

მდინარე მტკვარზე (მინაბე) მინიმალური დონეებისა და ხარჯების
ცვალებადობის დინამიკა

გ. გრიგოლია¹, მ. ალავერდაშვილი².

¹საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
²ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

კლიმატის ცვლილება თანამედროვე პერიოდის ერთ-ერთ აქტუალურ პრობლემას წარმოადგენს. საქართველოს რთული ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გამო ეს პრობლემა განიხილებოდა ჯერ კიდევ გასული საუკუნის შუა წლებში [3,4] რომელმაც როგორც მიმდინარე პროცესებმა გვიჩვენა კლიმატის მრავალწლიური ცვალებადობის კანონზომიერებების მხრივ საკმაოდ გამომხატურება კპოვა XX საუკუნის შუა წლებიდან დღევანდელ დღემდე.

განსაკუთრებით ფართო მასშტაბი მიღო კლიმატის ცვლილებით გამოწვეულმა მდინარის ჩამონადენმა და მისმა რეჟიმმა, რაც გამოიხატა თავსხმა წვიმებით გამოწვეული წყალმოვარდნებით, რომლებიც ზოგჯერ კატასტროფულ ხასიათს იძენენ, ამიტომ, კლიმატის გლობალური დათბობის ფონზე მეტად აქტუალურია მდინარის ჩამონადენისა და მისი განმაპირობებელი ფაქტორების ცვალებადობის კანონზომიერების დადგენა და შეფასება.

მოცემულ ნაშრომში განხილულია შემთხვევითი პროცესების ტრენდის გამოკვლევის, ანალიზისა და შეფასების საკითხები. ტრენდის შეფასებული სიდიდე ყოველთვის ობიექტურად ვერ ასახავს პროცესის ზოგადი კანონზომიერების ტენდენციას (დინამიკას). ამიტომ აუცილებელია პროცესების ექსტრემალურ შემთხვევათა და მათი შედეგების დეტალური ანალიზი, განსახილველი რიგების ერთგვაროვნობის შეფასება და მისი დარღვევის მიზეზების გამოვლენა.

ჰიდროლოგიურ პრაქტიკაში ტრენდი ეწოდება, შემთხვევითი ცვლადის ნელ, თანდათანობით ცვლილებას საანგარიშო პერიოდის განმავლობაში.

ტრენდის გამოვლენის თვალსაჩინო ხერხს წრფივი რეგრესია წარმოადგენს $y=ax+b$ სახით. ამ შემთხვევაში ტრენდის არსებობა სარწმუნოდ ითვლება, თუ სრულდება პირობა:

$$a \geq 1.96\sigma_{ab} \sqrt{n / \left[n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right]}; \quad \sigma_{ab} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 / (n-2)}$$

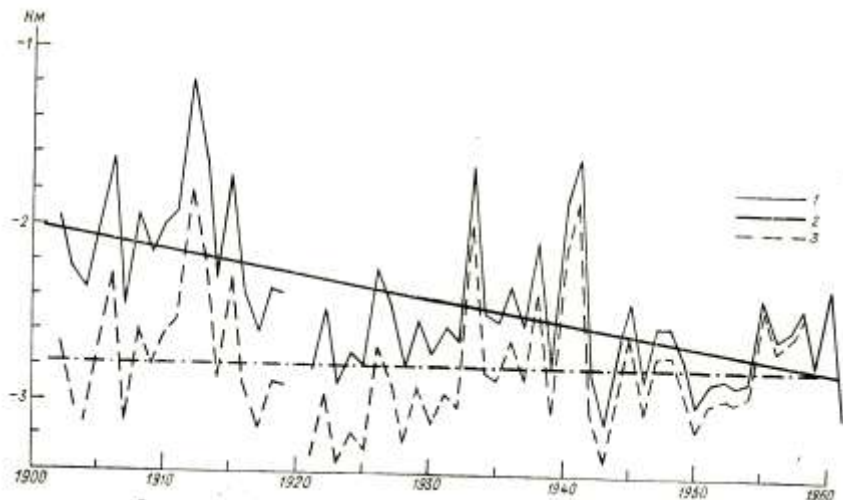
წინააღმდეგ შემთხვევაში არ გვაქვს საფუძველი ვისაუბროთ სიდიდის ერთმნიშვნელოვან ცვლილებაზე დროში (ტრენდის ნიშნადობაზე).

ტრენდის ნიშნადობა შეიძლება შეფასდეს შემთხვევით სიდიდესა და მის რიგით ნომერს შორის კორელაციის კოეფიციენტით r , თუ ტრენდის გათვლების შედეგად აღმოჩნდება, რომ კორელაციის კოეფიციენტი და რანგობრივი კრიტერიუმები მეტია $2\sigma_r$ -ზე, სადაც $\sigma_r = 1/\sqrt{n-1}$ ან $\sigma_r = \sqrt{n}/n-1$, მაშინ ტრენდი ნიშნადია და ჩაითვლება სარწმუნოდ.

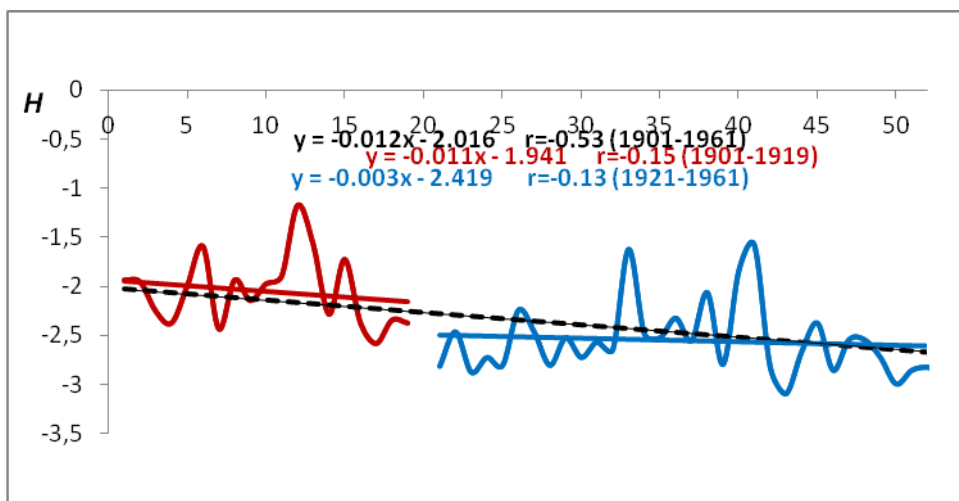
აღნიშნული პრობლემატიკა განხილულია სტატიაში “ჰიდროლოგიური პროცესების ტრენდის შეფასება და ანალიზი (გ.გრიგოლია, ე.საბაძე, ნ.ჩილუნაძე), ჰმი-ის შრომები, 2002 წელი.

მდინარე ტისას-საგ.ზახონა დაკვირვებული მონაცემები ორ არაერთგვაროვან პერიოდს (1901-1919 და 1921-1961 წწ) მოიცავს. მთელი დაკვირვებული რიგისათვის შეფასებული ტრენდის სიდიდე გვიჩვენებს, რომ გვაქვს უარყოფითი ტრენდი.

მდინარე ტისას (ნახ.1) მინიმალური დონეების ცვალებადობა მოყვანილია საერთაშორისო მითითებიდან ჰიდროლოგიური მახასიათებლების განსაზღვრის შესახებ (1984 წ., [2]). ეს მაგალითი მოყვანილია ტრენდის გაანგარიშებისათვის. (მაგ.2.7). როგორც ეს ნახაზი გვიჩვენებს საქმე გვაქვს ორ არაერთგვაროვან რიგთან, აღნიშნული კარგად ჩანს ნახ. 2-ზე სადაც ერთი რიგი (1901-დან 1920-მდე რიგი კლებადა, ხოლო 1921-დან 1962 წლამდე, რიგი ზრდადა, ე.ი. პირველ შემთხვევაში ტრენდი კლებადა, ხოლო მეორე შემთხვევაში მზარდი, ამავე ნაშრომში მოყვანილია ერთგვაროვნების შეფასების მაგალითები და დადგენილია, რომ მთლიანი რიგი არის არაერთგვაროვანი. არაერთგვაროვნების დარღვევის მიზეზები აქ მითითებული არ არის და რიგი განხილულია როგორც ერთიანი.



ნახ.1 მდინარე ტისას-საგ.ზახონა მინიმალური დონეების ცვალებადობა, 1-დაკვირვებული მნიშვნელობა, 2-ტრენდი, 3-ტრანსფორმირებული მნიშვნელობა.

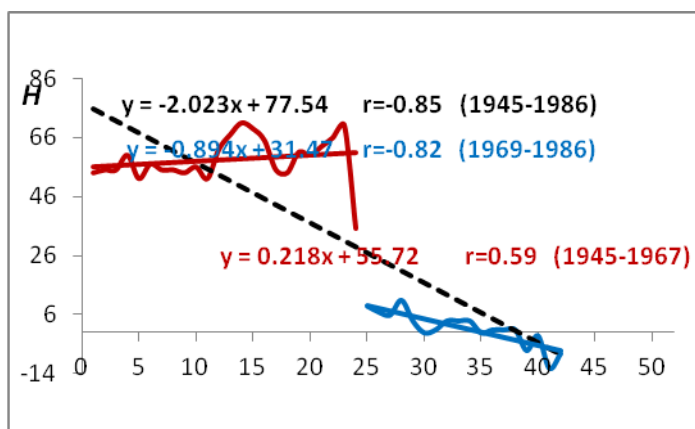


ნახ. 2 მდ.ტისას (ზახონა) მინიმალური დონეების მრავალწლიური ცვალებადობა

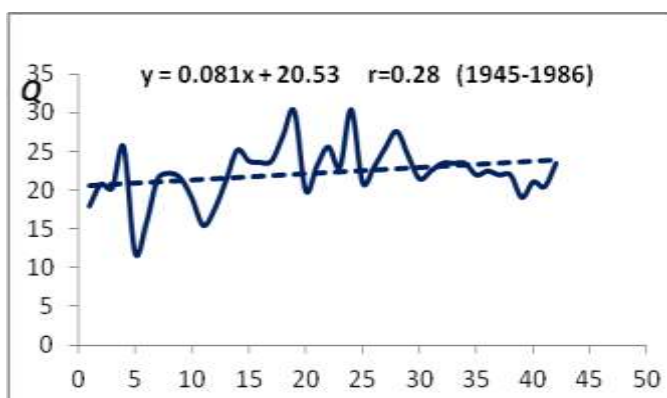
საერთაშორისო მითითებებში გენდეკო-კოროლიუკის (მაგ.2.1) და კოლმოგოროვ-სმირნოვის (მაგ.2.2) კრიტერიუმების შესაბამისად დადგენილია გამოყენებული რიგის არაერთგვაროვნება, თუმცა აღნიშნულია რომ დაკვირვებული პოსტის რაიონში განსაკუთრებული მოვლენები რომლებიც წყლის დონეებზე ახდენენ გავლენას არ დაფიქსირებულა, შესაბამისად რითია გამოწვეული არაერთგვაროვნება აღნიშნული არ არის და ამ რიგისთვის გათვლილი ტრენდი არარეალურია. ცალკეულ პერიოდისთვის შევაფასეთ ტრენდი და განსხვავება ნათლად ჩანს ნახ. 2-ზე.

მსგავსი შემთხვევა გვაქვს მდინარე მტკვრის (მინაძე) მინიმალური დონეების ცვალებადობის შესწავლის დროსაც. 1968 წლის კატასტროფულმა წყალმოვარდნამ (1110 მ³/წმ, ხოლო მანამდე დაკვირვების მონაცემებით მაქსიმალური ხარჯი იყო 535 მ³/წმ), კალაპოტის მკვეთრი ჩაღრმავება (გამორეცხვა) გამოიწვია და შედეგად დაირღვა პროცესის ერთგვაროვნება. ამიტომ ტრენდის შეფასება მთელი რიგისათვის არაობიექტურია, ხოლო ცალკეული პერიოდებისათვის ის განსხვავებულ ტენდენციებს გვაძლევს, ისევე როგორც მდინარე ტისას შემთხვევაში, პირველ მონაკვეთში დადებითი ტრენდი გვაქვს, მეორეში - უარყოფითი. მდინარე მტკვრის შემთხვევაში იმოქმედა უფრო მეტად მინიმალური დონეებზე, ხოლო ხარჯებზე პრაქტიკულად არ უმოქმედია.

განსხვავებული სურათი გვაქვს მინიმალური ხარჯების ცვალებადობის შემთხვევაში. ნახ. 3. 4-ზე მოყვანილია მინიმალური ხარჯების ცვალებადობა, რომელიც სრულიად განსხვავებულ სურათს გვაძლევს დონეებთან შედარებით და ჩვეულებრივი სტაციონალური შემთხვევითი პროცესია.



ნახ. 3 მდ.მტკვრის (მინაძე) მინიმალური დონეების მრავალწლიური რყევადობა



ნახ. 4, მდინარე მტკვარი, (მინაძე), მინიმალური ხარჯების ცვალებადობა

არარეალური შედეგი შეიძლება მივიღოთ იმ შემთხვევაშიც, თუ დაკვირვებულ მონაცემებში გვაქვს გამორჩეული მნიშვნელობა (განსაკუთრებით განასახილველი რიგის დასაწყისში ან ბოლოში).

აღნიშნულმა მაგალითებმა ნათლად დაგვანახეს, თუ როგორ ფრთხილად უნდა მოვეკიდოთ ტრენდის შეფასების საკითხს. ამასთან, მისი შესწავლა თანამედროვე პირობებში მეტად აქტუალური გახდა, რადგან ძალზედ მნიშვნელოვანია ჰიდრომეტეოროლოგიური პროცესების ცვალებადობის დინამიკის შესწავლა მათზე ანთროპოგენური ფაქტორებისა და კლიმატის გლობალური ცვლილების ზეგავლენის პირობებში.

ლიტერატურა - REFERENCES –ЛИТЕРАТУРА

1. გ. გრიგოლია, ე. საბაძე, ნ. ჩიღუნაძე “ჰიდროლოგიური პროცესების ტრენდის შეფასება და ანალიზი”, ჰმი-ის შრომები, 2002 წელი.
2. Международное руководство по методам расчета основных гидрологических характеристик, Ленинград, Гидрометеоиздат, 1984
3. Курдиани И. Г. К вопросу векового колебания климата Грузии. Труды Института Географии АНГССР, т. 15, 1956
4. Цуцкиридзе Я. А. Основные черты термического режима Грузии. Труды ЗакНИИ ГМИ, вып. 22, 1960

მდინარე მტკვარზე (მინაძე) მინიმალური დონეებისა და ხარჯების ცვალებადობის დინამიკა/გრეგოლია გ., ალავერდაშვილი მ./სტუ-ის შპი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.5-8 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

მოყვანილია ორი მაგალითი მდინარე ტისაზე და მდინარე მტკვარზე მინიმალური დონეების ცვალებადობის შესახებ, სადაც დაკვირვებული მონაცემები არაერთგვაროვანია. ერთგვაროვნება მდინარე მტკვარზე როგორც ჩანს დარღვეულია მაქსიმალური ხარჯის (1110 მ³/წმ) გაყვლის გამო, რამაც გამოიწვია კალაპოტის დეფორმაცია, ამიტომ ტრენდის შეფასებისას (მინიმალური დონეების შემთხვევაში) აუცილებელია პროცესის ექსტრემალურ შემთხვევათა და მათი შედეგების დეტალური ანალიზი განსახილველი რიგის ერთგვაროვნების შეფასებით და მათი დარღვევის მიზეზების გამოვლენით.

Dynamics of changes in minimum levels and expenses on the Mtkvari River (Minadze) /Grigolia G., M.Alaverdashvili,/Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.5-8. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

Two examples are given on the change in the minimum levels on the Tisa and Mtkvari rivers, where the observation data are heterogeneous. The homogeneity on the Mtkvari River is evidently violated as a result of passing the maximum flow rate (1110 m³ / s), which caused the bed deformation, therefore, when assessing the trend (in the case of the minimum levels), a detailed analysis of the extreme cases of the process and their results is required with an assessment of homogeneity of the considered line and reasons of their violation

Динамика изменения минимальных уровней и расходов на реке Мтквари (Минадзе). /Григолия Г., Алавердашвили М./Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.5-8. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Приведены два примера об изменении минимального уровня на реках Тиса и Тквари, где данные наблюдения неоднородны. Однородность на реке Мтквари, как видно, нарушена в результате прохождения максимального расхода (1110 м³/сек.), что вызвало деформацию русла, поэтому при оценке тренда (в случае минимального уровня) обязателен детальный анализ экстремальных случаев процесса и их результатов с оценкой однородности рассматриваемого ряда и причин нарушения.

უაკ 631.587

**ორიბაციული წყალმოთხოვნილება და წყალუზრუნველყოფა
შიზნი კახეთის ტერიტორიაზე**

ც.ბასილაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი, საქართველო jarjini@mail.ru

საქართველოს უკიდურეს აღმოსავლეთით მდებარე კახეთის რეგიონი შედგება ორი ნაწილისაგან: გარე კახეთი, რომელიც მოიცავს მდ. იორის აუზს და შიგნკახეთი, რომელიც მდ. ალაზნის აუზის ტერიტორიაზე მდებარეობს. მასში შედის ახმეტის, თელავის, გურჯაანის, ყვარლისა და ლაგოდეხის მუნიციპალიტეტები, აგრეთვე სიღნაღისა და დედოფლისწყაროს მუნიციპალიტეტების აღმოსავლეთი ნაწილები. აქ განვითარებულია სოფლის მეურნეობის მრავალი დარგი, კერძოდ: მევენახეობა, მებაღეობა, მემარცვლეობა, მებოსტნეობა, მესაქონლეობა, მეფუტკრეობა, მეთევზეობა.

სასოფლო-სამეურნეო კულტურების განლაგება და განვითარება განპირობებულია ადგილმდებარეობის აგროკლიმატური რესურსებით, რომელთა ძირითადი მახასიათებლებია ჰაერის აქტიური ($\geq 10^{\circ}\text{C}$) ტემპერატურებისა და ატმოსფერული ნალექების ჯამები. ამ ორი ფაქტორის მიხედვით პროფ. გ. მელაძისა და მ. მელაძის მიერ 2010 წელს შედგენილ იქნა რეგიონის აგროკლიმატური რუკა [1], სადაც გამოყოფილია ხუთი აგრომეტეოროლოგიური ზონა: I ზონა – 300-450 მ სიმაღლეზე აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 4000°C -ზე მეტია, თბილი პერიოდის ნალექების ჯამი კი მხოლოდ 300-400 მმ, ამიტომ აქტიური ვეგეტაციის პერიოდში (ივნისი-აგვისტო) აუცილებელია ნიადაგის მორწყვა. აქ შეიძლება მარცვლეულის, ბოსტნეულის და ვაზის წარმოება; II ზონა – 400-600 მ სიმაღლეზე, სადაც აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 3000°C -ზე მეტია, თბილი პერიოდის ნალექები კი 450-550 მმ. აქ შეიძლება მარცვლეულის, ვაზის, ხეხილის, ეთერზეთოვანი კულტურების წარმოება; III ზონა – 600-900 მ სიმაღლეზე, სადაც აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 2000°C -ზე მეტია, ხოლო თბილი პერიოდის ნალექების ჯამი 550-650 მმ. აქ ხელსაყრელი პირობებია მარცვლეულის, მევენახეობის, მებოსტნეობის, მეცხოველეობის საკვების, ძირხვენებისა და სათიბ-საძოვრების განვითარებისათვის; IV ზონა – 600-1000 მ სიმაღლეზე აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 1000°C , თბილი პერიოდის ნალექები 600-700 მმ, სადაც შეიძლება მეხილეობის, მებოსტნეობის, მარცვლეულისა და სათიბ-საძოვრების წარმოება; V ზონა – 700-2000 მ სიმაღლეზე აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი 1000°C -ზე ნაკლებია, თბილი პერიოდის ნალექები კი 700-800 მმ, სადაც უკვე შეუძლებელია ბოსტნეულისა და საძოვრების განვითარება [1].

კახეთის ნაყოფიერ მიწებზე მცენარეთა მოსავლიანობის განმაპირობებელი ფაქტორების სპეციფიკა მდგომარეობს იმაში, რომ აქ გადამწყვეტ მნიშვნელობას იძენს არამარტო ნალექების საერთო რაოდენობა, არამედ მათი შიდაწლიური განაწილება. აქ ვეგეტაციის პერიოდში მცენარეთა წყალმოთხოვნილების ფაზებს არ ემთხვევა ნალექების მოსვლის ინტერვალები. მდ. ალაზნის აუზში არსებული აგრომეტეოროლოგიური სადგურების ატმოსფერული ნალექების შესახებ მრავალწლიური მონაცემების სათანადო კომპიუტერული დამუშავების შედეგად [2] ნაშრომში მიღებულ იქნა საშუალო მრავალწლიური ნალექების რიცხვითი მნიშვნელობების განაწილება 50, 75 და 95 %-იანი უზრუნველყოფის გრადაციებით თვეების მიხედვით და აგრეთვე წლიური, თბილი და ცივი პერიოდებისათვის. მიღებული შედეგები მოცემულია I ცხრილში, საიდანაც ირკვევა, რომ ყველაზე მეტი ნალექებით გამოირჩევა ლაგოდეხი, ყველაზე მცირე ნალექები კი აღინიშნება შირაქში. თბილი (IV - X) პერიოდის ნალექები ყველგან ორჯერ მეტია ცივი (XI - III) პერიოდის ნალექებზე, მაგრამ მეტად მნიშვნელოვანია ის ფაქტი, რომ თბილი პერიოდის ნალექებიდან ყველაზე მცირე ნაწილი მოდის მცენარეთა აქტიური ვეგეტაციის (ივნისი-აგვისტო) პერიოდში, როდესაც მცენარეთა წყალმოთხოვნილება უმაღლესია.

კლიმატის თანამედროვე გლობალური ცვლილების ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოში ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების ცვლილების შეფასებისათვის [3] ნაშრომში გამოყენებულ იქნა მათი თვიური მნიშვნელობების მრავალწლიური მონაცემების დინამიკა. მიღებული ტრენდების მიხედვით XX საუკუნის დასაწყისიდან 20-იანი წლების ბო-

ლომდე ექსტრემალურად თბილი თვეების განმეორებადობა მატულობდა, რომელიც 60-იანი წლების ბოლოს კლებამ შეცვალა, ხოლო 70-იანი წლებიდან ის მატულობს, რაც დღესაც გრძელდება. აქ ექსტრემალურად თბილ თვედ ითვლება ის თვე, როდესაც ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურის ანომალია, ანუ საშუალო მრავალწლიური ნორმიდან გადახრა 0,9 – 1,9 °C-ს შორის იცვლება. რაც შეეხება ნალექებს, ექსტრემალურად თბილი თვეების დროს ნალექების დიდ შემცირებას ადგილი აქვს ივლისში (35 %), აგვისტოში (27 %) და მაისში (21 %). მინიმალური შემცირება კი მარტში და დეკემბერში 5 %-ს შეადგენს, ხოლო წლიური ნალექების ჯამი მცირდება 20 %-ით. წლის სეზონების მიხედვით ექსტრემალურად თბილ თვეებში ნალექების მაქსიმალური შემცირება მის მრავალწლიურ ნორმასთან შედარებით არის ზაფხულში (26 %), შემდეგ ზამთარში (22 %), ნაკლები შემცირებაა გაზაფხულზე (17 %) და შემოდგომაზე (15 %), რაც აიხსნება ამ სეზონებში ცირკულაციური პროცესების თავისებურებით. აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ ექსტრემალურად თბილი თვეების დროს ნალექები მცირდება მაღალმთიან სარტყელში 10-20%-ით, საშუალო მთიან სარტყელში 20-25 %-ით, ხოლო დაბლობში და მთისწინებში 30 %-ზე მეტად [3].

ცხრილი 1. მდ. ალაზნის აუზში აგრომეტეოროლოგიურ სადგურებზე ატმოსფერული ნალექების (მმ) განაწილება 50, 75 და 95%-იანი უზრუნველყოფით

%	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I – XII	IV – X	XI – III
გურჯაანი															
50	27	37	61	85	103	96	54	45	56	63	47	30	789	561	229
75	16	21	41	54	78	54	33	24	29	40	32	15	690	479	167
95	4	2	21	17	44	33	6	5	13	13	6	53	550	380	107
თელავი															
50	28	31	49	76	121	124	60	60	51	59	45	26	804	587	204
75	13	20	31	52	91	83	36	38	34	31	28	12	693	501	151
95	2	6	11	20	51	44	15	3	9	7	4	4	599	422	103
ლაგოდეხი															
50	37	41	78	99	115	112	79	76	90	99	61	41	1150	735	268
75	21	26	56	69	96	71	44	40	49	64	44	19	870	588	237
95	10	11	29	15	46	45	6	8	20	23	16	5	707	478	168
ყვარელი															
50	38	37	73	90	129	120	71	70	90	76	54	38	978	699	279
75	15	27	47	57	94	79	42	35	52	56	44	20	853	555	210
95	10	8	19	5	55	47	12	12	26	22	13	5	708	466	144
შირაქი															
50	16	23	41	60	67	72	42	22	35	52	31	22	544	389	151
75	9	14	22	23	48	48	18	12	18	13	17	49	451	331	94
95	0	3	6	0	21	24	2	2	6	12	1	6	0	234	0

ჩვენ მიერ ჩატარებულ იქნა კვლევა მრავალწლიურ დაკვირვებათა რიგებისა მდ. ალაზნის აუზის მარცხენა და მარჯვენა მხარეზე მდებარე ლაგოდეხისა და თელავის მეტეოსადგურებზე ნალექების წლიური ჯამებსა და ჰაერის საშუალო წლიურ ტემპერატურებზე XX საუკუნის 30-იანი წლებიდან 2010 წლამდე [4]. მათი ყოველწლიური დინამიკის ამსახველი ტრენდის აპროქსიმაცია შესრულდა წრფივი რეგრესიის განტოლებით:

$$T = a n + b, \quad (1)$$

სადაც T – ტრენდია, ანუ საკვლევი ელემენტის ცვლილების ტენდენციის გასაშუალებელი წრფეა, a – განტოლების კოეფიციენტი, რომელიც განსაზღვრავს საკვლევი

ელემენტის ყოველწლიური ცვლილების მნიშვნელობას, n – ამ ელემენტის დაკვირვებათა მონაცემების რიგითი ნომერია, მათ დაკვირვებათა რიგში საწყისი $n=1$ წლიდან, ყოველი შემდეგი (i) წლისათვის $n=i+1$, a – მუდმივაა, რომელიც განსაზღვრავს საკვლევი ელემენტის მინიმალურ მნიშვნელობას მისი მატების ტენდენციის შემთხვევაში ან მის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მისი შემცირების ტენდენციის დროს.

როგორც მე-2 ცხრილის მონაცემები გვიჩვენებს მდ. ალაზნის აუზის მარცხენა მხარეს აღინიშნება ნალექების ყოველწლიური შემცირების უფრო მაღალი ინტენსიურობა, ვიდრე მარჯვენა მხარეს: ლაგოდების მონაცემებით წლიური ნალექების ჯამი ყოველწლიურად მცირდება -2,32 მმ-ით, ხოლო თელავში შემცირების სიჩქარე განახევრებულია და იგი -1,18 მმ-ს შეადგენს. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურის ყოველწლიური მატება ლაგოდებში 0,007 °C-ს, თელავში კი 0,005 °C-ს შეადგენს.

ცხრილი 2. ატმოსფერული ნალექებისა და ტემპერატურების ყოველწლიური ცვლილების ტრენდების პარამეტრები (a და b) და დისპერსია (r^2)

მეტეოსადგური	სიმაღლე მ	ატმოსფერული ნალექები			ჰაერის ტემპერატურა		
		a	b	r^2	a	b	r^2
თელავი	568	- 1,182	831	0,036	0,005	12,1	0,022
ლაგოდები	362	- 2,318	1086	0,059	0,007	12,6	0,052

აქ მდგომარეობას ამდაფრებს ის ფაქტი, რომ ამ ტერიტორიაზე ყოველწლიურად 2 – 3 თვის განმავლობაში, ძირითადად ზაფხულში აღირიცხება გვალვები, რომლის დროს დაბლა იწევს გრუნტის წყლების დონე, მცირდება მდინარეთა წყლიანობა და სარწყავი წყლის შემცირების გამო მცირდება ან სრულად ნადგურდება მცენარეთა მოსავლიანობა.

მდ. ალაზანზე მიმაგრებული სარწყავი ფართობიდან ყველაზე დიდი ფართობი 74 ათასი ჰა მოდის ვენახებზე, რაც მთელი სარწყავი ფართობის 28 %-ს შეადგენს. დიდია აგრეთვე საშემოდგომო ხორბლის ხვედრითი წილი, რაც მთელი სარწყავი ფართობის 17 %-ია და 45 ათას ჰა-ს შეადგენს. აქ მნიშვნელოვანი ფართობები უკავია ზამთრის სარწყავ საძოვრებს 50 ათას ჰა-ზე, რაც მთელი სარწყავი ფართობის 19 %-ს შეადგენს [2]. აღსანიშნავია, რომ 1986 წელს მდ. ალაზნის აუზში ადრე არსებული ძველი ანაგის საექსპედიციო მასალების გამოყენებით შემუშავებულ იქნა რწყვის რეჟიმის შემუშავების მეთოდიკა, სადაც გარკვეული ფორმულებით ნიადაგის წყალშემცველობაზე დაკვირვებათა მონაცემებით განისაზღვრება მორწყვის ვადები [5].

მდ. ალაზნის ირიგაციული წყალზრუნველყოფის შეფასებისათვის ჩვენ მიერ გამოყენებულ იქნა [6] და [7] ნაშრომებში მიღებული კრიტერიუმი: მდინარეზე დაქვემდებარებული მიწის ფართობის სარწყავად საჭირო წყლის რაოდენობისა და ვეგეტაციის პერიოდში მდინარეული ჩამონადენის ურთიერთშედარება. ასეთი შედარების შედეგები მოცემულია მე-3 ცხრილში, სადაც 50, 75 და 95 %-იანი უზრუნველყოფაში ნაგულისხმებია ის შემთხვევები, როდესაც მდინარის წყლიანობითა და მოსული ნალექებით სარწყავი ფართობები დატენიანებულია გარკვეულ %-იანი უზრუნველყოფით.

მე-3 ცხრილის მონაცემების ანალიზით მდ. ალაზნის აუზში მდინარის წყლისა და ნალექების 50 %-იან უზრუნველყოფის დროს, სარწყავი წყლის დეფიციტი შეადგენს 115,7 მლნ მ³-ს, რომლის უდიდესი ნაწილი 80,2 მლნ მ³ აგვისტოშია. 75 %-იანი უზრუნველყოფის დროს წყლის დეფიციტი მთლიანად 395,6 მლნ მ³-ია, რომლის 87 % - 346 მლნ მ³ მოდის სწორედ მცენარეთა აქტიური რწყვის პერიოდში – ივნისში, ივლისსა და აგვისტოში. 95 %-იანი უზრუნველყოფის დროს წყლის დეფიციტი ყველაზე მეტია და ის 729,4 მლნ მ³-ს აღწევს, რომლის 91 % - 662 მლნ მ³ მაისიდან აგვისტოს ბოლომდე აღინიშნება.

მე-3 ცხრილის ანალიზით ირკვევა, რომ სავეგეტაციო პერიოდში სარწყავი წყლის ასეთ დეფიციტთან ერთად, მდ. ალაზნის შემოდგომა-ზამთრისა და გაზაფხულის წყალდიდობის პერიოდის ჩამონადენი გამოყენებელი რჩება, რადგან ირიგაციული წყალმოთხოვნილება ამ დროს მინიმალურია. წყლის ეს დარჩენილი მოცულობები საკმაოდ დიდია: 50 %-იანი უზრუნველყოფის დროს გამოყენებელი რჩება 1188 მლნ მ³ წყალი, 75 %-იანი უზრუნველყოფის დროს 740 მლნ მ³ და 95 %-იანი უზრუნველყოფის დროს გამოყენებული წყალი 504 მლნ მ³-ს შეადგენს.

ცხრილი 3. მდ. ალაზნის ირიგაციული შესაძლებლობა მის წყალშემკრებ აუზში სასოფლო-სამეურნეო საგარეულების სარწყავი წყლითა და ნალექებით 50, 75 და 95%-იანი უზრუნველყოფის დროს

უზრუნველყოფა %	წლიური ჩამონადენი მლნ მ ³	მოლიანი წყალმოთხოვნა, მლნ მ ³	ფაქტიური წყალმოსხმარება, მლნ მ ³	წყლის დეფიციტი მლნ მ ³	დარჩენილი ჩამონადენი, მლნ მ ³
50	1804	731,5	615,8	115,7	1188,2
75	1535	1189,3	793,7	395,6	740,3
95	1209	1434,8	705,3	729,4	503,8

ამრიგად წყლის მეოთხე (X-XII) და პირველი (I-III) კვარტლის პერიოდში, როდესაც მდინარის წყლის წყალმოსხმარება მინიმალურია, გამოუყენებელი წყლის მარაგი საკმაოდ დიდია. სწორედ ამ წყლის მარაგის დაგროვება მცირე ზომის წყალსატევებში შესაძლებელს გახდის სავეგეტაციო პერიოდში სარწყავი წყლის დეფიციტის თავიდან აცილებას. დღეისათვის აქ არსებული წყალსაცავების საერთო სასარგებლო ტევადობა მხოლოდ 6,6 მლნ მ³-ს შეადგენს, რაც ძალიან ცოტაა იქ არსებული წყლის დეფიციტთან შედარებით, რომლის მაქსიმუმი ცხრ. 3-ის მიხედვით 729,4 მლნ მ³-ის ტოლია.

დასკვნის სახით შეიძლება აღინიშნოს, რომ კლიმატის მოსალოდნელი დათბობისა და გვალვების ნეგატიური შედეგების შერბილებისათვის საჭიროა მდ. ალაზნის ირიგაციული წყალმოთხოვნილების უზრუნველყოფა. ამისათვის კი აუცილებელია მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის ოპტიმალური რეჟიმით გამოყენება დანაკარგების გარეშე, რისთვისაც უნდა ჩატარდეს გარკვეული ღონისძიებები დაწვებული მიწის არხების მოპირკეთებიდან მცირე ზომის წყალსატევების შექმნამდე.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. გ. მელაძე, მ. მელაძე. საქართველოს რეგიონების აგროკლიმატური რესურსები. თბ., უნივერსალი, 2010, 294 გვ.
2. გ. ჩიკვაძე. საქართველოს გვალვიანი რაიონების მდინარეთა შესაძლო ირიგაციული წყალუზრუნველყოფის შეფასება. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბ., 2001, 51 გვ.
3. მ. ტატიშვილი, რ. მესხია. ჰაერის ტემპერატურისა და ატმოსფერული ნალექების შეფასება აღმოსავლეთ საქართველოში კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე. საერთაშორისო კონფერენცია “გარემოს დაცვა და მდგრადი განვითარება” შრომები, თბ., 2010, გვ. 422 – 424.
4. ც. ბასილაშვილი, ი. ზარნაძე. მდ. ალაზნის წყალწარმომქმნელი ფაქტორების ცვლილებები და მოსალოდნელი მნიშვნელობები გლობალური დათბობის პირობებში. // mecnierba da teqnologiebi, # 3 (726), Tბ., 2017, გვ. 33 – 47.
5. О.Г. Швелидзе. Методика расчёта режима орошения (на примере Алазанской долины). // Труды ЗаКНИГМИ, вып. 85 (92), Москва, Гидрометеиздат, 1986, с. 95 – 102.
6. В.И. Колесников, Г.Д. Чикваидзе. Иригационные возможности незарегулированных рек Восточной Грузии. // Тр. ЗаКНИГМИ, вып. 52 (58), Ленинград, Гидрометеиздат, 1976, с. 85-93.
7. გ. სვანიძე, გ. ჩიკვაძე. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში სარწყავი წყლის დეფიციტის საკითხისათვის, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტომი 106, თბ., 2001, გვ. 31 – 39.

ირიგაციული წყალმოთხოვნილება და წყალუზრუნველყოფა შიგნი კახეთის ტერიტორიაზე.
 /ბასილაშვილი ც./სტუ-ის კმ-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.9-13 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენისა და სარწყავად საჭირო წყლის რაოდენობის ურთიერთშედარებით განსაზღვრულია სარწყავი წყლის დეფიციტისა და მდინარეში დარჩენილი წყლის მოცულობები. მდინარის მეოთხე და პირველი კვარტლის გამოუყენებელი წყლის მარაგი საკმაოდ დიდია, რომლის აკუმულირება საირიგაციო წყალსატევებში მნიშვნელოვნად შეამცირებს სარწყავი წყლის დეფიციტს.

Irrigation Water Consumption and Water Saffety in the Territory of Inlanl Kakheti./Basilashvili Ts./Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.9-13. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

On the basis of a comparison of the flow of the river Alazani and the amount of irrigation water, the amount of deficit of irrigation and the remaining water was determined. Unused water resources of the river for the fourth and first quarters are quite large, the accumulation of which in irrigation reservoirs will significantly reduce the deficit of irrigation water.

Ирригационная водопотребность и водообеспеченность на территории внутренней Кахетии. /Басилашвили Ц.З./Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.9-13. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На основе сопоставления стока воды р. Алазани и количество воды для орошения, определены объёмы дефицита поливной и оставшейся в реке воды. Неиспользованные ресурсы воды реки за четвёртый и первые кварталы достаточно большие, аккумуляирование которых в ирригационных водоёмах значительно уменьшит дефицит поливной воды.

უაკ 551.51+551.521+551.57

წყლის ფაზური გადასვლების ბათვალისწინება მეზომეტეოროლოგიის ზოგიერთ რიცხვით მოდელებში

ბ. გელაძე, ნ. ბეგალიშვილი, ნ.ნ. ბეგალიშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

წყლის ფაზური გადასვლები და, განსაკუთრებით, კონდენსაციის ფარული სითბო თამაშობს ერთ-ერთ მნიშვნელოვან, გადამწყვეტ როლს მეზომეტეოროლოგიის მრავალი პროცესის ფორმირებაში [1,2]. ასეთებია: ყველა სახის ღრუბელი და ნისლი, ამათი ანსამბლი, ტროპიკული ციკლონი, ტორნადო, ფიონი და ა. შ. ამასთან, ისიც უნდა ვთქვათ, რომ კონდენსაცია და კონდენსაციის ფარული სითბო არა მარტო ამ ნოტიო პროცესებს “აყალიბებს”, არამედ ის აქტიურ გავლენას ახდენს მათ დინამიკასა და თერმიკაზე.

ფიზიკიდან ცნობილია, რომ სითხის აორთქლებისათვის საჭიროა მას გარედან მივაწოდოთ სითბო; უკუპროცესის დროს, ე. ი. ორთქლის კონდენსაციისას, ენერჯის შენახვის კანონის თანახმად, ზუსტად იმდენივე სითბო გამოიყოფა რამდენი აორთქლებისას. აი, ესაა კონდენსაციის ფარული სითბო $L=2260 \cdot 10^3$ ჯ/კგ.

ზუსტად ასეთივე მდგომარეობაა წყლის გაყინვა-დნობის შემთხვევაშიც. ყინულის დნობის კუთრი სითბო $\lambda=334 \cdot 10^3$ ჯ/კგ. ცნობისათვისა და ამ კონსტანტებთან შედარებისათვის მოვიყვანოთ წყლის კუთრი სითბოტევადობა $c=4.2 \cdot 10^3$ ჯ/კგ*გრად.

განვიხილოთ კონდენსაციის ფარული სითბოს გამოყოფის როლი ზემოთმოყვანილი ნოტიო პროცესების ფორმირებაში.

ღრუბლები წარმოიქმნებიან ჰაერის კონვექციის შედეგად. დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირის გათბობისას სითბოგამტარებლობის შედეგად გამთბარი ჰაერი ჰქმნის აღმაგაღ დენს (კონვექცია). აღმასვლისას ის ფართოვდება, შესაბამისად, ცივდება. როდესაც ის მიაღწევს კონდენსაციის დონეს, ადგილი აქვს ნოტიო ჰაერის კონდენსაციას, ე. ი. ვიღებთ ღრუბელს.

ამ დროს გამოიყოფა კონდენსაციის ფარული სითბო, რაც თავისთავად აძლიერებს ჰაერის კონვექციას (დინამიკა უფრო ინტენსიური ხდება). ე. ი. დედამიწის ქვეფენილის მიერ მიღებული სითბო გადაედინება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის ზედა ფენებში – სითბო ტრანსფორმირდება სივრცეში.

შევნიშნოთ, რომ რეალობაში კონდენსაცია არ იწყება 100% -იანი ფარდობითი ტენიანობისას – აქ ადგილი აქვს წყლის ორთქლის გადაციებას, მაგრამ რიცხვითი მოდელების უმრავლესობაში მიღებულია დაშვება, რომ ჰაერის კონდენსაცია ხდება მომენტალურად მისი გაჯერებისას.

ეს პროცესი ნისლში ცოტა სხვანაირად მიმდინარეობს: იქ ნოტიო ჰაერის კონდენსაცია (შესაბამისად, აქ ადგილი აქვს კონდენსაციის ფარული სითბოს გამოყოფას) კონვექციის გამო კი არა ხდება, არამედ ამის ძირითადი მიზეზი არის დედამიწის, ან წყლის ქვეფენილი ზედაპირის გაციება (მაგ., ტემპერატურის დღე-ღამური სვლისას), ან თბილი ჰაერის ადვექციისას ცივ ზედაპირზე. აქაცა აქვს ადგილი ენერჯის შენახვის კანონს – დღისით მიღებული მზის ენერჯია გამოიყოფა ღამე. ე. ი. ნისლის შემთხვევაში, ღრუბლებისაგან განსხვავებით, კონდენსაციის ფარული სითბო ტრანსფორმირდება დროში.

საწყის განტოლებათა სისტემას, რომელიც აღწერს ატმოსფეროს მეზოსასაზღვრო ფენაში (ამსფ) მიმდინარე პროცესებს (თერმოჰიდროდინამიკა პლიუს ნოტიო პროცესები) (x - z) ვერტიკალურ სიბრტყეში აქვს ასეთი სახე [1,2,3]:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{\partial \pi}{\partial x} + \Delta' u, \quad (1)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial z} = \lambda g, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{d\theta}{dt} + Sw = \frac{L}{c_p} \Phi + \Delta' \theta, \quad (4)$$

$$\frac{dq}{dt} + \gamma_q w = -\Phi + \Delta'q, \quad (5)$$

$$\frac{dv}{dt} = \Phi + \Delta'v, \quad (6)$$

$$\frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + w \frac{\partial}{\partial z}, \quad \Delta' = \mu \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

სადაც u, w არიან ქარის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური მდგენელები, შესაბამისად, π, θ, q – წნევის ანალოგის, პოტენციური ტემპერატურისა და ხვედრითი სინოტივის ნაზრდები, შესაბამისად, v - ხვედრითი წყლიანობა, λ, S - ატმოსფეროს ფლოტაციისა და სტრატოფიკაციის პარამეტრები, შესაბამისად, γ_q - ფონური ხვედრითი სინოტივის ვერტიკალური გრადიენტი, Φ - წყლის ორთქლის კონდენსაციის სიჩქარე, L - კონდენსაციის ფარული სითბო, c_p - მშრალი ჰაერის კუთრი სითბოტევადობა მუდმივი წნევის დროს, μ, ν - ტურბულენტობის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური კოეფიციენტები, შესაბამისად.

სასაზღვრო და საწყისი პირობები

ჩამოვყალიბოთ საწყისი და სასაზღვრო პირობები (1)-(6) სისტემისათვის ზოგადი სახით.

ამსფ-ის ქვედა საზღვარზე u და w - სათვის ვაძლევეთ ე. წ. “მიწებების”, q, v - თვის მიღების პირობებს

$$\text{თუ } z=0 \quad u=0, \quad w=0, \quad \theta=F(x, t), \quad q=0, \quad v=0, \quad (7)$$

სადაც (x, t) არის **ამსფ**-ის ქვეფენილის ტემპერატურა, რომელსაც ვიღებთ მეტეოექპერიმენტებიდან [18]:

$$F(x, t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq x \leq 32km, \quad 48km < x \leq 80km, \\ 5 \sin \omega t & 32km \leq x \leq 48km, \end{cases} \quad (8)$$

აქ ω არის დედამიწის დღე-ღამური ბრუნვის კუთხური სიჩქარე. ე. ი. **ამსფ**-ის ამოცანას ვიხილავთ ქვეფენილის მხოლოდ ტემპერატურული არაერთგვაროვნების, კერძოდ, სითბური “კუნძულის“ დღეღამური სვლის კანონით გათბობის პირობებში.

ამსფ-ის ზედა საზღვარზე ვაძლევეთ u, π და θ - ის მიღებისა და q და v - ის უწყვეტობის პირობებს:

$$\text{თუ } z=Z \quad u=0, \quad \pi=0, \quad \theta=0, \quad \frac{\partial q}{\partial z}=0, \quad \frac{\partial v}{\partial z}=0, \quad (9)$$

გამომდინარე ფიზიკური მოსაზრებებიდან და რიცხვითი რეალიზაციის მოხერხებულობიდან **ამსფ**-ის გვერდით საზღვრებზე ვაძლევეთ ასეთ პირობებს:

$$\text{თუ } x=0, X \quad \frac{\partial u}{\partial x}=0, \quad \frac{\partial \theta}{\partial x}=0, \quad \frac{\partial q}{\partial x}=0, \quad \frac{\partial v}{\partial x}=0, \quad (10)$$

სადაც X, Z არიან **ამსფ**-ის ჰორიზონტალური და ვერტიკალური საზღვრები.

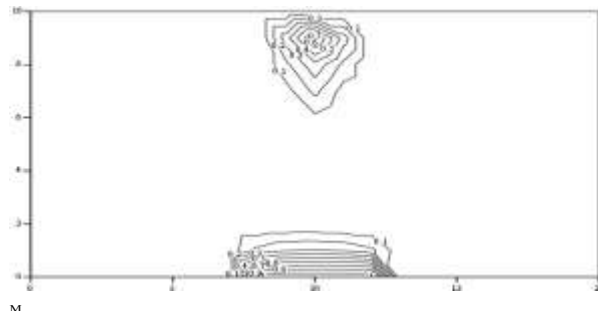
(1) – (6) სისტემისათვის საწყისად ვიღებთ შემდეგ პირობებს:

$$\text{თუ } t=0 \quad u=0, \quad \theta=0, \quad q=0, \quad v=0, \quad (11)$$

მოცემული ამოცანის მთავარ, “მამოძრავებელ” ძალას წარმოადგენს $f(x, t)$, რომელიც იწვევს განსახილველ ლოკალურ ცირკულაციას [1, 4].

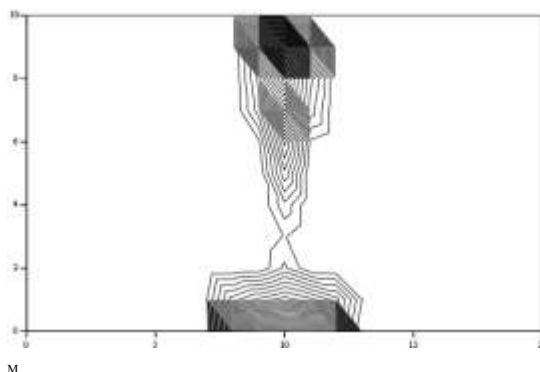
ამოცანა არსებითად არაწრფივია, ფიზიკურად კომპლექსურია და, ბუნებრივია, იხსნება რიცხვითი მეთოდებით: ცხად სასრულ-სხვაობიანი სქემას აქვს I რიგის სიზუსტე დროის მიხედვით და II ხარისხის სიზუსტე კოორდინატის მიხედვით.

რიცხვით მოდელებში კონდენსაციის ფარული სითბოს გათვალისწინებას თავისი ისტორია აქვს. პირველი ასეთი მოდელები გაჩნდა გასული საუკუნის ჯერ კიდევ 50-იან წლებში. ნოტიო ველების პროგნოზის ამოცანების ამოხსნისას საქმე გვაქვს რიგ სიძნელებთან, კერძოდ, წყლის ორთქლის კონდენსაციის დონისა და კონდენსაციის სიჩქარის ფუნქციის, Φ , განსაზღვრა, რომელიც შედის (4) – (6). ეს იმითაა გამოწვეული, რომ ამ განტოლებების პირდაპირი ამოხსნისას (Φ -ის მოცემა ცხადი სახით საკმაოდ მნიშვნელოვანი ცდომილებით შესაძლებელია), მაგრამ ნაჯერი ორთქლის საზღვარზე (დრუბელი) Φ ფუნქცია განიცდის



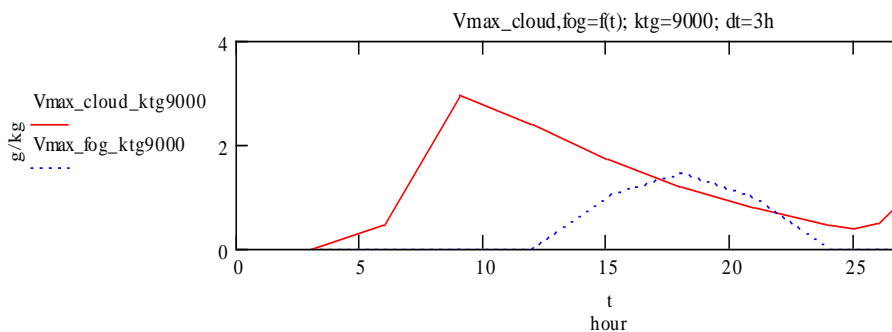
ნახ. № 3. ღრუბლისა და ნისლის წყლიანობის v (გ/კგ) იზონაზები ($t = 15$ სთ).

ნახ. № 4 შერჩეულ იქნა ამსფ-ის ისეთი ტემპერატურული რეჟიმი, რომლის დროსაც “ერთიანდება” ნისლი და ღრუბელი. იქმნება ტორნადოს მსგავსი “ხორთუმი”.



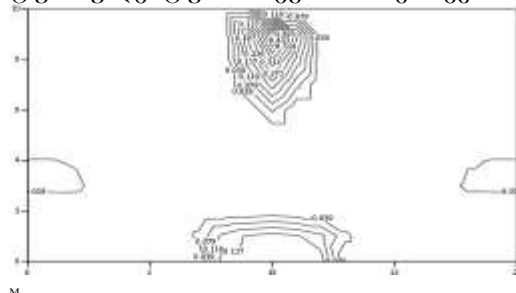
ნახ. № 4. ღრუბლისა და ნისლის გაერთიანებული კომპლექსის წყლიანობის v (გ/კგ) იზონაზები ($t = 15$ სთ).

ნახ. № 5 მოყვანილია „ღროში გადაბმული“ ღრუბელ-ნისლი.



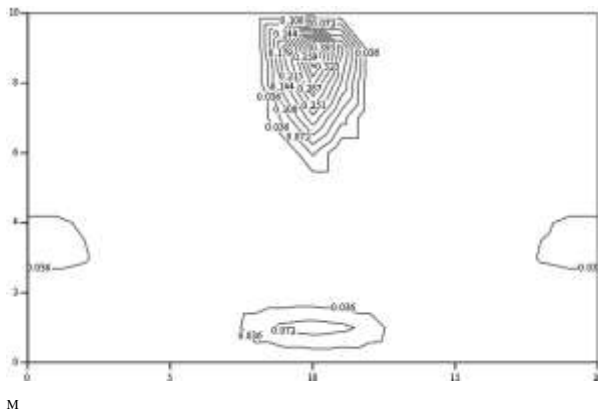
ნახ. № 5. ღრუბლისა და ნისლის მაქსიმალური წყლიანობის v (გ/კგ) დამოკიდებულება დროისაგან „უწყვეტი“ ღრუბლიანობის შემთხვევაში.

ნახ. № 6 მოყვანილია 4 ნოტიო სტრუქტურა (3 ფენა ღრუბელი და 1 ნისლი), რომელიც ჩამოყალიბდა გარკვეული ტურბულენტური რეჟიმის შერჩევის შედეგად.



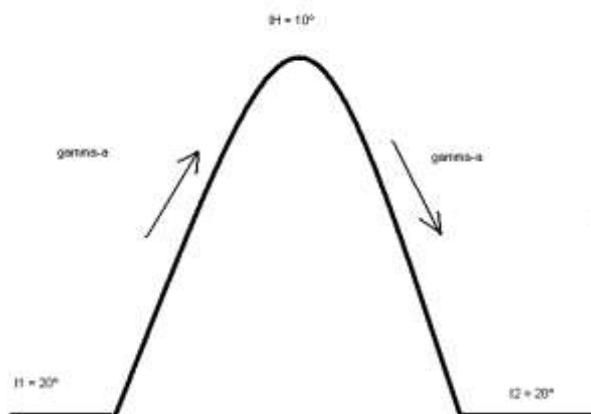
ნახ. № 6 . ღრუბლებისა და ნისლის ანსამბლი (v გ/კგ, $t = 23,2$ სთ).

ნახ. № 7 მიღებულია 4 ფენა ღრუბელი: დედამიწის ქვეფენილის გათბობის შედეგად მოხდა წინა ნახაზზე მოყვანილი ნისლის აწევა და ფენა ღრუბლად ტრანსფორმირება.

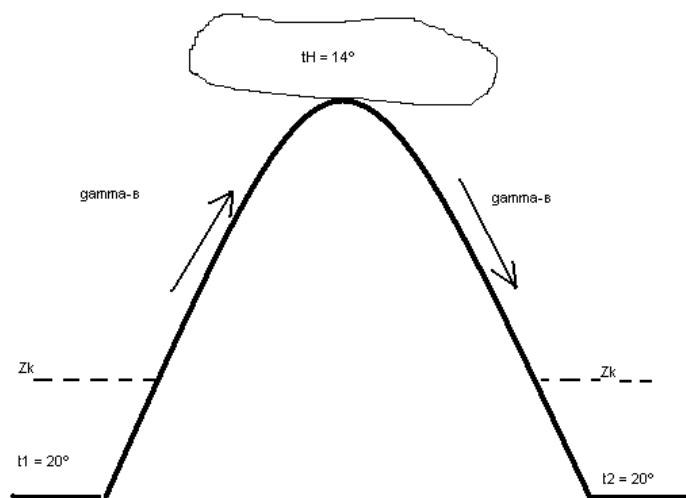


ნახ. № 7. ღრუბლების ანსამბლი (v გ/კგ, $t = 23,6$ სთ).

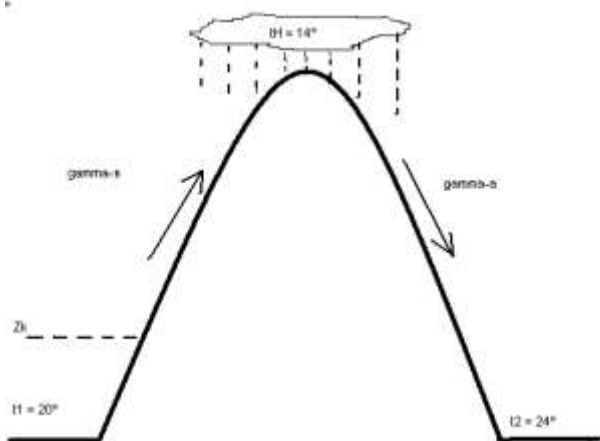
ფიონი არის ლოკალური ქარი, რომელშიც ნოტიო პროცესებს არსებითი მნიშვნელობა აქვთ. მისი გენეზისის გათვალისწინების შედეგად მოვახდინეთ ამ პროცესის ახლებური კლასიფიკაცია: ა) მშრალ-ადიაბატური ფიონი, ბ) ნოტიო-ადიაბატური ფიონი და გ) ნოტიო-მშრალ-ადიაბატური ფიონი (ნახ. 8 - 10).



ნახ. № 8. მშრალ-ადიაბატური ფიონი



ნახ. № 9. ნოტიო-ადიაბატური ფიონი



ნახ. № 10. ნოტიო-მშრალ-ადიაბატური ფიონი

ფიონის არსებობისათვის აუცილებელ პირობას წარმოადგენს ჰაერის მთაზე გადაღინება, მაგრამ ფიონის ეფექტის დაჭერა შესაძლებელია ჩვენი, 2-განზომილებიანი ბრტყელი ამოცანის პირობებშიც კი: ლოკალური ცირკულაციის შედეგად სითბური კუნძულის თავზე გვაქვს აღმავალი, პერიფერიაში კი დაღმავალი დენები. აქაც, როგორც კლასიკური ფიონის შემთხვევაში, აღმასვლისას დაიმზირება ჰაერის გაციება, დაღმასვლისას კი გათბობა. ეს ისე მკვეთრად არაა გამოხატული, როგორც მთის შემთხვევაში იმიტომ, რომ ჩვენს ამოცანაში ტემპერატურის გრადიენტის მოსაპობა, “წაშლა” ხდება ტურბულენტობის შედეგად (ამ შემთხვევაში წინააღმდეგობა, სითბოზოლაცია მთის სახით არ არსებობს). აქ დაიმზირება როგორც მშრალ-ადიაბატური, ასევე ნოტიო-ადიაბატური ფიონი.

რაც შეეხება ნოტიო-მშრალ-ადიაბატური ფიონს, მისი მოდელირება ხდება ასე: დროის იმ მომენტში, როდესაც ღრუბელს აქვს მაქსიმალური წყლიანობა, მათემატიკურად ვანულებთ წყლიანობას, რაც ნიშნავს ღრუბლის წყლისაგან დაცლას, “წვიმის” იმიტაციას. მის შედეგად ნოტიო ადიაბატაზე ასული ჰაერი ჩამოდის მშრალი ადიაბატით.

პირველი რიცხვითი ექსპერიმენტები გვაძლევენ დაღმავალ ჰაერში ტემპერატურის ზრდას საკონტროლო ექსპერიმენტთან შედარებით (როცა ჰაერი ჩამოდის ნოტიო ადიაბატით). რიცხვითი ექსპერიმენტები გრძელდება ამოცანის შემდგომი დახვეწის მიზნით.

ლიტერატურა – REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967.
2. Гутман Л.Н. Введение в нелинейную теорию мезометеорологических процессов – Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
3. Геладзе Г.Ш. К численной модели мезомасштабного пограничного слоя атмосферы. – Сообщения АН ГССР, т. 77, №1, 1975.
4. Воронцов П.А. Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. - Л.: Гидрометеоиздат, 1960.
5. Матвеев Л.Т. Некоторые вопросы теории образования и эволюции слоистообразной облачности. – Тр. ААНИИ, т. 228, вып. 1, 1959.
6. Ogura Y. The evolution of a moist convective element in a shallow, conditionally unstable atmosphere : a numerical calculation. – J. Atmos. Sci., v. 20, N5, 1963.
7. Амиров А.Д. Метод расчёта полей влажности и температуры в задаче о кучевом облаке. – Изв. АН СССР. Физ. атмосферу и океана, т. 7, №7, 1971.
8. Амиров А.Д. , Геладзе Г.Ш., Перов В.Л. Учёт фазовых переходов влаги в некоторых задачах мезометеорологии. – Тр. Зап.-Сиб регион. н.-и. гидрометеорол. ин-та, вып. 14, 1975.
9. გელაძე გ. შ., ბეგალიშვილი ნ., დავითაშვილი თ. ატმოსფეროს მეზოპროცესებში სითბური ტალღის გავრცელების შესახებ. ჰიდრომეტინსტიტუტის 57-ე სამეცნიერო სესია, 2010. 20-21 მაისი.
10. გელაძე გ. შ. , ბეგალიშვილი ნ., დავითაშვილი თ. ზოგიერთი ანომალური მეზოპროცესის მოდელირება. ჰიდრომეტინსტიტუტის 57-ე სამეცნიერო სესია, 2010 წლის 20-21 მაისი.

11. გელაძე გ. შ. სითბური ტალღის გავრცელება ატმოსფეროს მეზოსასაზღვრო ფენაში. თსუ გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის გაფართოებული სემინარი, 2010. 18 – 21 აპრილი.
12. გელაძე გ. შ. ატმოსფეროს მეზომასშტაბური სასაზღვრო ფენის ზოგიერთი ანომალიური პროცესის რიცხვითი მოდელირება. თსუ გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის გაფართოებული სემინარი, 2010. 18 – 21 აპრილი.

წყლის ფაზური გადასვლების გათვალისწინება მეზომეტეოროლოგიის ზოგიერთ რიცხვით მოდელში /გ. გელაძე, ნ. ბეგალიშვილი, ნ. ბეგალიშვილი/სტუ-ის კმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.14-20 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

განხილულია წყლის ფაზური გარდაქმნების გათვალისწინების მეთოდები ატმოსფეროს მეზომასშტაბური სასაზღვრო ფენის ზოგიერთ რიცხვით მოდელში. ჩვენი მოდელის საშუალებით იმიტირებულია რიგი ისეთი ნოტიო პროცესებისა, როგორცაა ნისლი, ღრუბელი, ნისლისა და ღრუბელთა ანსამბლი. მოცემულია ფიონების ახალი კლასიფიკაცია და მათი მოდელირების შესაძლებლობა ბრტყელი ამოცანის შემთხვევაში.

Account of phase transformations of water in some numerical models of mesometeorology / G. Geladze, N. Begalishvili, N. Begalishvili /Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.14-20. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

Methods of accounting for water phase transformations in some numerical models of the mesoscale atmospheric boundary layer are considered. With the help of our model, a number of humidity processes such as fog, cloud, fog and cloud ensemble were simulated. A new classification of foehns is carried out; the possibility of their modeling in the case of a plane problem is given.

Учёт фазовых превращений воды в некоторых численных моделях мезометеорологии / Г. Геладзе, Н. Бегалишвили, Н. Бегалишвили/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.14-20. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Рассмотрены методы учёта фазовых превращении воды в некоторых численных моделях мезомасштабного пограничного слоя атмосферы. С помощью нашей модели был смоделирован ряд таких влажностных процессов, как туман, облако, ансамбль тумана и облаков. Проведена новая классификация фёнов; дана возможность их моделирования в случае плоской задачи.

უაკ 551.583.636.532.76

**მდ. ალაზნის მოსალოდნელი წყალმცირობის ნებატიური
შედეგების შეზღვევისათვის**

ც.ბასილაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი, საქართველო jarjini@mail.ru

გლობალური დათბობის შედეგად დედამიწაზე სივრცესა და დროში მიმდინარე კლიმატური კრიზისული ანომალიები გავლენას ახდენენ ბუნებრივ და განსაკუთრებით წყლისა და მიწის რესურსებზე. ამ ფონზე იზრდება ქვეყნის განვითარების რისკი, რაც განპირობებულია ძირითადად მტკნარი წყლის რესურსების მოცულობის შემცირებით, მათი ხარისხის გაუარესებითა და გახშირებული კატასტროფული ბუნებრივი მოვლენებით.

წყლის რესურსების შემცირება უარყოფითად აისახება სამეურნეო საქმიანობის წარმოებაზე, განსაკუთრებით იმ რეგიონებში, სადაც მცენარეთა მოსავლიანობა ბევრადაა დამოკიდებული მათი სარწყავი წყლით მომარაგებაზე. სწორედ ასეთი რეგიონია კახეთი, სადაც არის საქართველოს ყველაზე ნაყოფიერი ნიადაგების ფართო ველები და სასოფლო-სამეურნეო წარმოების მოცულობით არამარტო აღმოსავლეთ საქართველოში, არამედ მთელი საქართველოს მასშტაბით წამყვანი რეგიონია.

განსახილველ ტერიტორიაზე არსებული მშრალი კლიმატის გამო, სასოფლო-სამეურნეო კულტურების უხვი მოსავლის მისაღებად აუცილებელია ნიადაგების ხელოვნური მორწყვა. თანამედროვე კლიმატის დათბობის გააქტიურებამ გამოიწვია გვაღვიანობის გაძლიერება, რის შედეგადაც უკვე დაზიანდა 200 ათასი ჰა მიწის რესურსი, 3 ათას ჰა-ზე კი უკვე დაწყებულია გაუდაბნოების პროცესი, რაც მეტად საგანგაშოა. თუ დროულად არ ჩატარდება სათანადო ღონისძიებები, გაუდაბნოების შეჩერება შემდეგ უფრო რთული და ძვირი იქნება.

ამ ტერიტორიაზე სარწყავი წყლით მომარაგების მთავარი არტერიაა საქართველოს ყველაზე გრძელი (407 კმ) მდ. ალაზანი, რომლის წყალი როგორც ყველაზე ხელმისაწვდომი და განახლების უნარის მქონე მტკნარი წყლის ბუნებრივი რესურსი, ფართოდ გამოიყენება არამარტო აქ არსებული 262 ათასი ჰა სასოფლო-სამეურნეო მიწის სავარგულების სარწყავად, არამედ აგრეთვე ელექტროენერჯის მისაღებად, მოსახლეობისა და მეურნეობის სხვადასხვა დარგის საწარმოების წყალმომარაგებისათვის და თევზის სარეწად.

ორიგაციის მიზნით მდ. ალაზანზე და მის მრავალ შენაკადზე მოწყობილია, როგორც საინჟინრო, ასევე ნახევრადსაინჟინრო და არასაინჟინრო ტიპის სარწყავი არხები. აქ ძირითადი მოქმედი ორი მაგისტრალური არხია: 1930 წელს აშენებული ქვემო ალაზნის მაგისტრალი 96 კმ სიგრძეზე, სათავე აქვს სოფელ კონდოლთან, სადაც მდ. ალაზნიდან იღებს 20 მ³/წმ წყლის ხარჯს. მეორეა ზემო ალაზნის მაგისტრალური არხი 79 კმ სიგრძეზე სათავეს იღებს პანკისის ხეობაში სოფ. დუისთან 24 მ³/წმ წყალგამტარობით [1]. გარდა სარწყავი არხებისა მდ. ალაზნიდან გაყვანილია აუზის ტერიტორიაზე მდებარე ყველა დიდი დასახლების წყალსადენების ქსელი.

მდ. ალაზნის აუზი სამი მხრიდან გარშემორტყმულია მაღალი და საშუალო სიმაღლის ქედებით, რომლებიც იცავენ ტერიტორიას ცივი მასების შემოჭრისაგან. სამხრეთ-აღმოსავლეთით აუზს აქვს დია მდებარეობა და იქიდან შემოსული თბილი ჰაერის მასები დიდ გავლენას ახდენენ იქაურ თერმულ რეჟიმზე. აღმოსავლეთიდან და დასავლეთიდან შემოჭრილი ჰაერის მასები მართალია შედარებით მშრალია, მაგრამ კავკასიონის ქედის მაღალ ფერდობებზე ასვლისას ისინი ცივდება, იუღინთება კონდენსაციის წერტილამდე და გამოიყოფა უხვი ნალექები, თბილ პერიოდში კი ხშირად იწვევენ ელჭექებსა და სეტყვას, რაც დიდ ზიანს აყენებს სოფლის მეურნეობასა და მოსახლეობას.

ამ მხრივ მეტად არახელსაყრელი მოვლენაა გვაღვა, რომელიც ამ ტერიტორიაზე ყოველწლიურად ძირითადად ზაფხულშია, რაც კლიმატის დათბობის პირობებში გაუდაბნოების ხელშემწყობი ძირითადი ფაქტორია. გაუდაბნოების შეფასებისათვის [2] ნაშრომში მიღებულია 6 ბალიანი სისტემა, რომელიც გამოითვლება ნიადაგის ზედაპირის ტემპერატურის სიჭარბისა და ნალექების დეფიციტის ჯამების შეფარდებით განხილულ წელთა რიცხვზე. ასეთი შეფასებით მდ. ალაზნის აუზში ყველაზე მაღალი (6 ბალიანი) გაუდაბნოების კოეფიციენტით ხასიათდება ლაგოდეხი, 4 ბალიანობით შეფასებულია

გაუდაბნობა გურჯაანში, თელავში და შირაქში, 2 ბაღიანობით ხასიათდება ასმეტის რაიონი.

2015 წელს კლიმატის მესამე ეროვნული შეტყობინების [3] თანახმად 1986-2010 წლებში გვალვებმა მოიმატა, ექსტრემალური გვალვები გახშირდა დედოფლისწყაროში, თელავსა და ყვარელში. 2021-2050 წლების პროგნოზით გვალვები შემცირდება, მაგრამ გაიზრდება სავგებტაციო პერიოდი და აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი. 2071-2100 წლების პროგნოზით კი ყველა ტიპის გვალვები მოიმატებს.

რაც შეეხება მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის ცვლილებას, კლიმატის მიმდინარე დათბობის პირობებში ის შესწავლილ იქნა საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინების [4] ფარგლებში. მიღებული შედეგები მოცემულია 1 ცხრილში, რომლის მიხედვით 15 წლიანი პერიოდების განხილვის დროს ნალექები თითქმის უცვლელი რჩება, ტემპერატურა XXI საუკუნის ბოლოს 5 °C-ით გაიზრდება და მიღებული პროგნოზის თანახმად 2100 წლისათვის მოსალოდნელია მდ. ალაზნის ჩამონადენის კლება პერიოდული ვარიაციებით.

30-წლიანი პერიოდების გასაშუალების შემთხვევაში მდინარის ჩამონადენის ტრენდი მცირე კლების ტენდენციას აჩვენებს. აქედან გამომდინარე XXI საუკუნის ბოლოსთვის 1951-1980 წლებთან შედარებით წყლის ჩამონადენის 8,6 %-იანი კლებაა მოსალოდნელი ასევე პერიოდული ვარიაციებით. დასკვნის სახით მაშინ მიღებულ იქნა იმის ვარაუდი, რომ მდ. ალაზნიდან წყლის მოთხოვნაზე მხოლოდ მაშინ შეიძლება გაჩნდეს პრობლემა, როდესაც მდინარის ჩამონადენი შემცირდება 50 %-ით და ამდენივეთი გაიზრდება მოთხოვნა წყალზე. ვინაიდან მაშინდელი პროგნოზით ჩამონადენის ასეთი შემცირება ნავარაუდები არ იყო, ამიტომ წყლის დეფიციტი არც მიმდინარე XXI საუკუნეშია მოსალოდნელი [4].

აღბათ ასეთი დამაიმედებელი პროგნოზის გამო, კლიმატის ცვლილების მესამე ეროვნულ შეტყობინებაში [3], მდინარის წყლის ჩამონადენის ცვლილების საკითხი არ იქნა განხილული. 2071-2100 წლებისათვის შედგენილი პროგნოზების მიხედვით კი საგანგაშოა ის ფაქტი, რომ მდ. ალაზნის აუზის ორივე მხარეს მოსალოდნელია ნალექების მნიშვნელოვანი შემცირება და ჰაერის ტემპერატურის მომატება, რაც ბუნებრივად გამოიწვევს მდინარეთა წყლიანობის შემცირებას [5-6], სადაც შესწავლილია მდ. ალაზნის წყალწარმოქმნელი ძირითადი ფაქტორების (ტემპერატურისა და ნალექების) და წყლის ჩამონადენის მრავალწლიური დინამიკა. მიღებულია მათი მოსალოდნელი ყოველწლიური შემცირებისა ან მატების რიცხვითი მნიშვნელობები.

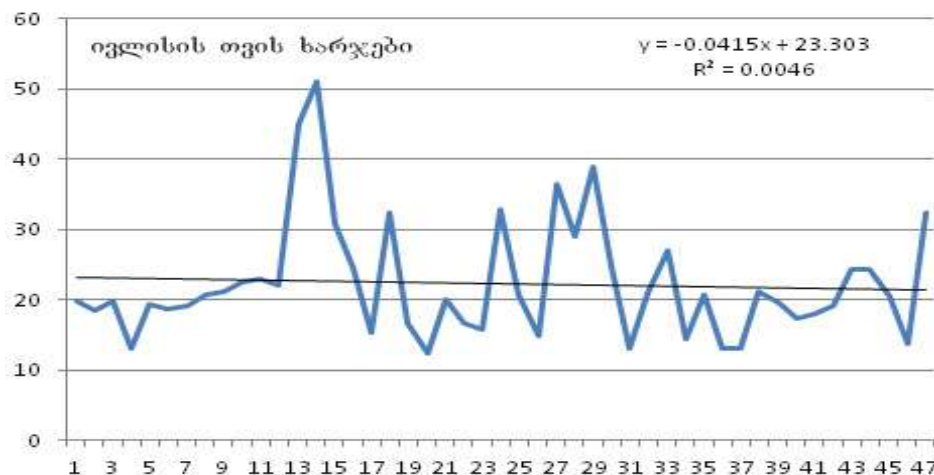
ცხრილი 1. ატმოსფერული ნალექების, ჰაერის ტემპერატურისა და მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის მნიშვნელობები 15 და 30 წლიან პერიოდებში

წლები	ნალექები მმ	ცვლილება მმ	ტემპერატურა °C	ცვლილება °C	ჩამონადენი მლნ მ ³	ცვლილება მლნ მ ³
15 წლიანი პერიოდი						
1951 – 1965	2200		3,3		441	
1966 – 1980	2280	+ 80	3,3	0,0	474	+ 33
2071 – 2085	2150	- 130	7,9	+ 4,6	408	- 66
2086 – 2100	2260	+ 110	8,9	+ 1,0	433	+ 25
30 წლიანი პერიოდი						
1951 – 1980	2240		3,3		459,7	
2071 – 2100	2205	- 35	8,4	+ 5.1	420,2	- 39,5
ცვლილება %		-1,6 %				- 8,6 %

ნახ. 1-ზე მოცემულია მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების (მ³/წმ) დინამიკა ყველაზე აქტიური რწყვისთვის – ივლისის თვეში სოფ. ბირკიანთან, სადაც 1950-1996 წლებში იზომებოდა მდინარის წყლის ბუნებრივი ჩამონადენი წყალადებისა და წყალჩაშვების გარეშე, რომლის წრფივი ტრენდის განტოლება ასე გამოისახება:

$$T_d = -0.042 n + 23.30, \quad (1)$$

სადაც, n – წლის რიგითი ნომერია დაკვირვების საწყისი (1950) წლიდან, რომლისთვისაც $n = 1$, ყოველი შემდეგი (i) წლისათვის $n = i + 1$; მისი კოეფიციენტი (-0,042) არის წყლის ხარჯების ყოველწლიური შემცირების მნიშვნელობა.



ნახ. 1. მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების მრავალწლიური დინამიკა სოფ. ბირკიანთან.

ბოლო ორი ათეულ წელზე მეტია აქ აღარ მიმდინარეობს მდინარის წყლიანობის აღრიცხვა. მათი არსებობის შემთხვევაში წყლის ხარჯების შემცირების მნიშვნელობა ალბათ უფრო დიდი იქნებოდა, რადგან ამ ბოლო წლებში უფრო მკვეთრად გააქტიურდა კლიმატის დათბობა, გაიზარდა ტემპერატურა და შემცირდა ნალექები.

მდინარის წყლიანობის ასეთი შესამჩნევი კლება მეტად საყურადღებოა და საჭიროა შემუშავდეს და ჩატარდეს სათანადო პრევენციული ღონისძიებები ნეგატიური პროცესების განვითარების საწინააღმდეგოდ ზარალის შემცირების მიზნით. ეს განსაკუთრებით აუცილებელია სადღეისოდ, როდესაც ქვეყანაში ეკონომიკური კრიზისის და უმუშევრობის პირობებში სოფლის მოსახლეობა მხოლოდ თავიანთ ნაკვეთებზე მიღებული სასოფლო-სამეურნეო პროდუქციიდან მიღებული შემოსავლით ირჩენს თავს. ამიტომ მათ ნაკვეთებს შეუფერხებლად უნდა მიეწოდებოდეს სარწყავი წყალი. მაგრამ აქ არსებული სარწყავი სისტემები თვითდინებით ზედაპირული მორწყვის წესით მოქმედებს, რაც ხასიათდება წყლის დიდი დანაკარგებით. ამას ხელს უწყობს ის ფაქტი, რომ აქ არსებული საირიგაციო დანადგარები, ისევე როგორც სამეურნეო საწარმოები 1992 წლიდან განადგურდა, გაიჩეხა ტყეები და ქარსაცავი ტყის ზოლები, რის გამოც გაძლიერდა ეროზია, აღარ ხდება მდინარეთა წყლიანობისა და მათი გამოყენების აღრიცხვა, რადგან აუზში მდებარე 12 ჰიდროლოგიური საგუშაგოდან გაუქმდა 11 საგუშაგო, სადაც მრავალი წლის მანძილზე დღეში ორჯერ იზომებოდა მდ. ალაზნისა და მისი შენაკადების წყლის ხარჯები. დარჩა მხოლოდ ერთი საგუშაგო მდ. ალაზანზე სოფ. შაქრიანთან, სადაც იზომება წყლის დონეები.

აღსანიშნავია, რომ მოსახლეობის გადატაკება გამოიწვია აგრეთვე იმ გაუგონარმა ფაქტმა, რომ გაუქმებულ იქნა სახელმწიფო ბანკებში არსებული მათი კუთვნილი ფულადი სახსრები. ტექნიკური დაზიანების გამო, გასული ორი ათეული წლის განმავლობაში აღარ ფუნქციონირებდა სარწყავი არხები. სადღეისოდ ჩატარებულია აღდგენითი სამუშაოები და ხდება სოფლის მეურნეობის აღორძინება.

არსებულ სარწყავ სისტემებს ფუნქციონირება უწევს ძირითადად სარწყავი წყლის დეფიციტის პირობებში ზაფხულის პიკური წყალმოთხოვნილების დროს. მაგრამ ვინაიდან არ არსებობს წყლის განაწილების გრაფიკი, ამიტომ პრაქტიკულად აქ სარწყავი არხის საწყის უბნებთან არსებული მიწის ფართობების მეპატრონეები უკონტროლოდ და გადაჭარბებული რაოდენობით მოიხმარენ წყალს, ხოლო იგივე არხის ბოლო უბნებთან არსებულ სარწყავ ფართობებამდე წყალი ვეღარ აღწევს და ამიტომ მოსავალი იქ აღარ მოდის. ამის გამო აქ

მოსახლეობა ამ ფართობებს დაუმუშავებელს ტოვებს, რომლის შედეგად შეინიშნება გაუდაბნოების პროცესის განვითარება [7]. ამას ამბაფრებს ისიც, რომ გლეხების ცნობიერებაში არის მცდარი აზრი “ბევრი წყალი, ბევრი მოსავალი”. ამიტომ გლეხების მხრიდან ხშირად ხდება სარწყავი წყლის ბარბაროსული გამოყენება ნორმებისა და ვადების უგულებელყოფით, რაც დამლუპველად მოქმედებს მიწის ნაყოფიერების შენარჩუნებაზე.

ამ პრობლემის გადაწყვეტის ეფექტური გზაა სარწყავ სისტემებზე წყალმომხმარებელთა შორის წყლის განაწილების ოპტიმალური სქემის დანერგვა, რაც არ მოითხოვს კაპიტალურ დაბანდებებს, რადგან ის შეიძლება შედგეს ადგილობრივ არხის წყალმოსარგებლეთა შორის ურთიერთშეთანხმებით წინასწარ იმის შესახებ, თუ ვის, როდის და რა რაოდენობით უნდა მიეწოდოს სარწყავი წყალი, იმის მიუხედავად მიწის ფართობი არხის თავშია თუ ბოლოში. ამრიგად ყველას ეცოდინება თუ როდის და რა რაოდენობის წყალი ეკუთვნის. წინასწარ შედგენილი წყალგანაწილების ასეთი ოპტიმალური სისტემის გამოყენებით შესაძლებელი იქნება სარწყავი ფართობების მნიშვნელოვანი გაზრდა, მოსავლიანობის ამაღლება და გაუდაბნოების პროცესის შეწყობა.

გარდა ამისა, მდ. ალაზანზე ქვემო მაგისტრალური არხი ზაფხულის პიკური წყალმოთხოვნილების პირობებში უნდა იღებდეს მდინარიდან 20-24 მ³/წმ წყლის ხარჯს, მაგრამ იმის გამო, რომ ივლის-აგვისტოში მდ. ალაზანზე არის წყალმცირობა და ამასთან ერთად ამ დროს მდინარიდან წყალს იღებენ აგრეთვე ზემო ალაზნის მაგისტრალური სისტემის არხები და სხვა არასაინჟინრო სარწყავი არხებიც, ამიტომ ქვემო ალაზნის სარწყავი სისტემა ფაქტიურად იღებს მხოლოდ 10 მ³/წმ წყლის ხარჯს, ე.ი. ნორმის განახევრებულ რაოდენობას. 1992 წლამდე მდ. ალაზნის წყლის დაბალი დონის დროს სარწყავად სატუმბი სადგურებით ხორციელდებოდა წყლის ამოტუმბვა და არხის ბოლო უბნების დამატებითი კვება, მაგრამ სადღეისოდ ამ სადგურების უმეტესობა აღარ მოქმედებს. ამრიგად მოურწყველი რჩება არხის ბოლო 30 კილომეტრის გასწვრივ მდებარე ათასობით პექტარი მიწის ფართობი, სადაც მორწყვის გარეშე შეუძლებელია რაიმე მოსავლის მიღება.

აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ მიუხედავად ჩატარებული აღდგენითი სამუშაოებისა, სადღეისოდ თვითდინებით მოქმედი ზედაპირული სარწყავი სისტემებისა და არხების არადამაკმაყოფილებელი ტექნიკური მდგომარეობის გამო, ხდება სარწყავი წყლის დიდი დანაკარგები. წყლის რესურსების შენარჩუნებისა და მათი რაციონალურად გამოყენების მიზნით აუცილებელია წყალგამოყენების სისტემების სრული რეკონსტრუქცია, რეაბილიტაცია და გაფართოება. განსაკუთრებით საჭიროა სატუმბი სადგურების ამოქმედება არხებში წყლის დამატებითი მიწოდებისათვის. ადგილობრივი მოსახლეობის მობილიზაციით კი უნდა მოხდეს ცალკეულ სოფლებში შემავალი სარწყავი არხების გაწმენდა და აღდგენა, რათა მაქსიმალურად შემცირდეს წყლის დანაკარგები.

კლიმატის თანამედროვე გლობალური დათბობის გამო მტკნარი წყლის დეფიციტის პირობებში მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში მცენარეთა მორწყვის მიზნით გამოიყენება წვეთოვანი მორწყვის წესი, რომლის დროს წყლის დანაკარგები თითქმის არ არის და იხარჯება მხოლოდ 33 % იმ წყლისა, რაც უნდა დახარჯულიყო იმ ფართობის ზედაპირული წყლით რწყვის დროს, ანუ 3-ჯერ უფრო ნაკლები წყალი დაიხარჯება და წყლის ეკონომია შეიძლება შეადგინოს 67 %, მცენარეთა მოსავლიანობა კი იზრდება 10-ჯერ [8]. ამრიგად წვეთოვანი მორწყვის დანერგვა, სარწყავი წყლის დეფიციტიან მდინარეთა აუზებში გვაღვიანობის წინააღმდეგ ბრძოლის უმნიშვნელოვანეს დონისძიებად შეიძლება ჩაითვალოს. აღსანიშნავია, რომ მიუხედავად სიძვირისა სადღეისოდ კახეთში ზოგიერთი ფერმერის მიერ უკვე ინერგება წვეთოვანი რწყვის მეთოდი.

მორწყვის წესის შერჩევა უნდა მოხდეს ადგილობრივი ბუნებრივ-სამეურნეო პირობების გათვალისწინებით, მაგალითად დაწვიმებითი რწყვა შეუცვლელი საშუალებაა ჰაერის დატენიანების, წყლის ეკონომიურად ხარჯვის, ნიადაგის დამარილიანობისა და ეროზიის საწინააღმდეგოდ. თუმცა ამ მანქანების დიდი უმრავლესობა, თავისებურებების გამო ნაკლებად გამოსაყენებელია საქართველოს პირობებისათვის. ისინი ვერ პასუხობენ გარემოს ეკოლოგიურ მოთხოვნებს, მაგრამ აღსანიშნავია ის ფაქტი, რომ სადღეისოდ დამუშავებულია ახალი გადასატანი დასაწვიმი დანადგარი, რომლის გამოყენება ეკოლოგიური უსაფრთხოების გარანტიას იძლევა და შესაძლებელია რწყვა ჩატარდეს დიდი ქანობებისა და რთული რელიეფის პირობებში [9]. თანამედროვე დასაწვიმი ტექნიკა წინამორბედებისაგან

განსხვავებით გამოირჩევა წარმოებლობით, მოიცავს დიდ სარწყავ ფართს, უზრუნველყოფს რწყვის პროცესების ავტომატიზაციას.

მდინარის წყლის ზედაპირული ჩამონადენის დარეგულირებისა და მიწისქვეშა წყლების მოსამატებლად უნდა მოხდეს მდინარის ხეობის ფერდობებზე მასიური ტყეების გაშენება. შესაძლებლობის ფარგლებში მეტად სასარგებლო იქნება ფერდობების დატერასება და მათზე გარდიგარდმო ხენა-თესვის წარმოება. სასოფლო-სამეურნეო საგარეულებზე კი აუცილებელია ქარსაცავი ზოლების აღდგენა და გამრავლება.

საჭიროა დეგრადირებული ნიადაგებისა და საძოვრების რეაბილიტაცია, გვალვავამძლე მცენარეთა კულტურების შერჩევა და დანერგვა, აუცილებელია აგრეთვე მოსახლეობისა და ფერმერების ცნობიერების ამაღლება სარწყავი წყლის ზომიერად გამოყენების შესახებ.

იმისათვის, რომ გვალვების დროს არ მოხდეს წყლის დეფიციტი, საჭიროა მდინარის წყლის რესურსების დარეგულირება, დაზოგვა და შევსება. ამ მიზნით მდინარის ხეობის მდგრადი გეოლოგიური ქანებისა და ხელსაყრელი რელიეფის პირობებში უნდა შეიქმნას მცირე წყალსაცავების ქსელი, სადაც განხორციელდება წყალდაგროვება შემოდგომა-ზამთრისა და გაზაფხულის წყალდიდობის პერიოდის გამოყენებელი წყლის რესურსებისა, მათი შემდგომი რაციონალურად გამოყენების მიზნით ზაფხულში პიკური წყალმოთხოვნილების პერიოდში სარწყავად, როდესაც მდინარეზე აღინიშნება წყლის უკმარისობა.

წყლის რესურსების შევსების მიზნით საჭიროა აგრეთვე ღრუბლებზე აქტიური ზემოქმედებით დამატებითი ნალექების მიღება, რომლის დიდი გამოცდილება არსებობს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში. ღრუბლებზე ზემოქმედება შეიძლება ჩატარდეს არამარტო თბილ სეზონში, არამედ ცივ პერიოდშიც, რაც ხელს შეუწყობს თოვლის საფრის სისქის მომატებას და მდინარის ჩამონადენის გაზრდას. თბილ პერიოდში კი ღრუბლებზე ზემოქმედებით ნალექების მომატების გარდა შეიძლება თავიდან ავიცილოთ სეტყვის საშიშროებაც. ამასთან დაკავშირებით აღსანიშნავია, რომ უკვე შესწავლილია აღმოსავლეთ საქართველოში გავრცელებულ ღრუბელთა რესურსები, მათი სივრცით-დროითი განაწილება და მათზე ზემოქმედების პერსპექტიული რაიონები და ხელსაყრელი პერიოდები [10].

სარწყავი სისტემებით წყალმომარაგების რეჟიმის დაგეგმარების დროს, გათვალისწინებულ უნდა იქნეს მდ. ალაზნის წყლის ხარჯების ყოველწლიური პროგნოზები სავეგეტაციო პერიოდში, რომელთა მიხედვით შეიძლება წინასწარ დადგინდეს სავეგეტაციო პერიოდის რომელ ინტერვალში იქნება შესაძლებლობა მორწყვისა მდინარის ჩამონადენის გამოყენებით და რომელ ინტერვალში იქნება აუცილებელი სატუმბი სადგურების ამოქმედება ან დაწვიმებითი დანადგარების გამოყენება ან კიდევ ხელოვნურად ნალექების გაზრდა ღრუბლებზე ზემოქმედებით.

ყველა ზემოთ ჩამოთვლილი ღონისძიებების ან მათი ნაწილის ჩატარება ხელს შეუწყობს არამარტო გვალვასთან ბრძოლას, არამედ აგრეთვე აქ დაწვებული გაუდაბნოების პროცესის შენელება-შეჩერებას და მოსახლეობისა და ქვეყნის ეკონომიკური მდგომარეობის გაუმჯობესებას.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ნ. უკლება. საქართველოს სსრ წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენება სახალხო მეურნეობაში. უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბ., 1977, 394 გვ.
2. კ. თავართქილაძე, გ. მესტიაშვილი, ე. საჯავია, ლ. ბეროშვილი. გაუდაბნოების ხელშემწყობი პროცესი საქართველოში და მისი შეფასების ანალიზური კრიტერიუმი. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 107, თბ., 2002, გვ. 186-193.
3. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება. UNOP in Georgia. თბ., 2015, 292 გვ.
4. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბ., 2009, 230 გვ.
5. ც. ბასილაშვილი, ი. ზარნაძე. მდ. ალაზნის წყალწარმომქმნელი ფაქტორების ცვლილებები და მოსალოდნელი მნიშვნელობები გლობალური დათბობის პირობებში. // მეცნიერება და ტექნოლოგიები. № 3 (726), 2017, გვ. 33-47.

6. ც. ბასილაშვილი. მდ. ალაზნის წყლის ჩამონადენის ცვლილების მოსალოდნელი ტენდენციები კლიმატის დათბობის პირობებში. // მეცნიერება და ტექნოლოგიები. № 1 (727), 2018, გვ. 56-68.
7. თ. სიჭინავა, პ. ტულუში, პ. სიჭინავა. კახეთის რეგიონში მოსალოდნელი კატასტროფული გვალვების შედეგების შემცირების გზები არასამთავრობო და სამთავრობო სტრუქტურების ადგილობრივ ფერმერებთან თანამშრომლობით. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 107, თბ., 2002, გვ. 212-217.
8. გ. ჩიკვაძე, თ. შველიძე, ი. გელაძე, ნ. დევდარიანი, ნ. არქიელიძე. გვალვიან რაიონებში წვეთოვანი მორწყვის დანერგვა, როგორც წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენებისა და გვალვასთან ბრძოლის ღონისძიება. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 107, თბ., 2002, გვ. 218-221.
9. თ. ნანიტაშვილი. გვალვისაგან დაზარალებული რაიონებისათვის განკუთვნილი ახალი თაობის სარწყავი ტექნიკა. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 107, თბ., 2002, გვ. 223-229.
10. ნ. ბეგალიშვილი, ნ. კაპანაძე, ნ. რობიტაშვილი, ი. რუხაძე. აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ღრუბელთა რესურსების სტატისტიკური ანალიზი. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 107, თბ., 2002, გვ. 241-253.

მდ. ალაზნის მოსალოდნელი წყალმცირობის ნეგატიური შედეგების შერბილების შესახებ
/ბასილაშვილი ც./სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.21-26 ქართ.; რუს.:
ქართ., ინგლ., რუს.

გამოკვლეულია მდ. ალაზნის წყლის სავეგეტაციო პერიოდის ჩამონადენის ყოველწლიური კლება და მოსალოდნელი უარყოფითი პროცესები. წყლის რესურსების დაზოგვისა და შევსების მიზნით შერჩეულია სხვადასხვა სახის ღონისძიებები მცენარეთა მოსავლიანობის ამაღლებისათვის

On Mitigation of the Negative Results of Expected Milover r.Alazani./Basilashvili Ts./Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.21-26. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

The annual decrease in the river water flow of the Alazani in the growing season and the expected negative processes were studied. In order to save and replenish water resources, various measures have been selected to allow increasing crop yields.

О смягчении негативных результатов ожидаемого малаводия р.Алазани./Басилашвили Ц.З./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.21-26. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Исследовано ежегодное уменьшение стока воды р. Алазани за вегетационный период и ожидаемые отрицательные процессы. В целях сбережения и пополнения водных ресурсов подобраны разные мероприятия для повышения урожайности растений

უაკ 551.583

საქართველოში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრობლემაზე 1980-იანი წლებიდან წარმოებულ სამუშაოთა მიმოხილვა

თ. ცინცაძე, ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, ს. მდივანი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
საქართველო, თბილისი knaili1990@gmail.com

2005 წელს გაეროს მიერ გამოცემულ კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის სახელმძღვანელო დოკუმენტში [1] დიდი ყურადღება დაეთმო წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრობლემას, რადგანაც თანამედროვე ეტაპზე ჰიდრომეტეოროლოგიურ პროცესებზე მონიტორინგის ავტომატიზებული სისტემების დანერგვასთან ერთად ბევრ ქვეყანაში რეალობად იქცა მდინარეთა აუზებში წყლის კომპლექსური მართვის სისტემის მოწყობა. აღნიშნული სისტემები მიზნად ისახავს წყლის ეკონომიურ და ოპტიმალურ ხარჯვას ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორების მოთხოვნათა დასაკმაყოფილებლად. ამიტომ მიმდინარე საუკუნეში, მოსახლეობის ზრდისა და ნალექთა პროგნოზირებული შემცირების პირობებში, მათი პრაქტიკაში დანერგვის მნიშვნელობა სულ უფრო იზრდება. აუზების ორგანიზაციის საერთაშორისო ქსელის (International Network of Basin Organizations – INBO) მონაცემების თანახმად, გარდა მაღალგანვითარებული ქვეყნებისა, წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სისტემების დანერგვაზე მუშაობა მიმდინარეობს კამერუნში, ეკვატორში, ჩინეთში, ალჟირში, ტუნისში, თურქეთში და სხვ. [2]. ყველა ქვეყანაში წყლის ინტეგრირებული მართვის სამუშაოთა ერთ-ერთ ძირითად მიზანს შეადგენს ადაპტირება კლიმატის მიმდინარე ცვლილებასთან.

XIX-XX საუკუნეებში საქართველოში წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენების დეტალური მიმოხილვა 1970-იანი წლების მდგომარეობით მოყვანილია ნ. უკლებას მონოგრაფიაში [3], რომელშიც დაწვრილებითაა განხილული ქვეყნის ყველა მთავარ მდინარეთა აუზებში ჰიდროენერგეტიკული, საირიგაციო, რეკრეაციული და სხვა სახის პოტენციალის განაწილება. სამწუხაროდ იმდროინდელი პრიორიტეტების გათვალისწინებით, ამ მონაცემებში ცალკე ვერ მოხერხდა ურბანული (საყოფაცხოვრებო, კომერციული და სამრეწველო) წყალმომარების კომპონენტების გამოყოფა.

ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში წყლის რესურსების მართვისა და შეფასების პრობლემაზე მუშაობა 1970-იანი წლების მეორე ნახევრიდან მიზანმიმართული გეზით წარიმართა, რაც გულისხმობდა წყლის რესურსებით შედარებით ღარიბ აღმოსავლეთ საქართველოს შერჩეულ რეგიონში – მდ.იორის აუზში – ამ რესურსების დეტალურ შესწავლას და ღრუბლებზე ზემოქმედების მეთოდიკით აღნიშნულ ტერიტორიაზე ნალექთა სეზონური ჯამების გაზრდას მდ. იორის ჩამონადენის მრავალმხრივი გამოყენების სფეროს გასაფართოვებლად. 1977 წელს აკად. გ. სვანიძის მიერ გამოთქმულმა ამ იდეამ მხარდაჭერა პპოვა რესპუბლიკის ხელმძღვანელობაში, რის შედეგადაც 1979 წლიდან მდ. იორის აუზში დაიწყო ნალექთა ხელოვნური გაზრდის (ნხგ) სამუშაოები, რომლებიც მიზნად ისახავდა მდ.იორის წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენების ხელშეწყობას ირიგაციაში, ჰიდროენერგეტიკაში, დიდი ქალაქების (თბილისისა და რუსთავის) კომუნალურ მეურნეობაში, თევზის მეურნეობაში და რეკრეაციულ საქმიანობაში. იორის პოლიგონი აღჭურვილი იქნა ღრუბლებსა და ნალექებზე დაკვირვების ჩასატარებელი რადიოლოკატორებით, ნალექსაზომი ქსელითა და ჰიდრომეტრიული დანადგარებით, რაც საშუალებას იძლეოდა ჩატარებულიყო ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების ოპერაციები და შეფასებულიყო მათი ეფექტურობა. სრულფასოვანი საკონტროლო ტერიტორიის უქონლობის გამო ზემოქმედება საცდელ ტერიტორიაზე საერთო ფართობით 1000 კმ² ტარდებოდა რანდომიზაციის მეთოდით ალბათობით 2/3 ზემოქმედების სასარგებლოდ.

1981-1983 წლების პერიოდში იორის პოლიგონზე კონვექციურ ღრუბლებზე ჩატარებული რანდომიზებული ექსპერიმენტების შედეგების ანალიზით მიღებული მონაცემების საფუძველზე 1985-1986 წწ. პერიოდში ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში დამუშავდა ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების შემთხვევაში მდინარის ჩამონადენის ფორმირების მათემატიკური მოდელი [4], რომელშიც საცდელ ტერიტორიაზე ცალკეულ ღრუბელზე ჩატარებული ზემოქმედების შედეგები განიხილება როგორც ჩამონადენის პიკების ერთობლიობა აუზის ჩამკვეთ კვეთში მიღებულ ჰიდროგრაფზე. საკონტროლო და საცდელ

ტერიტორიებზე მიღებული შედეგების შედარებისათვის საჭიროა გადასვლა ჩამონადენის მოდულებზე. საკონტროლო ტერიტორიის უქონლობის შემთხვევაში დასაშვებია საცდელი და საკონტროლო დღეებს შორის რანდომიზაციის ჩატარება ჩამონადენის გარბენის დროის აუზისათვის ტიპური მნიშვნელობის გათვალისწინებით, რომელიც მდ.იორის პირობებში ნახევარდღეღამის (12 სთ) ტოლი აღმოჩნდა. ნაშრომში საილუსტრაციოდ მოყვანილია 1982 წლის მაისის თვის ლელოვანის ჩამკეტი კვეთისთვის მიღებული კომპლექსური ჰიდროგრაფი, რომელზედაც ჩამონადენის პიკების მსვლელობა მჭიდროდ კორელირებს თვის განმავლობაში საცდელ ტერიტორიაზე მძლავრ კონვექციურ ღრუბლებზე ჩატარებული ზემოქმედების ექსპერიმენტებთან. ეს მოდელი საფუძვლად დაედო იორის პოლიგონზე ნხვ სამუშაოთა ეფექტის შესაფასებლად 1985 წელს გ. სვანიძის, ნ. ბეგალიშვილისა და თ. ცინცაძის მიერ შემოთავაზებულ ღრუბლებზე რანდომიზებული ექსპერიმენტების ეფექტურობის დადგენის ჰიდროლოგიურ მეთოდს [5]. მაგალითის სახით მოყვანილია დროის ხსენებულ მონაცემთა (1981-1983 წწ.) ჩატარებული 53 საცდელი და 32 საკონტროლო ნახევარდღეღამის მონაცემთა შედარება, რომელმაც აჩვენა, რომ ზემოქმედების შედეგად ჩამონადენმა მოიმატა საშუალოდ 10%-ით, რაც დამტკიცდა ნალექმზომი ქსელის მონაცემებში ნალექთა რაოდენობის 12%-იანი საშუალო ნაზრდით.

1981-1985 წწ. პერიოდში ჩატარებული ზემოქმედების უფრო მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული მონაცემების (98 საცდელი და 46 საკონტროლო ცდა) საფუძველზე გ. სვანიძემ, მ. ვატიანმა და ნ. კაპანაძემ დეტალიზებული სტატისტიკური ანალიზის საფუძველზე დაადგინეს, რომ ნიშნადობის დონეზე $\alpha=0.05$ საცდელ ნახევარდღეღამეებში საკონტროლოებთან შედარებით აღინიშნება ნალექთა რაოდენობის გაზრდა 24.6%-ით მაის-ივლისში, 63.0%-ით ივნის-ივლისში და 21.5%-ით აპრილ-ოქტომბერში (ანუ მთლიანად სეზონის განმავლობაში) [6]. მიახლოებითი შეფასებით, ეს ხელოვნური დანამატი საცდელ ტერიტორიაზე (1000 კმ²) ზემოქმედების პერიოდში (აპრილი-ოქტომბერი) აორთქლებაზე დანაკარგების გათვალისწინებით შეადგენდა 100 მლნ ტ. წყალს, რაც უზრუნველყოფდა სამუშაოთა რენტაბელობას 1:5 რიგისა.

1991 წლიდან, სსრკ დაშლასთან დაკავშირებით, ნხვ სამუშაოები იორის პოლიგონზე შეწყდა. 1979-1990 წლების მანძილზე პოლიგონზე მიღებული შედეგების შემაჯამებელი ანალიზი შესრულდა 1995 წლისთვის და იგი მოცემულია 1997 წელს გამოქვეყნებულ გ. სვანიძის, ნ. ბეგალიშვილის და ბ. ბერიტაშვილის ნაშრომში [7], რომელშიც მოყვანილია დეტალური მონაცემები პროექტ “იორის” ჩატარების პირობების, მეთოდოლოგიისა და ეფექტურობის შეფასების შესახებ. სულ 1979-1990 წწ. პერიოდში ზემოქმედება ჩატარდა 165 ექსპერიმენტულ ერთეულში (ნახევარდღეღამეში) და საკონტროლო ერთეულებად დატოვებულ იქნა 80 ერთეული. დამუშავებული კონვექციური უჯრედების რაოდენობამ ჯამში შეადგინა 660, ხოლო საკონტროლო უჯრედების რაოდენობამ 310. რადიოლოკაციური დაკვირვებების, ნალექმზომი ქსელისა და მდ. იორზე ჩამონადენის ჰიდროლოგიური გაზომვების მონაცემთა ერთობლივი ანალიზის შედეგად 0.90 სანდო ალბათობის დონეზე მიღებულ იქნა, რომ აუზში ზემოქმედების შედეგად წყლის პოტენციური დამატებითი რესურსების სიდიდე შეიძლება შეფასდეს წელიწადში 30-70 მლნ. ტონად, რაც საგუშაგო ორხევზე მდ. იორის სრული წლიური ჩამონადენის (440 მლნ. მ³)საგრძობ ნაწილს (7-16%) წარმოადგენს. ზემოქმედების ტექნოლოგიის დახვეწისა და ზამთრის ნალექთა გაზრდის შესაძლებლობის პირობებში ეს მანევრებელი მოსალოდნელია 10-20%-მდეც გაიზარდოს, რაც იდეალურ შედეგად შეიძლება ჩაითვალოს. ამ გამოკვლევებით დასრულდა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში წყლის რესურსების შეფასებისა და მართვის პრობლემებზე მუშაობის პირველი ეტაპი და დასაბამი დაედო წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სისტემაზე გამოკვლევების მეორე ეტაპს.

კერძოდ, ჯერ კიდევ 1995 წელს ინსტიტუტში შემუშავდა საქართველოში სამელიორაცი-ო სისტემების პროექტირებისა და ექსპლოატაციისათვის საჭირო წყალბალანსური გამოკ-ვლევების პროგრამა [8]. ამ პროგრამაში დასახელებულ სამუშაოებთან ერთად ინსტიტუტის ხელმძღვანელობამ განსაკუთრებული ყურადღება დაუთმო წვეთოვანი მორწყვის პრობლემას, რისთვისაც 1996 წელს ისრაელში მივლინებული იქნა გ. ჩიკვაიძე. შედეგად 1998 წელს მან გამოაქვეყნა ნაშრომი [9], რომელშიც მიმოიხილა ისრაელში გამოყენებული წვეთოვანი მორ-წყვის სხვადასხვა სისტემები და მათი ტექნიკური აღჭურვილობა. შემდგომში, 1998 წელს, ის-

რაელში ვიზიტის შედეგად, ინსტიტუტის ხელმძღვანელობამ (გ. სვანიძე და ნ. ბეგალიშვილი) ჩამოიტანა საცდელ ნაკვეთზე წვეთოვანი მორწყვისათვის საჭირო აღჭურვილობა. საცდელ ტერიტორიად შერჩეული იქნა სოფ. ძველ ანაგაში არსებული საველე ექსპერიმენტული ბაზა, თუმცა სისტემის გამართვა ვერ მოხერხდა მისი ნაწილების დატაცების გამო და მისი მოწყობა გადაიდო უფრო ხელსაყრელი პირობების დადგომამდე. მიუხედავად ამისა, მოგვიანებით, 2000 წლისთვის არსებული ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით ინსტიტუტში შეფასებული იქნა სხვადასხვა კლიმატურ ზონაში წვეთოვანი მორწყვის ეფექტურობა [10], რომელმაც თვითღირებით ზედაპირულ მორწყვასთან შედარებით შეიძლება უზრუნველყოს სარწყავი წყლის 67%-მდე ეკონომია.

1990-იანი წლების მდგომარეობით საქართველოს წყლის რესურსების გამოყენების, მოწყვლადობისა და 2075 წლამდე პროგნოზირების საკითხები გაანალიზებულია გ. სვანიძის, ვ. ცომიასა და რ. მესხიას 2001 წლის კონცეპტუალურ ნაშრომში [11]. მასში განხილულია საქართველოს ზედაპირული წყლის რესურსების ისტორიული ფორმირების, გეოგრაფიული განაწილებისა და ეკონომიკის სხვადასხვა სექტორში მოხმარების საკითხები 2°C -მდე მოსალოდნელი გლობალური დათბობის ფონზე მდინარეული ჩამონადენის საპროგნოზო მონაცემებთან ერთად შესაბამისი საადაპტაციო ღონისძიებების ჭრილში. ძირითადი პრობლემებიდან დასახელებულია წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების ახალი გზების მოძიება თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვის გზით, წყალმომარების არსებული სისტემების რეაბილიტაცია და გაფართოება, წვეთოვანი მორწყვის სისტემის დანერგვა. ხაზგასმულია კოლხეთის დაბლობზე რამდენიმე ჭაობის ნაკრძალ ზონად გამოხცადების აუცილებლობა, სარწყავ ტერიტორიებზე მეორადი დაჭაობების პროცესებთან ბრძოლის საჭიროება, წყალდიდობების შემცირების გზებიდან წყალსაცავების მშენებლობის პერსპექტიულობა. ნაშრომში ცალკე ყურადღება დაეთმო სეისმურად აქტიურ რეგიონებში დაკვირვების ქსელის მოწყობის საკითხს კლდეზავებითა და მეწყერებით ხეობების ჩახერგვის მონიტორინგის საწარმოებლად. წყლის რესურსების შევსების გზებიდან პერსპექტიულად არის მიჩნეული ღრუბლებზე ხელოვნური ზემოქმედების მეთოდები წლის როგორც თბილ, ასევე ცივ პერიოდებში. განსაკუთრებით ხაზგასმულია სპეციალური საცდელი პოლიგონის შექმნის აუცილებლობა, სადაც ჩატარებული სამეცნიერო გამოკვლევები საფუძვლად დაედებოდა წყლის რესურსების დაზოგვის, დაცვისა და ხელოვნურად გაზრდის ღონისძიებათა ტექნიკურ-ეკონომიკურ დასაბუთებას.

განხილული შრომა, რომელიც წინამდებარე მიმოხილვის თემასთან შედარებით გაცილებით უფრო მასშტაბურ ხასიათს ატარებს, შექმნილია საბჭოთა კავშირის დაშლის შემდეგ საწყის პერიოდში, ანუ 1990-იან წლების მეორე ნახევარში და ნაწილობრივ ემთხვევა გაეროს კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის (UNFCCC) მომზადებული საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინების [12] შესაბამისი თავის მონაცემებს. ამრიგად, 1990-იანი წლების დასასრულისათვის, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში უკვე მომზადებული იყო სამეცნიერო ბაზისი ცალკეული მდინარის აუზში წყლის რესურსების კომპლექსური/ინტეგრირებული მართვის სისტემის შესაქმნელად. თუმცა, იმის გათვალისწინებით, რომ 1990-იანი წლების დასასრულისთვის საქართველოში ჯერ არ იყო სათანადო დონეზე განვითარებული ტექნიკური ბაზა ცალკეული მდინარის აუზში ჰიდრომეტეოროლოგიურ ელემენტებზე მონიტორინგის სათანადო დონეზე საწარმოებლად, მიღებულ მონაცემთა ტელეკომუნიკაციის საშუალებით შესაგროვებლად და კომპიუტერული გზით დასამუშავებლად, აგრეთვე არ არსებობდა მოდელის შექმნის გამოცდილება მონიტორინგის მონაცემთა გამოყენებით ცალკეული სექტორების წყალმომარების ნორმების შესაფასებლად, საჭირო გახდა დასმული პრობლემის შემადგენელი ელემენტები მომდევნო წლებში დამოუკიდებლად დამუშავებულიყო. სამწუხაროდ ეს პროცესი დღესაც გრძელდება.

ამავე პერიოდში, დასახული პროგრამის შესაბამისად, ინსტიტუტში გრძელდებოდა საქართველოს ზედაპირული წყლების მოხმარების ოპტიმიზაციის სხვადასხვა ასპექტების შესწავლა.

გ. სვანიძემ და გ. ჩიკვაიძემ ნაშრომში [13] ნაღვეებით სხვადასხვა უზრუნველყოფის პირობებში შეაფასეს აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში სარწყავი წყლის დეფიციტი რეგულირების გარეშე. მიღებული იქნა, რომ მდინარეები ფოცხოვი, ფარავანი, დებედა, ქსანი, არაგვი და მტკვარი მთლიანად უზრუნველყოფენ ახლო პერსპექტივაში

მოსარწყავად დასახულ მათზე მიმაგრებულ ფართობებს სარწყავი წყლით. თავიანთ აუზებში სარწყავი წყლით საერთოდ ვერ აკმაყოფილებენ სასოფლო-სამეურნეო სავარგულებს მდინარეები ბუგდაშენი, ასლანკა, ალგეთი, ქცია-ხრამი, იორი და ალაზანი. აღსანიშნავია, რომ ჩამონადენის რეგულირების პირობებში, ანუ წყალსაცავების აგების შემთხვევაში და მოწინავე წყალდამზოგი ტექნოლოგიების (მაგ. წვეთოვანი მორწყვის) გამოყენების შემთხვევაში შეფასების შედეგები შეიძლება სულ სხვა ყოფილიყო, განსხვავებული ზედაპირული მიწებით მიღებული შედეგებისაგან.

ამასთან ერთად, 1990-იან წლებამდე არსებულ მონაცემებზე დაყრდნობით, გ. ჩიკვაიძისა და ო. შველიძის ხელმძღვანელობით ავტორთა კოლექტივმა აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებისათვის შეიმუშავა ოპტიმალური მორწყვის ნორმები ძირითადი სასოფლო-სამეურნეო კულტურების ზრდა-განვითარების სხვადასხვა პერიოდისათვის [14]. მოყვანილი მონაცემები მოიცავს კულტურების ფართო დიაპაზონს და შესაძლებლობას იძლევა მიმდინარე ცვლილების გათვალისწინებით მათში შეტანილი იქნას სათანადო კორექტივები ჰაერის ტემპერატურის, გარემოს სინოტივისა და სხვა პარამეტრების ცვლილების მხედველობაში მიღებით.

გარდა ამისა, რ. მესხიას მიერ დასავლეთ და აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში სხვადასხვა ლანდშაფტებისათვის გაანგარიშებულ იქნა წყლის ბალანსის ელემენტები (ნალექები, ჩამონადენი, ჯამური აორთქლება) სიმაღლის მიხედვით მათი ცვლილების გათვალისწინებით [15]. სულ განხილული იქნა 11 ლანდშაფტის ტიპი დასახლებული პუნქტებისა და გზების, სადრენაჟო და სარწყავი სისტემების, ჭაობებისა და წყალსატევების ჩათვლით. სიმაღლეთა დიაპაზონში 10-დან 3650 მეტრამდე ზ.დ. გამოთვლების შედეგად დადგინდა იქნა, რომ დასავლეთ საქართველოში ჩამონადენის ძირითადი მასის ფორმირების ზონა მაქსიმუმს აღწევს 2700-3200 მ შუალედში და შეადგენს საშუალოდ 2800 მმ, ხოლო აღმოსავლეთ საქართველოში-3200-3600 მ შუალედში და მაქსიმუმს შეადგენს საშუალოდ 1560 მმ. ჩატარებულ გამოკვლევებში წყლის ბალანსის ელემენტებიდან, როგორც მცირე სიდიდე, უგულებელყოფილი იქნა ნიადაგის ზედაპირსა და მცენარეულ საფარზე წყლის დაკავება, თუმცა მოგვიანებით, 2007 წლისთვის ეს ხარვეზი ავტორის მიერ შევსებული იქნა და აღინიშნა, რომ თოვლის ნაღობი და წვიმის წყლის ნიადაგის ზედა ფენაში და მცენარეულ ზედაპირზე დაკავების სიდიდეების გათვალისწინება ჩამონადენის მოდელში და საპროგნოზო დამოკიდებულებებში აუცილებელია [16].

მდ. მტკვრის აუზის ზემო ნაწილისთვის, საგუშაგო თბილისის ჩამკეტი კვეთის წყალშემკრებ ტერიტორიაზე განლაგებული ზოგიერთი ჰიდრომეტეოროლოგიური პუნქტის მონაცემები ნ. ბეგალიშვილის, ვ. ცომაიასა და ნ.ნ. ბეგალიშვილის მიერ [17] გამოყენებულ იქნა ჩამონადენსა და კლიმატურ ელემენტებს შორის ცნობილი კავშირების დახმარებით ჩამონადენზე კლიმატის შესაძლო ცვლილების გავლენის შესაფასებლად. განხილული იქნა ჯამური ნალექისა და ტემპერატურის სავარაუდო ცვლილების სხვადასხვა სცენარი ნალექთა $\pm 10\%$ და ტემპერატურის $\pm 2^{\circ}\text{C}$ -ით შეცვლის პირობებში. ექსტრემალური გვალებების პირობებში, მიწისქვეშა წყლების როლის გაუთვალისწინებლად, მიღებული იქნა მდ. მტკვრის ჩამონადენის 48%-ით შემცირების შესაძლებლობა.

აღმოსავლეთ საქართველოს მთავარი მდინარეების (ღიახვი, ქსანი, არაგვი, ალაზანი და იორი) სავეგეტაციო პერიოდში წყლიანობის პროგნოზირების მეთოდიკა სარწყავი სისტემების მომსახურების მიზნით 2001 წლისთვის დამუშავებული იქნა ც. ბასილაშვილის, მ. კარტაშოვასა და ნ. კობახიძის მიერ [18]. ნაშრომში ზოგადი სახით მოყვანილია მრავალფაქტორიანი საპროგნოზო მოდელი, რომლის კორექტირება შესაძლებელია სხვადასხვა პრედიქტორის გამოყენებით. განსხვავებული საინფორმაციო უზრუნველყოფის პირობებისთვის, მაგალითის სახით, მდ. არაგვისთვის მიღებულია ჩამონადენის გამოსათვლელი ოთხი განტოლება, რომელთა საფუძველზე პროგნოზის შედგენა შესაძლებელია ალბათური ფორმითაც.

შემდგომში, 2015 წელს ც. ბასილაშვილის მიერ ჟინვალის წყლსაცავის აუზისათვის დამუშავდა ჩამონადენის პროგნოზირების უფრო სრულყოფილი მეთოდიკა [19], რომლითაც შესაძლებელი გახდა მდ. არაგვის სამივე შენაკადის და ჟინვალთან მისი ჯამური წლიური ჩამონადენის პროგნოზირება სხვადასხვა ალბათური უზრუნველყოფით 1-დან 99%-მდე. გარდა ამისა, ამავე ნაშრომში მაგალითის სახით მოყვანილია სავეგეტაციო პერიოდში ჩამონადენის გამოსათვლელი საპროგნოზო განტოლებები მათი სტატისტიკური მახასიათებლებით მდ.

შავი არაგვის შესართავისათვის და აგრეთვე მაქსიმალური ჩამონადენის გრძელვადიანი საპროგნოზო განტოლებები მდ. არაგვის სამივე შენაკადისათვის. ამავ დროს აღნიშნულია აუზის წყლის ობიექტებზე სათანადო პრევენციული და ნაპირსამაგრი ღონისძიებების ჩატარების აუცილებლობა.

იორი-არაგვის წყალსამეურნეო კომპლექსური სისტემის გამოყენებით ქართლ-კახეთის რაიონებში გვაღვის შედეგების შერბილების შესაძლებლობა 2002 წელს განხილული იქნა გ. გრიგოლიას, ე. საბაძისა და გ. ხმაღაძის ნაშრომში [20]. სიონის, უჩხაძისა და თბილისის წყალსაცავების შეთანხმებულ რეჟიმში მუშაობისათვის თვითონ ინტერვალების გათვალისწინებით შემოთავაზებულ იქნა ჯგუფური მოდელირების მეთოდი, რომელშიც ცვლადებისათვის გამოყენებულ იქნება ჯონსონის SB განაწილება. მეთოდის პრაქტიკული რეალიზაციისათვის საჭირო ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა ხანგრძლივი და უწყვეტი რიგების განსახილველ მდინარეებსა და წყალსაცავებზე უქონლობის გამო მისი გამოცდა და დანერგვა ვერ განხორციელდა, თუმცა ფაქტობრივად ეს ნაშრომი წარმოადგენს განხილული ორი მდინარის აუზში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სისტემის თეორიულ პირველ სახეს (პროტოტიპს).

ამასთან დაკავშირებით უნდა აღინიშნოს, რომ მდინარის აუზში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის განხორციელებული პროექტის მაგალითს წარმოადგენს რ. ჯონსონის მიერ ავსტრალიაში მიურეი-დარლინგის აუზში მოკლედ აღწერილი სამუშაოები [21], რომლებშიც ხაზგასმულია მათემატიკური მოდელის ოპერატიული გამოყენების აუცილებლობა ეკონომიკის სხვადასხვა დარგის მიერ მდინარის აუზში არსებული წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენების საქმეში. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით ღირებულია სწორედ ავსტრალიის გამოცდილების გაზიარება, რომელმაც გაუძღო 2000-2009 წლების უწყვეტი გვაღვების პერიოდს და გამოიტანა ამ გამოცდილებიდან მიღებული დასკვნები წყლის რესურსების მომჭირნე და რაციონალური მოხმარების მეთოდების შესახებ.

ავსტრალიასთან ერთად სისტემატურად არანაკლებ ზარალს განიცდის კალიფორნიის შტატიც, რომლისთვისაც ბოლო ხანებში ფართოდ გამოყენებული წყალბალანსური მოდელი WEAP 21 დ.იეტსის, დ. პარკის, ჯ.სიბერის, ა. ჰიუბერ-ლის და პ. ვალბრაიტის მიერ იქნა გამოყენებული ორი შერჩეული მდინარის აუზში სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანების გადასაჭრელად [22].

WEAP 21 მოდელი გამოყენებული იქნა საქართველოს მეორე ეროვნულ შეტყობინებაში [23] კლიმატის რეგიონალური მოდელის დახმარებით მდინარეების ალაზნისა და იორის ჩამონადენის 2100 წლამდე პროგნოზირებისათვის.

საქართველოს მტკნარი წყლის რესურსული პოტენციალი და ეკონომიკის ცალკეული დარგების მიერ მისი მოხმარების რაოდენობრივი შეფასებები 1990 და 2010 წლების მდგომარეობით მოყვანილი იქნა ვ. გელაძის, გ. გელაძის, ნ. ბოლაშვილისა და ნ. მაჭავარიანის ნაშრომში [24]. ამ ნაშრომის მიხედვით, აღმოსავლეთ საქართველოში 2010 წელს სოფლის მეურნეობის სექტორში მოხმარებული იყო 3.74 კმ³ წყალი, რამაც სერთო წყალმომხმარების (მრეწველობისა და კომუნალური მოხმარების ჩათვლით) 68% შეადგინა. აღსანიშნავია, რომ ეს სიდიდე დაემთხვა გ. სვანიძისა და ვ. ცომაიას რედაქციით შედგენილ მონოგრაფიაში [25] მოყვანილ საპროგნოზო შეფასებას, რომელიც შეეხება მდ. მტკვრის აუზში 1990 წელს სოფლის მეურნეობაში მოხმარებული წყლის წილს საერთო წყალმომხმარებაში და ახლოს აღმოჩნდა 1980 წლისთვის მიღებულ ფაქტობრივ სიდიდესთან, რომელმაც შეადგინა 65% (შედარებისთვის: კომუნალური მეურნეობა - 5% , მრეწველობა - 22%, მეთევზეობა -8%). ზემოთ განხილულ ნაშრომში [24] წყლის რესურსული პოტენციალის მენეჯმენტის ყველაზე მიზანშეწონილ საშუალებად დასახელებულია გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემები (გსს), რომელთათვისაც 2008 წელს დაგეგმილი იყო მონაცემთა ბაზის შექმნა. ამ სისტემების საფუძველზე 2011 წლისთვის გეოგრაფიის ინსტიტუტის თანამშრომელთა მიერ მომზადდა კახეთის რეგიონში წყლის რესურსების მართვის საპროგრამო ნაშრომი [26].

2011 წელს თსუ გეოგრაფიის ინსტიტუტის ავტორთა კოლექტივის (დ. მაჭავარიანი, ვ. გელაძე, ნ. ბოლაშვილი, თ. ყარაღაშვილი, ნ. გეთიაშვილი) მიერ გამოქვეყნებულ ზემოთ აღნიშნულ ნაშრომში გაანალიზებულია კახეთის საირიგაციო სისტემების მდგომარეობა 2010 წლისთვის და შემოთავაზებულია ხელოვნური დაწვიმების ახალი სისტემებისა და თვითდინების მეთოდის გამოყენება გეოსაინფორმაციო ტექნოლოგიების მონაცემთა გამოყენებით. სხვა რეკომენდაციებთან ერთად აღნიშნულია წყალსამეურნეო მართვის

ავტომატიზებული სისტემების დანერგვის მიზანშეწონილობა წყალმომარების კონტროლის უზრუნველყოფის გათვალისწინებით. აღნიშნული პრობლემის გარშემო მსგავსი მოსაზრებებია გამოთქმული იმავე ინსტიტუტის ავტორების მიერ 2015 წელს მომზადებულ ნაშრომში [27], სადაც დამატებით აღნიშნულია მდ. ალაზნის საირიგაციო პოტენციალის არსებითი გაზრდის შესაძლებლობა დედოფლისწყაროს მუნიციპალიტეტის სამხრეთ ნაწილში ზემო ალაზნის სარწყავი სისტემის დასრულების შემთხვევაში.

კორელაციური კავშირი ნალექებსა და ჩამონადენს შორის მცირე მდინარის მაგალითზე 2008 წელს შესწავლილ იქნა გ. გრიგოლიას, მ. ალავერდაშვილის, ვ. ტრაპაიძის, გ. ბრეგვაძის, დ. კიკნაძის, ნ. ხუფენიასა და ნ. კოკიას მიერ [28]. საანალიზოდ შეირჩა 190 კმ² ფართობის მქონე მდ. ვერეს აუზი, რომელშიც 1963-2007 წწ. პერიოდში მიმდინარეობდა უწყვეტი დაკვირვებები ატმოსფერულ ნალექებსა და ჩამონადენზე. აღმოჩნდა, რომ თვეების მიხედვით კორელაციის კოეფიციენტი ჩამონადენსა და ნალექებს შორის იცვლება დიაპაზონში 0.17-დან 0.70-მდე, სადაც ყველაზე მჭიდრო კავშირები აღინიშნა უხვნალექიან თვეებში (აპრილი-ივნისი), ხოლო სუსტი - ზამთრის წყალმცირობის თვეებში (ნოემბერი-დეკემბერი), როდესაც ჩამონადენში დომინირებს მიწისქვეშა მდგენელი.

2015 წლისთვის კლიმატის დათბობის სულ უფრო მკვეთრ გამოვლინებასთან ერთად აღმოსვლეთ საქართველოში წყლის რესურსების კომპლექსური მართვის იდეამ, რომელიც უკვე განიხილებოდა 2001-2008 წწ. პერიოდში სტატიებში [11, 20 და 24], მზარდი აქტუალობა შეიძინა. ამას მოწმობს ქვეყანაში ბოლო ათი წლის მანძილზე შემუშავებული კლიმატის ცვლილებასთან საადაპტაციო პროექტების არასრული ჩამონათვალი [29], რომელშიც 34 პროექტიდან ხუთი შეეხება კახეთის რეგიონში სასოფლო-სამეურნეო მიწების მორწყვის პრობლემას, ეს პროექტები დეტალურადაა განხილული საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინების თანმდევ დოკუმენტში [30].

წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრობლემები ამ რესურსებით შედარებით დარიბ სომხეთის რესპუბლიკაში 2014 წლის მდგომარეობით განხილულია ვ. სტეფანიანისა და მ. გალსტიანის სტატიაში [31], სადაც აღნიშნულია, რომ 2040 წლამდე კლიმატის ცვლილების საპროგნოზო მონაცემებით სევანის ტბის აუზში მოსალოდნელია ნალექთა შემცირება 5-6%-ით, რაც კიდევ უფრო გაამწვავებს ქვეყანაში არსებულ წყალმომარების დაძაბულ სიტუაციას. არარატის ველზე ვრუნტის წყლების დონის კატასტროფულ კლებასთან დაკავშირებით აშკარა ვახდა ეკონომიკის ყველა დარგის მოთხოვნათა გათვალისწინებით როგორც ზედაპირული, ისე მიწისქვეშა წყლების ინვენტარიზაცია და წყლის კადასტრის ფორმირება, რომელზედაც დამყარებული იქნება წყალმომარების ნებართვები. წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის მათემატიკური მოდელი უნდა ითვალისწინებდეს საფინანსო, უფლებრივი შესაბამისობის, ინსტიტუციური შესატყვისობის, ეკოლოგიური უსაფრთხოებისა და საზოგადოებრივი ცნობიერების ამაღლების შეფასებებს. შემუშავებული მოდელი უნდა უზრუნველყოფდეს მიღებული გადაწყვეტილებების გამჭვირვალობას და თანამშრომლობას წყლის მომხმარებელთა შორის.

2015 წელს თსუ გეოგრაფიის ინსტიტუტის ავტორთა კოლექტივის მიერ (ვ. გელაძე, ნ. ბოლაშვილი, თ. ყარალაშვილი, ნ. მაჭავარიანი, ნ. ჩიხრაძე, დ. ქართველიშვილი) გამოქვეყნდა ზემოთ უკვე ნახსენები ნაშრომი, რომელშიც განხილულია კახეთში წყლის რესურსების მენეჯმენტის სისტემის შექმნის საფუძვლები [27]. გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემის გამოყენებით მიღებული მონაცემების ბაზაზე სტატიაში მოყვანილია ცნობები მდ. ალაზნის აუზში არსებული სარწყავი სისტემის შესახებ, ხაზგასმულია მისი რეაბილიტაციის აუცილებლობა მორწყვის ახალი ტექნოლოგიების დანერგვასთან ერთად, მათ შორის ხელოვნური დაწვიმების მეთოდის ფართო გამოყენების პერსპექტიულობა. მდ. ალაზნის შედარებითი წყალუხვობის გათვალისწინებით ნაშრომში ნაკლები ყურადღება დაეთმო მდ. იორის წყლის რესურსების გამოყენების საკითხს, რაზედაც აქცენტი გაკეთდა სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მიერ მომდევნო წელს მომზადებულ შრომაში [32].

ეს შრომა ეყრდნობა სტუ რექტორის ა. ფრანგიშვილის მიერ 2016 წლის თებერვალში წამოყენებულ იდეას საქართველოს ტერიტორიაზე ჰიდრომეტეოროლოგიური ელემენტების მონიტორინგის ავტომატიზებული სისტემის მოწყობის შესახებ. საწყის ეტაპად ჩვენს მიერ 2016 წლის ივნისში შეთავაზებული იქნა მდ. იორის აუზის ტერიტორიაზე წყლის რესურსების მართვის ინტეგრირებული მენეჯმენტის სისტემის შექმნა ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა თანხლებით. ამ პროექტს პირობითად შეიძლება ეწოდოს „იორი-2“.

მაგალითის სახით აღებული იქნა ავსტრალიაში მიურეი-დარლინგის აუზში წარმოებული წყლის რესურსების ოპტიმალური მართვის პრაქტიკა, რომელიც საშუალებას იძლევა მტკნარი წყლის ლიმიტირებული მოხმარების ფარგლებში, არსებული წყალსამეურნეო ინფრასტრუქტურის გამართული მუშაობის პირობებში, მიღწეული იქნას ოპტიმალური კომპრომისი წყლის რესურსების შეთანხმებული გამოყენებისა აგრარულ, ურბანულ და ბიოეკოლოგიურ სექტორებს შორის [21].

ამ იდეაზე დაყრდნობით შრომაში [32] მდ. იორის აუზის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების მიმოხილვის შემდეგ მოყვანილია ცნობები ეკონომიკისა და მოსახლეობის შესახებ აუზში შემავალი მუნიციპალიტეტების მიხედვით, ინფორმაცია აუზში წყლის რესურსების გამოყენების ისტორიიდან და მისი არსებული მდგომარეობის შესახებ. ცალკეა განხილული წყლის მენეჯმენტის ინტეგრირებული სისტემის გეგმა და მისი ცალკეული ელემენტები, სამ სექტორად დაყოფილ აუზში ჰიდროლოგიური და მეტეოროლოგიური დეტექტორების სავარაუდო განთავსების რუკები, რომლებიც მოიცავს 92 მეტეოროლოგიურ და 13 ჰიდროლოგიურ დეტექტორს, აგრეთვე აუზში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის მეთოდიკა, რომელიც ეყრდნობა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის მიერ 1979-1990 წლებში მდ. იორის აუზში წლის თბილ პერიოდში ჩატარებულ ნალექთა ხელოვნური გამოწვევის სამუშაოთა შედეგებს.

აღნიშნული შრომის მომზადებასთან ერთდროულად 2016 წელს საქართველოს ადგილობრივ თვითმმართველობათა ეროვნული ასოციაციისა და USAID-ის მიერ გამოქვეყნდა კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის გზამკვლევი [33], რომელშიც მოყვანილია საგულისხმო ინფორმაცია 2015 წლის მდგომარეობით საქართველოში ირიგაციის სისტემების ფაქტიური გამოყენების შესახებ მუნიციპალიტეტების მიხედვით. კერძოდ, მოყვანილი ცნობების თანახმად, მდ. არაგვის ტერიტორიის უმეტეს ნაწილზე საირიგაციო სისტემების ფაქტიური გამოყენების მაჩვენებელი მინიმალურია (0.000-0.026) და იგი საშუალოსთან მიახლოებულ სიდიდეს (0.398) აღწევს მხოლოდ მცხეთის მუნიციპალიტეტის სამხრეთ ნაწილში. აღნიშნული მაჩვენებელი მეტად დაბალია აგრეთვე მდ. იორის აუზში დედოფლისწყაროს ტერიტორიაზე (0.026), სიღნაღის (0.132) და თიანეთის (0.160-0.207) მუნიციპალიტეტების ტერიტორიაზე, თუმცა შედარებით მაღალია საგარეჯოს მუნიციპალიტეტის ტერიტორიაზე (0.269). შედარებისთვის, ხსენებული მაჩვენებელი მაქსიმალურ სიდიდეებს აღწევს კასპის (0.983), გარდაბნისა (0.759) და ბოლნისის (0.671) მუნიციპალიტეტების ტერიტორიაზე. ყოველივე ეს მოწმობს მდინარეების არაგვისა და იორის აუზებში საირიგაციო სისტემების რეაბილიტაციისა და გაფართოების აუცილებლობას.

რაც შეეხება წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სისტემის პერსპექტიულ როლს კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტირების სამუშაოთა განვითარების საქმეში, სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ავტორთა კოლექტივის მიერ 2017 წლისთვის განხილული იქნა აღნიშნული სისტემის სავარაუდო დანერგვის უპირატესობანი ქვეყნის ეკონომიკის პრიორიტეტულ სექტორებში - სოფლის მეურნეობასა და ტურიზმში, აგრეთვე დიდი ქალაქების (თბილისი და რუსთავი) კონგლომერატის განვითარებაში [34] (შემსრ. ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, თ. ცინცაძე, ლ. ქართველიშვილი, ნ. ზოტიკიშვილი). კერძოდ, სოფლის მეურნეობის სექტორში აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონებისთვის ჩატარებულმა საექსპერტო შეფასებებმა აჩვენა, რომ სარწყავად წყლის რესურსების ეფექტურად გამოყენების შემთხვევაში კლიმატის პროგნოზირებული ცვლილებასთან ადაპტაციის პოტენციური საშუალო მაჩვენებლით შეიძლება შეფასდეს მესხეთ-ჯავახეთსა და შიდა ქართლში, მაღალი მაჩვენებლით მცხეთა-თიანეთსა, ქვემო ქართლსა და კახეთში. ეს მიგვითითებს იმაზე, რომ მომავალში სოფლის მეურნეობის პროდუქტიულობა აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონებში უშუალოდ იქნება განპირობებული წყლის რესურსების მომჭირნე და ეფექტური გამოყენებით და ამ რეგიონებში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სისტემის დანერგვა უმნიშვნელოვანეს ამოცანას შეადგენს. წინააღმდეგ შემთხვევაში სოფლის მეურნეობა, განსაკუთრებით გვალვიან წლებში, სულ მუდამ ჩამოსარჩენად იქნება განწირული.

რაც შეეხება ეკონომიკის მეორე პრიორიტეტულ სექტორს - ტურიზმს, მისი სამომავლო განვითარება აღმოსავლეთ საქართველოს მთიან რეგიონებში, საერთაშორისო ტურიზმში ამჟამად დამკვიდრებული სტანდარტების გათვალისწინებით, საერთოდ შეუძლებელი იქნება ტურისტული ობიექტების უხვი და ხარისხიანი წყალმომარაგების გარეშე. ცხადია, რომ ამ ამოცანის გადაჭრის ერთ-ერთ მთავარ რგოლს წარმოადგენს წყლის ინტეგრირებული

მართვის სისტემის დანერგვა, რაც წყალმოსმარების ინფრასტრუქტურის მოწესრიგებასთან ერთად უზრუნველყოფს აღმოსავლეთ საქართველოში აღნიშნული დარგის წარმატებულ განვითარებას კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების პირობებში.

თუ ამას დაემატებოდა წყლის რესურსების გადამწვევტ როლს ურბანული ინფრასტრუქტურის განვითარებაში (საყოფაცხოვრებო, საწარმოო და სანიტარული წყალმოსმარება, მწვანე საფარის უზრუნველყოფა სარწყავი წყლით და სხვ.), ნათელი ხდება აღმოსავლეთ საქართველოს ბუნებრივად ლიმიტირებული წყლის რესურსების პირობებში მათი ინტეგრირებული მენეჯმენტის სისტემის შექმნის აქტუალობა, რომლის პირველ საცდელ პოლიგონად შეიძლება დასახელდეს მდ. იორის აუზი, ხოლო შემდგომში ანალოგიურმა სამუშაოებმა შეიძლება მოიცავს აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში ერთმანეთთან დაკავშირებული 3 წყალსაცავის სისტემა [20] მათ წყალშემკრებზე მოქმედი ტერიტორიულ-ეკონომიკური კომპლექსით.

განხილული საკითხის აქტუალობამ და პროექტ იორი-2-ში მონაწილეობამ ბიძგი მისცა ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის ახალგაზრდა სპეციალისტს, თსუ დოქტორანტს ს. მდივანს წარედგინა 2018 წლის ივნისში შ. რუსთაველის ეროვნულ სამეცნიერო ფონდში განაცხადი პროექტის მსრულებზე „მდინარე არაგვის აუზის წყლის ინტეგრირებული მართვის საფუძვლები“ (ხელმძღვანელი დ. კერესელიძე).

წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრობლემაზე საქართველოში ბოლო პერიოდში ჩატარებული სამუშაოების მოკლე მიმოხილვიდან შესაძლებელია შემდეგი დასკვნების გამოტანა:

1. განხილული შრომების სიიდან შესაძლებელია 5 ნაშრომის გამოყოფა, რომელთაც შეიძლება საეტაპო მნიშვნელობა მიენიჭოს. მათ შორის პირველია გ. სვანიძის, ვ. ცომაიასა და რ. მესხიას 2001 წელს გამოქვეყნებული კონცეპტუალური ნაშრომი [11], რომელშიც წყლის რესურსების კომპლექსური მართვის პრობლემასთან მიმართებაში გაანალიზებულია წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების გზები, ხაზგასმულია ახალი, თანამედროვე წყალდამზოგი სისტემების, ძირითადად წვეთოვანი მორწყვის სისტემების დანერგვის აუცილებლობა, წყალსაცავების ქსელის გაფართოების პერსპექტიულობა და ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოების აღდგენის მიზანშეწონილობა. განსაკუთრებით აქცენტირებულია სპეციალური საცდელი პოლიგონის შექმნის იდეა, რომელიც გამოყენებული იქნება წყლის რესურსების დაზოგვის, დაცვისა და კომპლექსური გამოყენების მეთოდების შესაქმნელად და პრაქტიკაში დასანერგად.

მეორე საეტაპო ნაშრომად შეიძლება ჩაითვალოს 2002 წელს გ. გრიგოლიას, ე. საბაძის და გ. ხმაღაძის მიერ გამოქვეყნებული სტატია [20] სადაც გამოთქმულია აღმოსავლეთ საქართველოს ცენტრალურ ნაწილში არსებული 3 წყალსაცავის კომბინირებული მართვის იდეა წყალმოსმარების პრიორიტეტების გათვალისწინებით. ნაშრომში შემოთავაზებულია ჩამონადენის მოდელირების მეთოდი, რომელიც ჰიდროლოგიურ დაკვირვებათა რიგების თანამედროვე მეთოდებით აღდენის შემდეგ შეიძლება მოყვანილ იქნას ოპერატიული გამოყენების დონემდე.

2. ამავე კატეგორიის მესამე საკვანძო ნაშრომად გვესახება ვ. გელაძის, გ. გელაძის, ნ. ბოლაშვილისა და ნ. მაჭავარიანის მიერ 2008 წელს გამოქვეყნებული სტატია [24], რომელშიც გეოგრაფიული საინფორმაციო სისტემები (გსს) მითითებულია როგორც წყლის რესურსული პოტენციალისა და მენეჯმენტის პრობლემის გადაჭრის ძირითადი საშუალება. ნაშრომში მოყვანილია ობიექტების ვრცელი სია, რომელთა მახასიათებლები საფუძვლად დაედება დასმული ამოცანის თანამედროვე დონეზე გადაჭრას.

3. წყლის რესურსების მართვის საკითხს კახეთის რეგიონში (ძირითადად მდ. ალაზნის აუზში) შეეხება 2011 წელს ნ. მაჭავარიანის, ვ. გელაძის, ნ. ბოლაშვილის, თ. ყარალაშვილისა და ნ. გეთიაშვილის მიერ მომზადებულ საეტაპო ნაშრომი [26], რომელშიც ჩამოყალიბებულია კახეთის რეგიონში წყლის რესურსების მართვის კონცეფცია გსს მონაცემების გამოყენებით.

4. დაბოლოს, მოყვანილი სიიდან მეხუთე საეტაპო ნაშრომად უნდა ჩაითვალოს, 2016 წელს, სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში მდ. იორის აუზისთვის ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების მონიტორინგის ბაზაზე დაგეგმილი წყლის ინტეგრირებული მენეჯმენტის სისტემის დასაბუთება [32], რომელშიც გათვალისწინებულია სტატიაში [11] გამოთქმუ-

ლი შენიშვნა დრუბლებზე ზემოქმედების გზით წყლის რესურსების შევსების პერსპექტი-
ულობის შესახებ.

5. წინამდებარე მიმოხილვის ანალიზიდან ვლინდება 2000-იანი წლების დასაწყისიდან აღმოსავლეთ საქართველოში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მენეჯმენტის იდეის განვითარება ორი მიმართულებით - გსს მონაცემთა გამოყენებით მდ. ალაზნის აუზში და ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების მონიტორინგის ქსელის მონაცემთა გამოყენებით მდ. იორის აუზში. პირველ მიმართულებას ავითარებს თსუ გეოგრაფიის ინსტიტუტი [26], ხოლო მეორეს - სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი [32]. მეორე მიმართულების სამუშაოებში ატმოსფერულ ნალექთა და მდინარეული ჩამონადენის მონიტორინგთან ერთად გათვალისწინებულია მდ. იორის აუზში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის სამუშაოთა წარმოებაც.
6. მდინარის აუზში წყლის რესურსების მართვის ორივე კონცეფციაში დაუმუშავებელი რჩება ეკონომიკის ცალკეულ დარგებს შორის წყლის რესურსების განაწილების მათემატიკური მოდელი, რომელიც უნდა ითვალისწინებდეს კონკრეტული წლის ამინდის ცვლად პირობებში დარგების ეფექტურობას წყლის არსებულ და მოთხოვნად რესურსებს შორის.
7. ცალკე სამომავლო ამოცანას შეადგენს შერჩეული მდინარის აუზის ტერიტორიაზე ნალექთა, ზედაპირული ჩამონადენისა და მიწისქვეშა წყლების, ნიადაგის ზედაპირისა და მცენარეული საფარის შესახებ მონაცემთა შეგროვების, კომპიუტერული დამუშავებისა და ანალიზის ერთიანი სისტემის შექმნა შემდგომში გარემოს მონიტორინგის სისტემაში მისი გაერთიანების პერსპექტივით.
8. ინტეგრირებული მენეჯმენტის სისტემის ამოქმედების შემდეგ არანაკლებ მნიშვნელობას შეიძენს მიღებული პროდუქციის /ინფორმაციის მომხმარებლამდე მიყვანა და შედეგების ადგილზე რეალიზება ჩატარებული სამუშაოების ეფექტურობის შესაფასებლად.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. UNDP, 2005.
2. INBO Newsletter, 2016, N 24.
3. უკლება ნ.ლ. საქართველოს სსრ წყლის რესურსების კომპლექსური გამოყენება სახალხო მეურნეობაში. თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 1977.
4. Tsintsadze T.N. A Mathematical Model of Formation of the River Run-off in the Case of Anthropogenic Influence on Croud Systems. Internat. Conference "Hydrological Processes in the Catchment". Krakow, Poland, 1986, pp 163-169.
5. Сванидзе Г.Г., Бегалишвили Н.А., Цинцадзе Т.Н. О гидрологическом методе оценки эффекта воздействия в рандомизированных экспериментах по увеличению осадков из конвективных облаков. Сообщения АН Груз.ССР, 1985, том 117, №1, с. 69-72.
6. Сванидзе Г.Г., Ватьян М.Р., Капанадзе Н.И. К оценке рандомизированных экспериментов в проекте увеличения осадков "Иори". Матер. Всесоюзного семинара-совещания "Планирование и оценка эффективности работ по искусственному увеличению осадков". Тбилиси, 1986, с. 43-45.
7. სვანიძე გ., ბეგალიშვილი ნ., ბერიტაშვილი ბ. აღმოსავლეთ საქართველოში ნალექთა ხელოვნური გაზრდის პროექტის შედეგები. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის 150 წლისთავისადმი მიძღვნილი შრომათა კრებული. "მეცნიერება", თბილისი, 1997, გვ. 51-58.
8. ჩიკვაიძე გ., შველიძე ო., გელაძე ი. საქართველოში სამელიორაციო სისტემების პროექტირებისა და ექსპლუატაციისათვის საჭირო კომპლექსური წყალბალანსური გამოკვლევები. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 1996, ტომი 100, გვ. 143-147.
9. ჩიკვაიძე გ. წვეთოვანი მორწყვის სისტემა და მისი აღჭურვილობა. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 1998, ტომი 101, გვ. 234-244
10. ჩიკვაიძე გ., შველიძე ო., გელაძე ი., დევდარიანი ნ., არქიელიძე ნ. გვალვიან რაიონებში წვეთოვანი მორწყვის დანერგვა, როგორც წყლის რესურსების რაციონალურად გამოყენების და გვალვასთან ბრძოლის ღონისძიება. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2002, ტომი 107, გვ. 218-222.

11. სვანიძე გ., ცომაია ვ., მესხია რ. საქართველოს წყლის რესურსების მოწვევადობა და ადაპტაციის ღონისძიებები. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2001, ტომი 106, გვ. 11-30.
12. საქართველოს პირველი ეროვნული შეტყობინება გაეროს კლიმატის ჩარჩო კონვენციაზე. თავი 8. კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების მიმართ ადაპტაციის ღონისძიებთა ანალიზი და სტრატეგია. კლიმატის კვლევის ეროვნული ცენტრი. თბილისი, 1999, გვ. 119-124.
13. სვანიძე გ., ჩიკვაძე გ. აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში სარწყავი წყლის დეფიციტის საკითხისთვის. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2001, ტომი 106, გვ. 31-39.
14. გელაძე ი., დევდარიანი ნ., კოპაძე ს., ჩიკვაძე გ., შველიძე ო. ოპტიმიზებული მორწყვის ნორმები ძირითადი კულტურების ზრდა-განვითარების სხვადასხვა პერიოდისათვის აღმოსავლეთ საქართველოს პირობებში. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2001, ტომი 106, გვ. 108-118.
15. მესხია რ. წყლის ბალანსის სტრუქტურა ლანდშაფტის ტიპების მიხედვით. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2001, ტომი 106, გვ. 165-169.
16. მესხია რ. ნიადაგისა და მცენარეული საფარის მიერ ნალექის დაკავების ფენის გაანგარიშება მდინარის ჩამონადენის მოდელირებისათვის. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2007, ტომი 111, გვ. 58-61.
17. ბეგალიშვილი ნ. ცომაია ვ., ბეგალიშვილი ნ. კლიმატის ცვლილების პირობებში მდინარეული ჩამონადენის ცვლილების შეფასება მათემატიკური მოდელის საფუძველზე. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2002, ტომი 107, გვ. 133-138.
18. ბასილაშვილი ც., კარტაშოვა ნ., კობახიძე ნ. მდინარეთა წყლიანობა სავეგეტაციო პერიოდში და მისი პროგნოზირება მთავარი სარწყავი სისტემების მომსახურებისთვის. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2002, ტომი 107, გვ. 139-146.
19. Basilashvili Ts. Impact of climate change on river resources flowing into mountain water reservoir and its forecast (on the example of Zhinvali water reservoir). Proceedings ICAE-2015. Tbilisi State University, 2015, pp. 70-74.
20. გრიგოლია გ. საბაძე ე., ხმაღაძე გ. გვალვის შედეგების შერბილების შესაძლებლობა იორი-არაგვის წყალსამეურნეო კომპლექსური სისტემის გამოყენებით. საქ. მეცნ. აკად. ჰიდრომეტ. ინსტ. შრომები, 2002, ტომი 107, გვ. 200-205.
21. Jones R. Water resources case study: The Murray- Daling Basin in Australia. Adaptation Policy Frameworks for Climate Change. UNDP, 2005, pp. 241-244.
22. Yates D., Purkey D., Sieber Y., Huber – Lee a., Galbraith H. WEAP21 –A demand -, priority,- and preference - driven water planning model. Water International, 2005, vol. 30, N4, pp. 501-512.
23. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. საქ. გარემოს დაცვისა და ბუნ. რეს. სამინისტრო/UNDP. თბილისი, 2009, გვ. 164-166.
24. ვ. გელაძე, გ. გელაძე ნ. ბოლაშვილი, ნ.. მაჭავარიანი. საქართველოს მტკნარი წყლის რესურსული პოტენციალი და მენეჯმენტი. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2008, ტომი 115, გვ. 41-45.
25. Водные ресурсы Закавказья (под ред. Г.Г. Сванидзе и В.Ш. Цома), гл. 6-Водообеспеченность и использование водных ресурсов. Гидрометеиздат, Ленинград, 1988, стр. 255-258.
26. მაჭავარიანი ნ., გელაძე ვ., ბოლაშვილი ნ., ყარაღაშვილი თ., გეთიაშვილი ნ. კახეთის წყლის რესურსების რაციონალური გამოყენების პრობლემები კლიმატის მოსალოდნელი ცვლილების ფონზე. თსუ გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, 2011, ახალი სერია, 3 (82), თბილისი, გვ. 247-250.
27. Geladze V., Bolashvili N., Karalashvili T., Machavariani N. , Chikhradze N., Kartvelishvili D. Proceedings ICAE 2015. Tbilisi State University, 2015, pp. 79-82.
28. გრიგოლია გ., ალავერდაშვილი მ., ტრაპაძე ვ., ბრეგვაძე გ., კიკნაძე დ., ხუფენია ნ., კოკაია ნ., კლიმატის ცვლილების ფონზე მდინარის ჩამონადენის და ნალექების ერთობლივი სტატისტიკური ანალიზი. ჰიდრომეტ. ინსტიტუტის შრომები, 2008, ტომი 115, გვ. 105-111.

29. Beritashvili B., Shvangiradze M., Kapanadze N., Tsintsadze N. Adaptation to climate change in Georgia. Proceedings ICAE-2015. Tbilisi State University, 2015, pp. 67-69.
30. კლიმატის ცვლილება და კახეთის სოფლის მეურნეობა. სტრატეგიული სამოქმედო გეგმა UNDP-Georgia, 2014, გვ. 190.
31. Степанян В.Э., Галстян М.А. Интегрированное управление водными ресурсами Армении.
32. გეოგრაფიისა და ანთროპოლოგიის თანამედროვე პრობლემები. აკად. აღ. ჯავახიშვილის 140-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო კონფერ. მასალები. თსუ, თბილისი, 2015, გვ. 237-239
33. თ. ცინცაძე, ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, მდინარე იორის აუზში წყლის ინტეგრირებული მენეჯმენტის სისტემის შექმნის დასაბუთება. ნაწილი I. ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების მონიტორინგის სისტემა. ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდა. სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი. თბილისი, 2016, (პროექტი „იორი-2“)
34. კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის გზამკვლევი. სოფლის მეურნეობის მგრძობიარობა კლიმატის ცვლილების მიმართ. ირიგაციის სისტემის ფაქტიური გამოყენების მაჩვენებლები მუნიციპალიტეტების მიხედვით 2015 წლისთვის. NALAG/USAID, 2016, გვ. 113.
35. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, თ. ცინცაძე, ლ. ქართველიშვილი, ნ. ზოტიკიშვილი. კლიმატის ცვლილებასთან ადაპტაციის პოტენციალის დადგენა საქართველოს ეკონომიკის პრიორიტეტული სექტორებისათვის. დასკვნითი ანგარიში (2015-2017). შემსრულებლები ბ სტუ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, თბილისი 2017.

საქართველოში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის პრობლემაზე 1980-იანი წლებიდან წარმოებულ სამუშაოთა მოკლე მიმოხილვა. /თ. ცინცაძე, ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, ს. მდივანი/. სტუ-ის კმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.27-38 ქართ.; რუს.; ქართ., ინგლ., რუს.

მიმოხილულია ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში წყლის რესურსების შევსებისა და მართვის პრობლემაზე 1970-იანი წლების მეორე ნახევრიდან წარმოებულ სამუშაოები. პირველ ეტაპზე ეს სამუშაოები მოიცავდა მდ. იორის აუზის ზემოწელში კონვექციური ღრუბლებიდან ნაღვეთა ხელოვნური გაზრდის ექსპერიმენტებს. 1979-1990 წწ. პერიოდში ჩატარებული 970 ექსპერიმენტის შედეგად მიღებულ იქნა 1000კმ² ფართობის აუზის ტერიტორიაზე წყლის პოტენციური რესურსების 7-12%-ით გაზრდის შესაძლებლობა სანდო ალბათობის დონეზე 0.90. სამუშაოთა მეორე ეტაპი დაიწყო 1995 წელს სამელიოორაციო სისტემების პროექტირებისა და ექსპლუატაციისათვის საჭირო წყალბალანსური გამოკვლევების პროგრამის შედგენით. მის შესასრულებლად ინსტიტუტში სხვა სამუშაოებთან ერთად გაანალიზდა საქართველოს წყლის რესურსების გამოყენების, მოწყვლადობისა და 2075 წლამდე პროგნოზირების საკითხები, შეფასდა აღმოსავლეთ საქართველოს მდინარეთა აუზებში სარწყავი წყლის დეფიციტი და შემუშავდა ოპტიმალური მორწყვის ნორმები ძირითადი კულტურების ზრდა-განვითარების სხვადასხვა პერიოდისათვის. დამუშავდა აღმოსავლეთ საქართველოს მთავარი მდინარეების წყლიანობის პროგნოზირების სხვადასხვა მეთოდები. განხილულია აგრეთვე თსუ გეოგრაფიის ინსტიტუტის მიერ შესრულებული რამდენიმე ნაშრომი, რომლებიც შეეხება გეოსაინფორმაციო ტექნოლოგიების მონაცემთა გამოყენებით მდ.ალაზნის აუზში წყალ-სამეურნეო მართვის ავტომატიზებული სისტემების დანერგვის საკითხს. ცალკეა გამოყოფილი ჰიდრომეტეოროლოგიის მიერ მდ. იორის აუზის წყლის რესურსების ინტეგრირებული მენეჯმენტის სისტემის შექმნის პრობლემა, რომელშიც შედის ინსტიტუტის სამუშაოთა პირველ ეტაპზე მიღებული შედეგების გამოყენება.

Overview of activities carried out since 1980es in Georgia on the problem of integrated management of water resources. /T. Tsintsadze, B. Beritashvili, N. Kapanadze, S. Mdivani/. Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.27-38. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

Activities undertaken by the Institute of Hydrometeorology since the end 1970es on the problem of refilling and management of water resources are reviewed. At the first stage these works comprised precipitation enhancement experiments from the convective clouds in the upper part of R. Iori basin. Resulting from 970 tests carried out during the 1979-1990 period, the possibility of increasing potential water resources by 7-12% at the confidence probability level 0.90 has been established. The second stage started in 1995 with working out

of program on water balance research. For its implementation, among other topics, the use, vulnerability and projection up the 2075 of Georgia's water resources were analyzed, deficiency of irrigation water in the catchments of rivers in East Georgia was assessed and optimal irrigation norms for main crops were determined. Different methods for the prediction of water content in the rivers of East Georgia were worked out. Some works performed by the TSU Institute of Geography are also discussed concerning the use of GIS for the integrated management of water resources in the basin of R. Alazani. Separately is reviewed the problem of creation of integrated water management system in the catchment of R. Iori which includes the application of results obtained by the Institute of Hydrometeorology at the initial stage of activities in this field.

Обзор работ, выполненных в Грузии с 1980-х годов в области проблемы интегрированного управления водными ресурсами/Цинцадзе Т.Н., Бериташвили Б.Ш., Капанадзе Н.И., Мдивани С.Г./
Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.27-38. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Дан обзор работ, выполненных с конца 1970-х годов в Институте гидрометеорологии по проблеме пополнения и управления водных ресурсов. На первом этапе эти работы включали эксперименты по искусственному увеличению осадков из конвективных облаков в верхней части бассейна р.Иори. В результате проведения 970 экспериментов за период 1979-1990 гг. была установлена возможность увеличения потенциальных водных ресурсов на 7-12% при уровне доверительной вероятности 0.90. Второй этап был начат в 1995 году составлением программы воднобалансовых исследований. Для ее выполнения наряду с другими работами, были проанализированы вопросы использования, уязвимости и прогнозирования водных ресурсов Грузии до 2075 года, был оценен дефицит поливной воды в бассейнах рек Восточной Грузии и определены оптимальные нормы полива для основных сельскохозяйственных культур. Были разработаны различные методы прогнозирования водности главных рек Восточной Грузии. Рассмотрены также несколько Трудов Института географии ТГУ, касающихся вопроса внедрения автоматизированных систем водохозяйственного управления в бассейне р.Алазани с использованием данных ГИС. Отдельно выделена проблема создания в бассейне р.Иори интегрированной системы менеджмента водных ресурсов, в которую входит использование результатов работ, выполненных в Институте гидрометеорологии на первом этапе разработки этой

УДК 551.521.3

**СЕЛЕКТИВНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ МОРСКОЙ
БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ В СПЕКТРАЛЬНОМ ДИАПАЗОНЕ 0.52-0.80 МКМ**

Таварткиладзе К.А.*., Болашвили Н.Р.*., Бегалишвили Н.А..**

**Институт Географии Вахушти Багратиони Тбилисского Государственного Университета
им.Ив.Джавахишвили***

Институт Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета.
зоны в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм**

Знание оптических свойств аэрозолей имеет важное значение для функционирования космического мониторинга атмосферных процессов. Переносимый информацию электромагнитный сигнал при распространении в полидисперсной атмосфере подвергается значительной деформации при взаимодействии с атмосферными аэрозолями.

Электромагнитное излучение частично рассеивается на атмосферных аэрозолях и закономерность этого рассеяния в основном установлена [1,2]. Однако, еще в середине прошлого века было известно [3-9], что в спектральном диапазоне солнечного излучения существуют области селективного поглощения аэрозолей. Предусмотреть их задача чрезвычайно трудная, так как для этого необходимо знать состав аэрозолей, но установить именно состав на какой-либо территории в произвольное время представляет собой сложнейшую задачу. Приблизительное решение упомянутых проблем сравнительно легко возможно для тех территорий, где существуют постоянные источники одних и тех же аэрозолей. Такими территориями можно считать прибрежную полосу океанов и морей, где систематически должен существовать смешанный состав морских и континентальных аэрозолей.

Целью этой работы представляет в прибрежной зоне экспериментальное определение функции поглощения смешанных (морского и континентального происхождения) атмосферных аэрозолей, в спектральном диапазоне 0.52 – 0.80 мкм.

Комплексный эксперимент в течение многих лет проводился на востоке Черного моря, непосредственно в морской береговой зоне, где достаточно развито крупное промышленное производство и недостатка в антропогенных аэрозолях не наблюдается, а также в непосредственной близости от него в высокогорной зоне (более чем 2000м над уровнем моря), где аэрозоли должны быть в основном естественного (фонового) происхождения.

Изучение эти двух типов аэрозолей, на начальном этапе исследования, происходило отдельно и в дальнейшем им условно присвоены названия: антропогенные и фоновые аэрозоли.

Информация в случае чистого неба, была получена более, чем в 2500 комплексных экспериментах, с использованием аппаратуры, которая измеряла спектральный состав прямой солнечной радиации, достигающей подстилающую поверхность. Эта информация приведена в работе [10].

Вместе со спектральным составом прямой солнечной радиации синхронно измерялись вертикальное распределение водяного пара в атмосфере и общее количество озона.

По величине лучистой энергии солнца, в каждом спектральном участке, определялась величина ослабления энергии в вертикальном направлении всей атмосферы и, учитывая молекулярное рассеяние, поглощение водяной парой и озоном, определялась оптическая плотность («толща») атмосферной аэрозоли [11].

Посредством интерференционных светофильтров осуществлялось выделение спектральных участков из полной лучистой энергии солнца. Интенсивность спектральной энергии измерялась в приблизительно равноудаленных 28 спектральных участках от 0.341 до 1.067 мкм. Полуширина функций пропускания светофильтров колебались в пределах 0.008-0.029 мкм [10].

Почти во всех экспериментах наблюдались участки слабого селективного поглощения в диапазоне 0.5 – 0.8 мкм.

На рис.1 представлены нормированные функции распределения оптических плотностей аэрозоля для всех экспериментов в указанном диапазоне. Коэффициент нормирования для каждой длины волны представляет собой среднее арифметическое плотностей во всех проведенных экспериментах (на рисунке, на вертикальной оси отложено число случаев).

Отметим, что различия абсолютных значений оптических плотностей для антропогенных (а) и фоновых (б) аэрозолей для всех рассмотренных длин волн приблизительно одинаковы. В частности, в один и тот же период оптические плотности фоновых аэрозолей на 20-30% меньше, чем оптические

плотности антропогенных аэрозолей для соответствующих длин волн. Различны диапазоны их изменений, они для фоновых аэрозолей гораздо больше чем для антропогенных.

Как известно, накопление аэрозолей, особенно в приземном слое, во второй половине дня должно быть значительным. Интенсивность поглощения в это время вероятно будет более заметной. Вместе с этим, определенный интерес представляет процесс накопления антропогенных и естественных аэрозолей в атмосфере в течении дня. Поэтому множество экспериментальных данных было сгруппировано по часам.

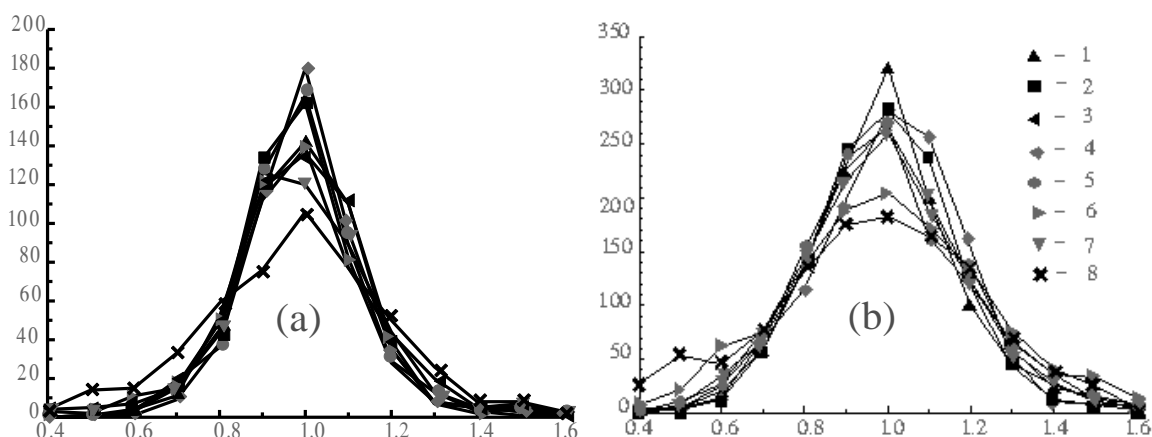


Рис.1 Распределение нормированных оптических плотностей антропогенных (а) и фоновых(б) аэрозолей для следующих участков длин волн с центрами: 1 – 0.520 мкм; 2 – 0.547 мкм; 3 – 0.613 мкм; 4 – 0.636 мкм; 5 – 0.672 мкм; 6 – 0.702 мкм; 7 – 0.739 мкм; 8 – 0.800 мкм.

Изменение оптических плотностей аэрозолей в течении дня для рассмотренных восьми участков длин волн для антропогенных и фоновых аэрозолей дано на рис.2 (на горизонтальных осях отложены часы). Как видно из рис.2, процесс накопления аэрозолей в атмосфере в течении дня четко выражен только для фоновых аэрозолей. Для антропогенных аэрозолей он менее заметен.

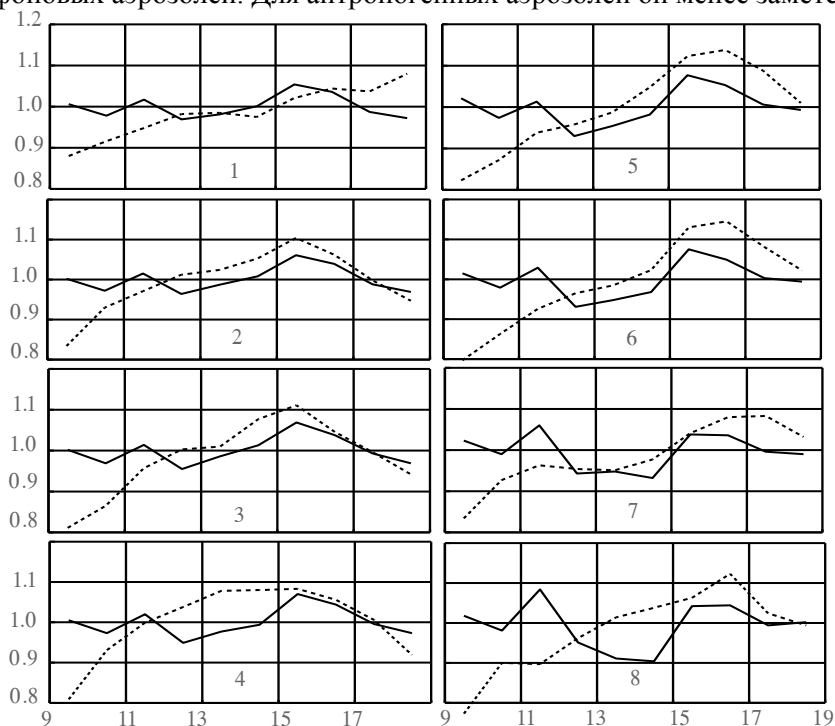


Рис.2. Изменение в течении дня нормированных спектральных оптических плотностей - для антропогенных(непрерывная кривая) и для фоновых (прерывистая кривая) аэрозолей. Числа определяют участки волн (см. Рис.1).

Для количественных оценок процесса ослабления влияния прямой солнечной радиации на атмосферные аэрозоли, часто применяют т.н. эмпирическую формулу Ангстрема, которая имеет следующий вид:

$$\tau_\alpha = \alpha \lambda^{-n}, \quad (1)$$

где τ_α – оптическая плотность аэрозолей, λ – длина волны в мкм, α и n – эмпирические коэффициенты.

Разумеется, формула (1) не предусматривает селективное поглощение, она выражает монотонное уменьшение оптической плотности с увеличением длины волны. Поэтому она определяет только процесс уменьшения лучистой энергии, вызванное рассеянием на аэрозолях. Так как этот процесс происходит с одинаковой закономерностью на всех участках длины волны, то корреляционная связь оптических плотностей аэрозолей для разных длин волн должна быть достаточно высокой.

Если на каком-либо участке рассматриваемого диапазона длины волны имеет место селективное поглощение, тогда корреляционная связь этого участка с остальными участками снизится. Величина понижения должна зависеть от интенсивности поглощения. Таким образом, корреляционная функция, определяющая связь оптических плотностей аэрозолей в определенном диапазоне длин волн, может дать информацию о поглощении аэрозолями лучистой энергии. Как уже было отмечено, в экспериментальных данных наблюдался процесс поглощения аэрозолями в диапазоне 0.52-0.80 мкм. На рис.3 показано изменение коэффициента корреляции ($r_{\tau\tau}$) относительно длины волны при отсутствии поглощения (а) и при наличии поглощения (б).

Графики на рисунке построены по данным одного максимально загрязненного дня приблизительно к 16 часам. В отсутствие поглощения (рис.4а) значения коэффициентов корреляции вычислены с помощью формулы (1), где α и n эмпирические значения коэффициентов определены на основе фактических данных только для длин волн 0.52 и 0.80 мкм. Для случая же поглощения (рис.4б) использованы фактические оптические плотности аэрозолей для 8 выделенных участков.

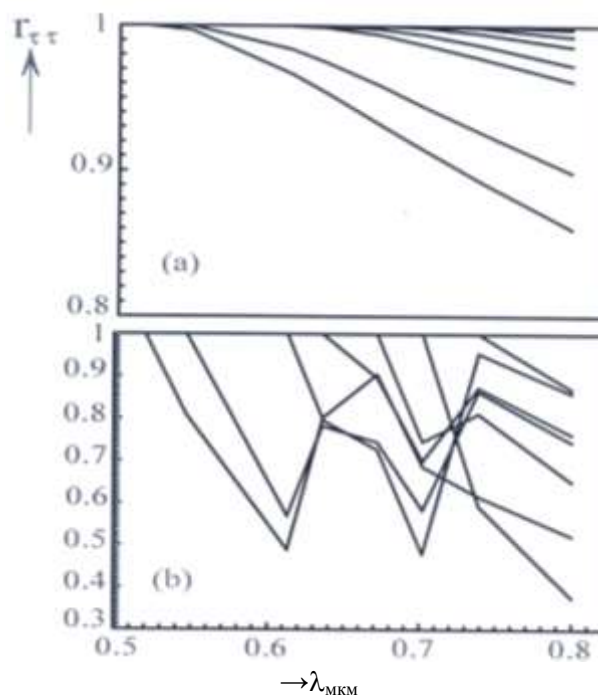


Рис.3 Изменение корреляционной функции оптической плотности аэрозолей относительно длины волны при отсутствии поглощения (а) и при наличии поглощения (б).

Для количественной оценки функции интенсивности поглощения аэрозолей, на основе данных всех проведенных экспериментов, был применен принцип сравнения графиков, представленный на рис.4. Так как значения оптических плотностей аэрозолей значительно изменялись в течении дня, то данные были сгруппированы следующим образом – в течении дня с 9 до 19 часов множество антропогенных и фоновых аэрозолей разделили на подмножества для каждого часа.

На рис. 4а и 4б даны изменения корреляционных функций оптических плотностей аэрозолей по длинам волн для антропогенных и естественных (фоновых) аэрозолей по часам в течении дня (с 9 до 19 часов)

Представленные графики дают ясную картину изменения в течении дня интенсивности поглощения аэрозолей в спектральном диапазоне 0.52 – 0.80 мкм. Следует отметить, что указанные изменения интенсивности поглощения аэрозолей в течении дня хорошо согласуются с изменением оптической плотности при длине волны 0.80 мкм. Это дает возможность связать интенсивность поглощения аэрозолей, с оптической плотности аэрозоля при длине волн 0.80 мкм, где поглощения аэрозолей не происходит.

Для подмножеств, сгруппированных по часам, как для антропогенных, так и для фоновых аэрозолей, были рассчитаны эмпирические коэффициенты α и n . Полученные результаты представлены в таблице 1

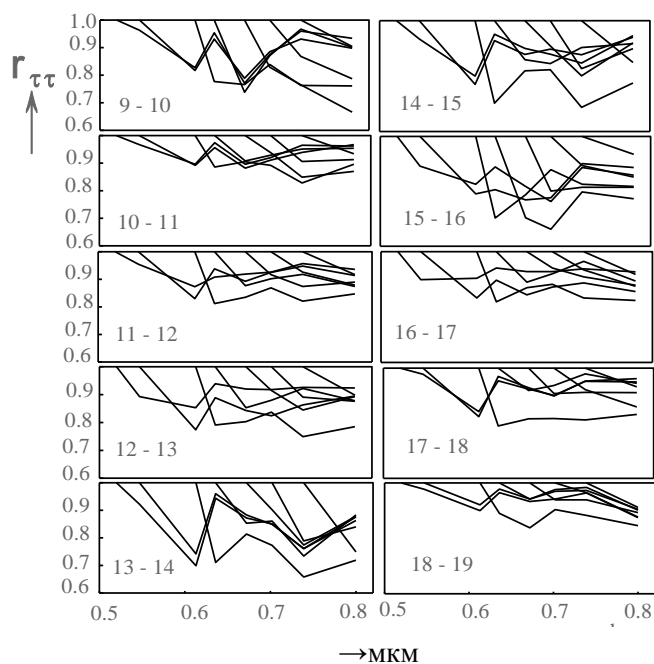


Рис.4а.

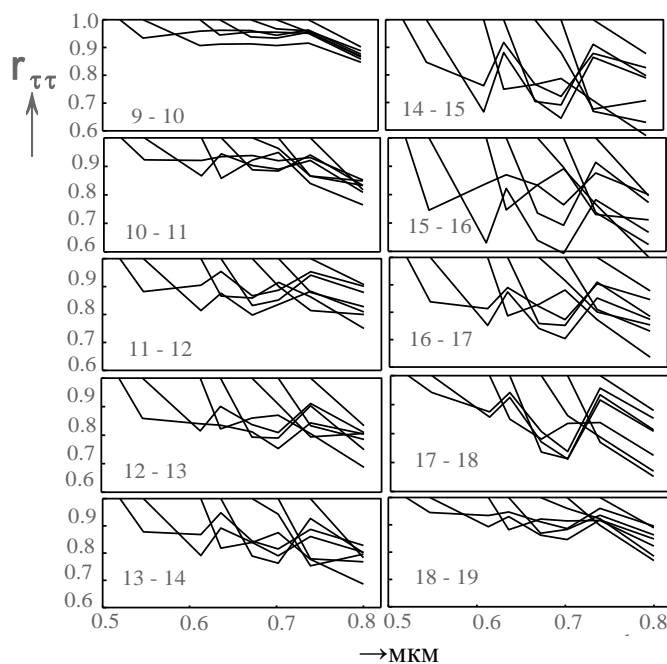


Рис.4б.

Изменения коэффициентов корреляции ($r_{\tau\tau}$) в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм, для антропогенных аэрозолей в течении дня (9-10,10-11,.....,18-19 часов)

Таблица 1.Изменения параметров α и n в течении дня для фоновых и антропогенных аэрозолей с учетом поглощения и при его отсутствии

Часы	Естественные (фоновые) аэрозоли				Антропогенные аэрозоли			
	Поглощение учтено		Без поглощения		Поглощение учтено		Без поглощения	
	α	n	α	n	α	n	α	n
9 - 10	0.186	1.70	0.157	1.24	0.099	1.28	0.118	1.14
10 - 11	0.164	1.27	0.140	1.39	0.117	1.15	0.135	1.08
11 - 12	0.174	1.21	0.157	1.25	0.104	1.27	0.126	1.18
12 - 13	0.147	1.44	0.127	1.48	0.107	1.32	0.125	1.30
13 - 14	0.163	1.31	0.134	1.37	0.111	1.23	0.128	1.26
14 - 15	0.163	1.34	0.127	1.45	0.113	1.19	0.130	1.15
15 - 16	0.163	1.24	0.131	1.36	0.115	1.14	0.139	1.13
16 - 17	0.183	1.20	0.154	1.28	0.123	1.03	0.147	0.98
17 - 18	0.184	1.14	0.156	1.26	0.120	1.12	0.143	1.00
18 - 19	0.195	1.15	0.177	1.21	0.112	1.12	0.130	1.00

Эмпирические коэффициенты вычислены как при наличии поглощения, так и в отсутствии такового. При вычислении коэффициентов с учетом поглощения, были выбраны восемь участков в

спектральный диапазоне (0.52 – 0.80 мкм), в которых проводились измерения. Вычисления выполнены методом наименьших квадратов [12]. При отсутствии поглощения для вычислений взяты только границы рассматриваемого диапазона, где поглощение незначительно, т.е. участки с центрами 0.52 и 0.80 мкм.

Данные в Таблице 1 разницы между значениями оптических плотностей аэрозолей в отсутствии поглощения, вычисленных с помощью α и n , и фактическими значениями оптических плотностей в соответствующем спектральном участке определяет интенсивность поглощения аэрозолей, характеризующую данный участок. Результаты оценок этой разницы в рассматриваемом спектральном диапазоне для всех подмножеств, для антропогенных и фоновых аэрозолей, представлены на рис.5. Таким образом, полученные значения определяют функцию поглощения аэрозолей в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм..

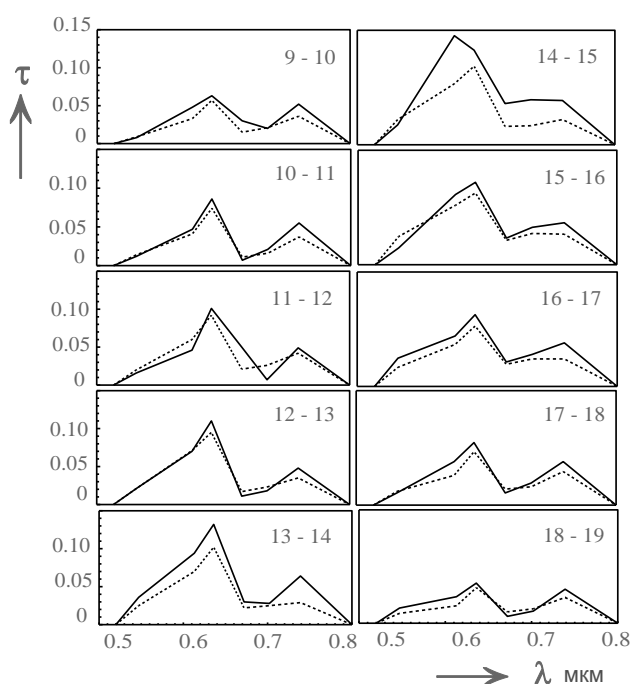


Рис.5. Функция селективного поглощения атмосферных аэрозолей- антропогенных (непрерывная кривая) и фоновых (прерывистая кривая) - в диапазоне длин волн 0.52-0.80 мкм и ее изменения в течении дня.

Как это очевидно из данных рис.5, разница между функциями поглощения для антропогенных и фоновых аэрозолей небольшая. В основном в случае антропогенных аэрозолей поглощение происходит чуть более интенсивно, чем для фоновых. Это подтверждает также рис.6, на котором объединены все экспериментальные данные и для каждого спектрального участка отмечены величины среднеквадратичного отклонения.

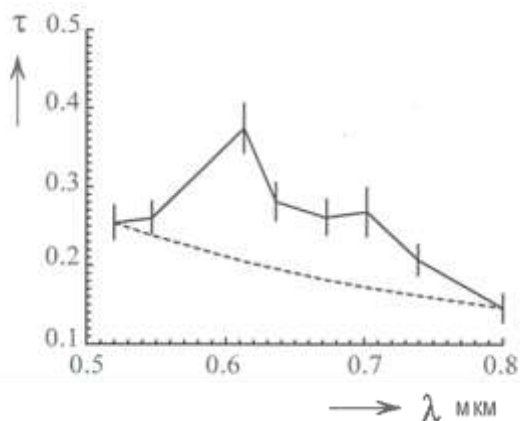


Рис.6. Объединенная функция поглощения для антропогенных и фоновых аэрозолей в спектральном диапазоне 0.52 – 0.80 мкм по данным всех экспериментов и ее аппроксимация (прерывистая кривая) по формуле (1) (начальная длина волны $\lambda=0.52$ мкм, конечная- $\lambda= 0.80$ мкм).

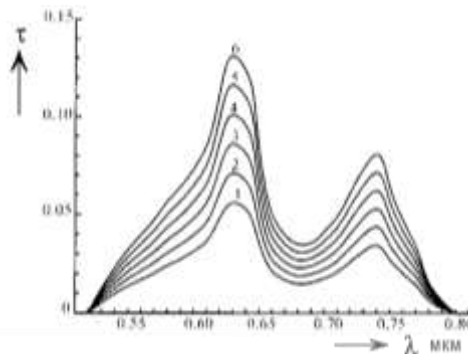
Короткие вертикальные отрезки на рис.6 определяют величины среднеквадратичного отклонения. Они показывают, что разница для антропогенных и фоновых аэрозолей меньше величины погрешности. Поэтому было принято решение объединить значения данных для антропогенных и фоновых аэрозолей.

Объединенное множество оптических плотностей для антропогенных и фоновых аэрозолей, в спектральном участке с центром в 0.80мкм было разделено на 6 групп с центрами 0.05, 0.10, 0.15, . . . , 0.30 мкм с шагом 0.05 мкм. В каждой группе шириной 0.05мкм определили средние значения оптических плотностей, и во взятых восьми спектральных участках произвели их интерполяцию шагом 0.01 мкм по всем длинам волн в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм. Полученные таким образом значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 Значения оптических плотностей атмосферных аэрозолей, определяющее селективное поглощение и диапазоне 0.52-0.80 мкм, в морской прибрежной зоне

λ мкм	$\tau_{0,8}$					
	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
0.52	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.53	0.005	0.006	0.008	0.009	0.010	0.012
0.54	0.009	0.012	0.015	0.017	0.020	0.022
0.55	0.013	0.017	0.021	0.024	0.028	0.032
0.56	0.016	0.021	0.026	0.030	0.035	0.039
0.57	0.020	0.025	0.031	0.036	0.041	0.047
0.58	0.024	0.030	0.037	0.043	0.049	0.026
0.59	0.027	0.034	0.042	0.049	0.056	0.064
0.60	0.031	0.039	0.048	0.056	0.064	0.073
0.61	0.036	0.046	0.056	0.065	0.075	0.085
0.62	0.048	0.061	0.074	0.086	0.099	0.012
0.63	0.056	0.071	0.086	0.101	0.116	0.130
0.64	0.052	0.066	0.081	0.085	0.109	0.123
0.65	0.035	0.045	0.055	0.064	0.074	0.083
0.66	0.021	0.027	0.033	0.038	0.044	0.050
0.67	0.016	0.021	0.026	0.030	0.035	0.039
0.68	0.015	0.019	0.023	0.027	0.031	0.035
0.69	0.015	0.019	0.024	0.027	0.031	0.035
0.70	0.017	0.022	0.027	0.031	0.036	0.041
0.71	0.020	0.026	0.032	0.037	0.043	0.048
0.72	0.026	0.033	0.040	0.047	0.054	0.060
0.73	0.031	0.039	0.048	0.056	0.064	0.073
0.74	0.034	0.043	0.023	0.052	0.071	0.080
0.75	0.027	0.034	0.042	0.049	0.056	0.064
0.76	0.020	0.025	0.031	0.036	0.041	0.047
0.77	0.014	0.018	0.022	0.025	0.029	0.033
0.78	0.006	0.008	0.010	0.011	0.013	0.015
0.79	0.002	0.003	0.004	0.004	0.005	0.006
0.80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

В соответствии с данными Таблицы 2 на рис.7, графически представлено изменение оптической плотности аэрозолей с длиной волны λ , вызванное поглощением излучения смешанными аэрозолями (континентальными и морского происхождения) в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм.



რის.7. Функция поглощения оптической плотности аэрозолей в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм, когда оптическая плотность рассеяния при $\lambda=0.8$ мкм равна : 0.05 (1); 0.10 (2); 0.15 (3); 0.20 (4); 0.25 (5) и 0.30 (6).

Таким образом, в морской береговой зоне величина уменьшения лучистой энергии солнца в спектральном диапазоне 0.52-0.80 мкм, может быть определена с помощью Таблицы 2 или графическим представлением на рис.7. Для этого должно быть известно значение оптической плотности аэрозолей, соответствующее длине волны $\lambda=0.8$ мкм.

ლიტერატურა – REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. Шифрин К.С. Рассеяние света в мутной среде. М., Гостехиздат, 1951, с. 288.
2. Ван де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами, М., Изд-во Иностран. Лит., 1961, (536).
3. Кастров В.Г. Исследование поглощения солнечной радиации в свободной атмосфере до 3 – 5 км, Труды ЦАО, 1952, вып. 8 (3-26).
4. Лившиц Г.Ш. Определение аэрозольного поглощения в ультрафиолетовой области спектра на основе двухслойной атмосферы, Изв.АН СССР, ФАО, 1979, 15, 9 (990-993).
5. Розенберг Г.В., Любовцева Ю.С., Горчаков Г.И. Фоновый аэрозоль Абастумани, Изв. АН СССР, 1982, 18, 8 (822-839).
6. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферный аэрозоль, Л., Гидрометеиздат 1983, (224).
7. Pritchard B.S., Elliott W.G. Two instruments for atmospherical optical measurements, J. Opt. Soc. America, 1960, 50, 3 (191-198).
8. Chin-I Lin, Bacher M., Charison R.I. Absorption coefficient of atmospheric aerosol; method for measurement, Appl.Opt., 1973, 12, 6 (1356-1363).
9. Park J.H., London T. Ozone photochemistry and radiative heating of the middle atmosphere. J. Atmos. Sci., 1974, 10 (1898-1916).
- 10.Таварткиладзе К.А. Моделирование аэрозольного ослабления радиации и методы контроля загрязнения атмосферы. Мецниереба, Тбилиси, 1989, (203).
- 11.Физическая оптика. Термины, буквенные обозначения и определения основных величин ГОСТ 7601-78, М., Изд-во стандартов 1979, (27).
- 12.Мазмишвили А.И. Способ наименьших квадратов. М., Изд-во Недра 1968, (440).

ზღვის სანაპირო ზონაში ატმოსფერული აეროზოლების სელექტიური შთანთქმა 0.52-0.80 მკმ სპექტრულ დიაპაზონში. /თავართქილაძე კ., ბოლაშვილი ნ., ბეგალიშვილი ნ./სტუ-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.39-46 რუს.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

შესწავლილია ზღვის სანაპირო ზონაში კონტინენტური და ზღვისმიერი წარმოშობის ატმოსფერული აეროზოლების ოპტიკური თვისებები, კერძოდ სპექტრულ დიაპაზონში 0.52-0.80 მკმ აეროზოლების შთანთქმის ფუნქცია. საფუძვლად უდევს წლების მანძილზე კომპლექსური ექსპერიმენტების დროს, აღნიშნული სპექტრული დიაპაზონის შიგნით 8 უბანზე, ინტერფერენციული შუქფილტრების გამოყენებით მიღებული მზის პირდაპირი რადიაციის მნიშვნელობები (2500-ზე მეტი შემთხვევა). პარალელურად იზომებოდა ატმოსფეროში წყლის ორთქლის ვერტიკალური განაწილება და ოზონის შემცველობა. აღნიშნული დიაპაზონის საწყის და ბოლო უბნებზე (სადაც შთანთქმას ადგილი არ ქონდა) მიღებული აეროზოლების ოპტიკური სიმკვრივეებიდან განისაზღვრებოდა ანგსტრემის ფორმულის ემპირიული კოეფიციენტები და

ისინი საშუალებას იძლეოდნენ დიაპაზონის შიგნით რვა უბანზე დაგვედგინა აეროზოლების შთანთქმის ფუნქცია.

Selective Absorption of the Atmospheric Aerosols of Sea Coast Zone in 0.52-0.80 Microns Spectral Range. /Tavartkiladze K., Bolashvili N., Begalishvili N./Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.39-46. - Rus.; Summ: Georg., Eng., Rus.

The optical properties of mixed (continental and marine origin) atmospheric aerosols in the coastal zone have been studied, in particular, absorbing function the aerosols in 0.52 - 0.80 micrometer spectral range. Over the years, more than 2,500 complex expeditions were carried out, during which in 28 spectral regions the spectral composition of direct solar radiation with the help of optical filters in a 0.341 to 1067 micrometer spectral range were measured. At the same time, the vertical distribution of water vapor in the atmosphere and the total amount of ozone were also measured.

The empirical coefficients of the Angstrom formula were determined from the optical density at the beginning and at the end of the spectral range (where no absorption was observed), and they made it possible to determine the aerosol absorption function at 8 points of this range.

Селективное поглощение атмосферных аэрозолей морской береговой зоны в спектральном диапазоне 0.52-0.80 МКМ./ Таварткиладзе К.А., Болашвили Н.Р., Бегалишвили Н.А./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.39-46. - Рус.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Изучены оптические свойства смешанных (континентальных и морского происхождения) аэрозолей в морской береговой зоне, в частности, функция поглощения аэрозолей в спектральном диапазоне 0.52 – 0.80 мкм. На основе данных более 2500 комплексных экспедиций, проведенных в течении многих лет, с помощью интерференционных светофильтров измерялся спектральный состав прямой солнечной радиации в 28 спектральных областях в спектральном диапазоне 0.341-1.067 мкм. Параллельно измерялись вертикальное распределение в атмосфере водяного пара и общее количество озона. Из оптической плотности в начале и в конце спектрального диапазона (где поглощение не наблюдается) определялись эмпирические коэффициенты формулы Ангстрема и они давали возможность определить функцию аэрозольного поглощения на 8 точках указанного диапазона

უაკ 551. 481.1

საქართველოს ტბების კატალოგის ზოგადი მიმოხილვა

ს. გორგიჯანიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი.

ბუნებრივ წყალსატევს, რომელიც წარმოადგენს ხმელეთის ზედაპირზე სხვადასხვა ფორმისა და სიდიდის წყლით სავსე ქვაბულს, ტბა ეწოდება. ტბები არსებობს გამდინარე და გაუდინარე. გამდინარე ტბებია, რომლებიდანაც ზედაპირული წყლები მდინარეების სახით გამოედინება, გაუდინარი კი ზედაპირული წყლების გადინებას მოკლებულია. დედამიწაზე უამრავი ტბაა, მათი ფართობი 2.7 მლნ კმ აღწევს, რაც ხმელეთის ფართობის 1.8 %-ს შეადგენს. ტბების წარმოშობისათვის მთავარია რელიეფი, ტბის ქვაბული და წყლის დადებითი ბალანსის არსებობა. მსოფლიოში ტბები არათანაბრადაა განაწილებული. ტბებით უმდიდრეს მხარეს წარმოადგენს ფინეთი.

ტბების ქვაბულები ენდოგენური და ეგზოგენური პროცესების შედეგად წარმოიშობა. გენეზისის მიხედვით გვაქვს: ტექტონიკური, ვულკანური, მყინვარული, ნამდინარევი, ლაგუნური, კარსტული და სხვ. ტბები. მათი ნაირგვარობა გამიხატება როგორც ზომებში, ასევე ფორმებსა და რეჟიმში. ფართობით ყველაზე დიდი ტბაა კასპიის ტბა (ზღვა-ტბა) - 371 ათასი კმ, რომლის სიღრმე - 980 მ-ს აღწევს. ფართობით მეორე, ხოლო მტკნარ ტბებს შორის პირველი არის ზემო ტბა (84.2 ათასი კმ) - ჩრდილოეთ ამერიკაში, შემდეგ მოდის ვიქტორია (69.5 ათასი კმ) - აფრიკაში, პურონი - ჩრდილოეთ ამერიკაში, ტიტიკაკა სამხრეთ ამერიკაში, ლადოგის, ონეგის, ჟენევის ტბები ევროპაში და სხვ. მსოფლიოში უღრმესი ტბა ბაიკალია, რომლის სიღრმე 1620 მ-ს აღემატება. მას 336 მდინარე და ნაკადული ერთვის, რომელთა შორის უდიდესია მდ. სელენგა. ხოლო ტბიდან გამოედინება ერთი მდინარე - ანგარა. სიღრმით მეორე ტბაა ტანგანიკა (1435 მ) აფრიკაში, აზიაში ყველაზე გრძელი ტბა ბალხაშის ტბაა, მისი წყალი დასავლეთ ნაწილში მტკნარია, აღმოსავლეთში კი - მლაშე.

ტბების სიმრავლით გამოირჩევა საქართველოც. მნიშვნელოვანი ტბებია: ფარავანი, პალიასტომი, კარწახი, ტაბაწყური, ხანჩალი, რიწა, ყელი და სხვ.

ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი ფაქტორია ტბების დაყოფა წარმოშობის მიხედვით, რაც განაპირობებს მათი საშიშროების მოსალოდნელ რისკებს, განსაზღვრავს მათ დანიშნულებას, ეკოლოგიურ თავისებურებებს და მნიშვნელობას გეოგრაფიული ლანდშაფტისათვის. ბოლო მონაცემებით საქართველოში 859 ტბა არის. თუმცა ხანგრძლივობიდან გამომდინარე მათ შესახებ მონაცემები დაუზუსტებელია. ამიტომ მნიშვნელოვანია საქართველოს ტბებისთვის თანამედროვე კატალოგის შექმნა, რაც სრულ ინფორმაციას მოგვცემს მათი გავრცელების, რაოდენობის, ხასიათის თავისებურებებზე.

ტბების წარმოშობა დაკავშირებულია მრავალ ფაქტორზე. რომელიც შემდგომში განსაზღვრავს ტბების მოქმედების ხასიათს. მაგალითად ვულკანურ ღვარზე წარმოქმნილი ტბები, კერძოდ, ჯავახეთის თითქმის ყველა ტბა გამოირჩევა მდგრადობით, ხოლო ისეთი ტბები, რომელთა წარმოშობა დაკავშირებულია კლდეზვავების ჩამოსვლასთან ან ქარის მოქმედებასთან, სხვადასხვა ხანგრძლივობის პერიოდით ხასიათდებიან.

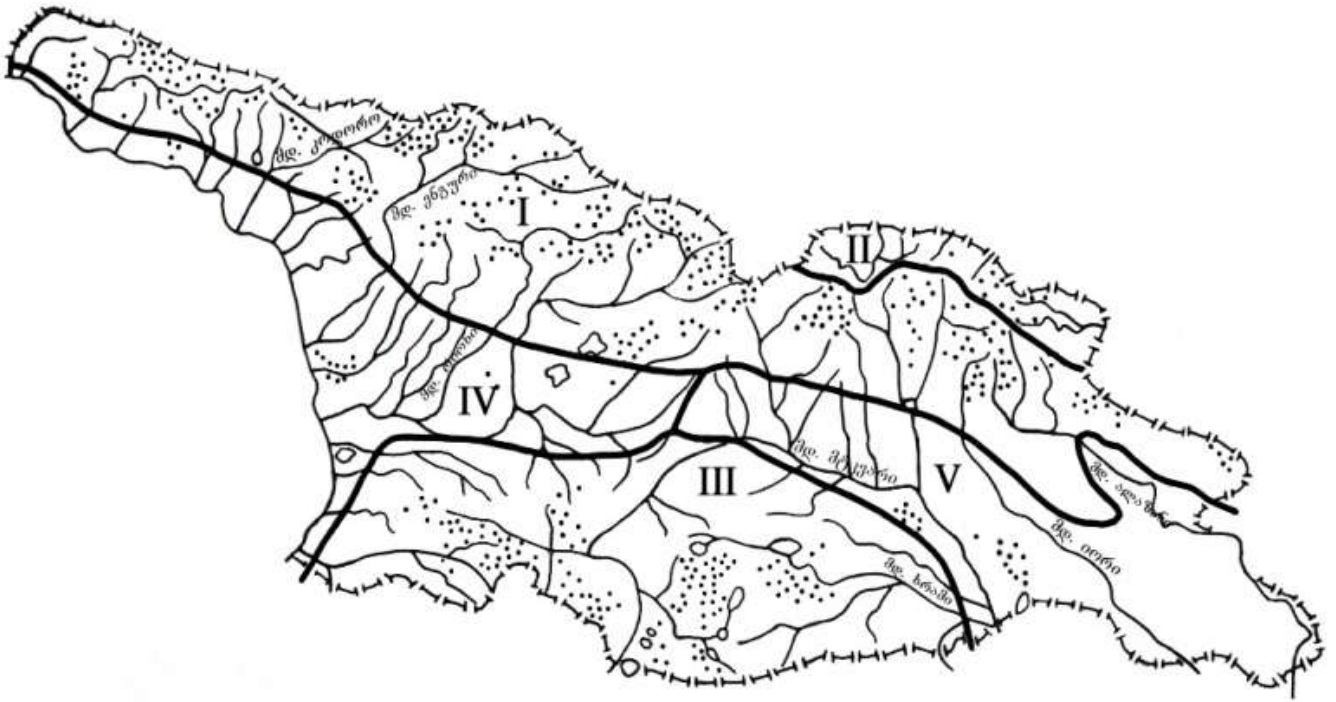
უნდა აღინიშნოს, რომ ტბების უმეტესობა განიცდის კვდომას, ანუ ტბის მე-5-ე სტადიას. ამიტომ უნდა მოხდეს ყველა ტბის სისტემატიზაცია, შემდგომ მათი დაყოფა წარმოშობისა და ფართობების სიდიდის მიხედვით. დიდი მნიშვნელობა ენიჭება საშიში ტბების (ტბები, რომელთა გარღვევას წარსულში ჰქონდა ადგილი და ამჟამადაც არ არის გამორიცხული) გამოყოფასა და მათი მდგრადობის დადგენას. ასევე ყურადსაღებია ის ტბებიც, რომელთაც ემუქრება გაქრობა, რაც მომავალში შესაბამის რეგიონისთვის გამოიწვევს ეკოლოგიურ კატასტროფას.

ორივე შემთხვევაში კატალოგი დაეხმარება ყველა საჭირო მუნიციპალიტეტსა და რეგიონს ტბების მომავალი მდგომარეობისა და ხასიათის გათვალისწინებაში, მათი გამოყენების პერსპექტივების განსაზღვრასა და ათვისებაში.

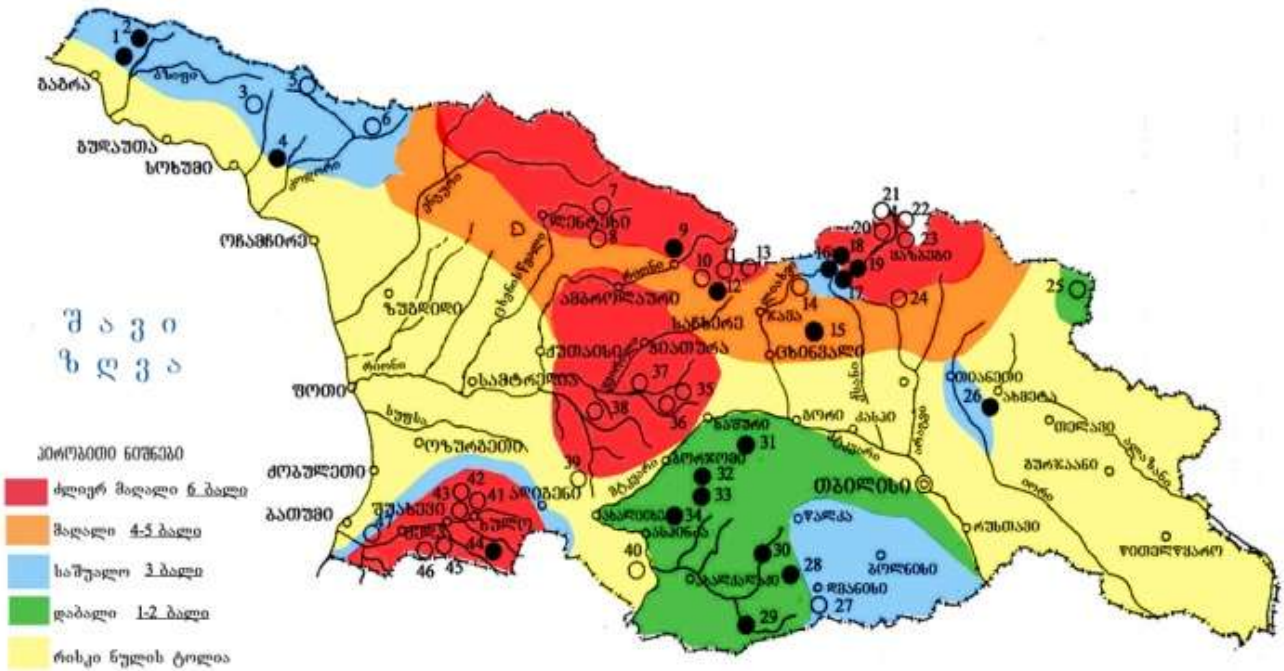
კატალოგში ყველა მორფოლოგიური პარამეტრი იქნება მოცემული იმ ტბებზე, რომელთა შესახებაც არსებობს ინფორმაცია, თუმცა არის ტბები, რომელთა შესახებ არანაირი ცნობა არ არსებობს და არც მათი სახელება დაფიქსირებული.

ნებისმიერ შემთხვევაში, შესაძლებლობის ფარგლებში, აღრიცხული იქნება ყველა ტბა და საჭირო ინფორმაცია მათი გავრცელების არეალებზე გეოგრაფიული თვალსაზრისით. რაც

მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს საქართველოს ჰიდროლოგიური რეჟიმის სისტემაში, მოგვცემს სრულ სახეს ტბების გავრცელებებზე და თავისებურებებზე.



ნახ. 1. საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული ტბების სქემატური რუკა



ნახ. 2. საქართველოს დარაიონების რუკა ჩახვევების, დაგუბებებისა და ნაზღვევი წყალმოვარდნების აქტივობის მიხედვით.

საქართველოს ტომები

№	აფხაზეთი	აჭარა	სამეგრელო ზემო სვანეთი	გურია
1	ამტყელი	მწვანე	დიდი ტობა ვარჩხი	დიდი ნარიონალი
2	ანიშხვარა	ნურის (პიონერის)	პალიასტომი	გრიგოლეთი
3	დიდი ბებესირი	ტბიყელი	პაპანწყვილი	იმნათის
4	გაგიდა	ღორჯომი	ტობავარჩხილი	მთისპირი
5	გორაფის	სხალთა	ფართოწყარო	მცირე ნარიონალი
6	დერიკვარაადიში	ჭილი	ჩიპსთა	მცირე
7	ინკითი	გონიო	ვარჩხი	ნადარბაზევის
8	მზი	შავი	წვირმის	პალიასტომი
9	ოქროწყალი	არდაგანი		ოქროს
10	პატარა რიწა			ოჩოჩხა
11	რიწის			ჩალაუბნის
12	ცისფერი			ჭინჭალს
13	დიდი მცრა (ანნა)			ჯაპანის
14	პატარა მცრა			
15	ვერცხლის			
16	ლიხთა			
17	მენონი			
18	მიწარა			
19	ფსიკვა			
20	მწვანე			

№	იმერეთი	რაჭა-ლეჩხუმი ქვემო სვანეთი	სამცხე ჯავახეთი	ქვემო ქართლი	კახეთი	მცხეთა მთიანეთი	შიდა ქართლი
1	დევი	საკალ	აბული	ბარეთი	გრძელი	აბუდელაური	ბატეთი
2	ხახიეთი	სასვანო	ბუღდაშენი	კუმისი	კაპატაძი	არჩვები	ერწო
3		საწუბლია	ვაჩიანი	მარაბდა	ნახევარტბა	ბაზალეთი	ქვედი
4			ზერესი	სანთი	სახარე	ყელი	
5			ზრესკი	ჩაპაევკი	ქანალტბა	წოდორეთი	
6			კახისი	ხადიკი	ქონების	ჭილი	
7			ლამაზი	ჯანდარი	ყაჯირის		
8			ლევანი		ჯიქურების		
9			მადათაფა				
10			მრუდე				
11			სალამო				
12			ტაბაწყური				
13			ფარავანი				
14			წუნდი				
15			ხანჩალი				
16			ხოზაფინი				
17			ჯაჯი				
118			ღურჯი				
19			შიშველი				
20			დიდიტბა				

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ვ. ცომაია, თ.ცინცაძე, გ. გაჩეჩილაძე, ს. გორგიჯანიძე, მ. ფხაკაძე. ნაზღველვეი წყალდიდობები და წყალმომარაგების საჭიროებები საქართველოში, საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი. თბილისი 2009. გვ. 155
2. „საქართველოს გეოგრაფია“ - საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია. ვ. ბაგრატიონის სახ. გეოგრაფიის ინსტიტუტი. გვ. 270-277. 2000
3. Апхазова И.С. Озера Грузии. Издательство «Мецниереба», Тбилиси, 1975, 217.с.

საქართველოს ტბების კატალოგის ზოგადი მიმოხილვა /ს. გორგიჯანიძე/ სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.47-50 ქართ.; რუზ.: ქართ., ინგლ., რუს.
სტატიაში განხილულია საქართველოს ტბების თანამედროვე მდგომარეობა. აღნიშნულია მათი მახასიათებლები, როგორც გეოგრაფიული მდებარეობის და წარმოშობის მიხედვით, ასევე მნიშვნელოვანი ტბების მორფომეტრიული მახასიათებლებით. განხილულია ასევე ტბების ეკოლოგიური მდგომარეობა, მათი გარღვევის შემთხვევაში გამოწვეული სტიქიური კატასტროფები და შედეგები. აღწერილია კატალოგში მოცემული ინფორმაცია ზოგადი სახით. ასევე სტატიაში მოცემულია ტბების გავრცელების სქემატური რუკები და ცხრილები.

Georgian Lakes Catalog General Reviews./S. Gorgijanidze/Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.47-50. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

The article describes the modern state of Georgia's lakes. Their characteristics are described as geographical location and origin, as well as morphometric characteristics of significant lakes. The ecological condition of the lakes is also considered, including natural disasters and consequences of their breach. The information presented in the catalog is described in general form. The article also provides schematic maps and spreadsheets.

Общий обзор каталога озер Грузии./С. Н. Горгиджанидзе/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.47-50. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье описывается современное состояние озер Грузии. Их характеристики описаны как географическое положение и происхождение, а также морфометрические характеристики значительных озер. Также учитывается экологическое состояние озер, в том числе стихийные бедствия и последствия их нарушения. Информация, представленная в каталоге, описана в общем виде. В статье также представлены схематические карты и таблицы.

უაკ 551.583

**სამეგრელო-ზემო სვანეთის რეგიონის აგროკლიმატურ პირობებში თხილის
კულტურის აგრობიოლოგიური თავისებურებანი**

მ.მელაძე, გ.მელაძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი;
თბილისი, საქართველო meladzem@gmail.com meladze.agromet@gmail.com

სამეგრელო - ზემო სვანეთის რეგიონი მოიცავს ვაკე დაბლობებს, გორაკ-ბორცვიან, მთიან და მაღალმთიან ტერიტორიებს ზღ. დონიდან 2000 მ და მეტ სიმაღლეზე. რეგიონის დაბლობი ნაწილი, ზღ. დონიდან 100-150 მ სიმაღლემდე ფართოდაა გაშლილი შავი ზღვისაკენ, რაც ხელსაყრელ პირობებს ქმნის სოციალურ-ეკონომიკური განვითარების თვალსაზრისით.

რეგიონის კლიმატური პირობების ჩამოყალიბებაში მნიშვნელოვანია რელიეფის ჰიფსომეტრული განვითარება. კერძოდ, აღინიშნება ჰაერის ტემპერატურის კლება სიმაღლის ზრდის შესაბამისად, როგორც ტენიან სუბტროპიკულ ზონაში, ზღვის დონიდან 400-500 მ სიმაღლეზე, ასევე ზომიერ კლიმატურ, 1000 მ სიმაღლეზე და კონტინენტალურ 1000-1500 მ და მეტი სიმაღლის ზონებში. რეგიონის ზღვის სანაპირო დაბლობი ტერიტორია ხასიათდება ზღვის ნოტიო სუბტროპიკული კლიმატით, თუმცა ადგილის ვერტიკალური ზონალობის მიხედვით გამოიყოფა განსხვავებული აგროკლიმატური ზონები [1].

აღნიშნული რეგიონის აგროკლიმატური და ნიადაგური (გავრცელებულია წითელმიწა, ყვითელმიწა ეწერი, ყომრალი, მთა-მდელოს, კორდიან-კარბონატული, ალუვიური, ნიადაგები) პირობები ხელსაყრელია ერთწლიანი და მრავალწლიანი კულტურების წარმოებისათვის. რეგიონში კარგად ვითარდება როგორც თხილის კულტურა, ასევე ჩაი, ციტრუსები, ტექნიკური, ზეთოვანი და ეთერზეთოვანი კულტურები, ვაზი, კივი, კეთილშობილი დაფნა, ხეხილოვანი კულტურები და სხვა. მთიან და მაღალმთიან პირობებში იწარმოება მარცვლეული, ბოსტნეული და სხვა კულტურები.

მოცემულ რეგიონში წარმოებულ აგროკულტურათა შორის თხილი ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი საექსპორტო პროდუქტია. მისი ნაყოფი და გადამუშავების შედეგად მიღებული პროდუქტები ფართოდაა ცნობილი. რომელსაც მრავალმხრივი გამოყენების პრაქტიკა გააჩნია, როგორც ნედლეულს საკონდიტრო წარმოებაში, ასევე მედიცინასა და კულინარიაში. სამეგრელო-ზემო სვანეთის რეგიონში 2014 წლის მონაცემებით თხილის ფართობმა 34 563 ჰა შეადგინა, ხოლო მოსავალმა 21.4 ათასი ტონა, რაც ამ კულტურის მთლიანი წარმოების 57% შეადგენს.

თხილის აგრობიოლოგიური თავისებურებანი გულისხმობს კულტურის ფენოლოგიური ფაზების, ზრდის დონის, მოსავლიანობის, მთავარ მავნებელთა და ავადმყოფობათა მიმართ რისკ-ფაქტორების განსაზღვრასა და მათ შეფასებას. კვებით ღირებულებას, რომელიც მცენარის ჯიშის, ადგილმდებარეობისა და ნიადაგურ-კლიმატური პირობების გავლენით იცვლება განსაზღვრავს ნედლეულში ცხიმის, ცილის, ბიოაქტიურ ნივთიერებათა შემცველობა. რეგიონში ხალხური სელექციის შედეგად ჩამოყალიბდა თხილის ჯიშები და ფორმები, რომლებიც უხვი მსხმოიარობით, გარემო პირობებისადმი კარგი ადაპტაციით და სხვა მრავალი დადებითი აგრობიოლოგიური თვისებებით გამოირჩევიან. მათი კალორიულობის ინდექსი 63-72% შეადგენს, რაც თურქული, ესპანური, ბერძნული და იტალიური ჯიშების კალორიულობის დონეს დაახლოებით 7-8%-ით აღემატება [2].

თხილი მრავალწლიანი, მერქიანი მცენარეა, რომელიც მიეკუთვნება კაკლოვანებს. აღნიშნული კულტურა ჯიშის (ცხენისძუძუ, ნემსა, შველისყურა, ანაკლიური, გულშიშველა, დედოფლის თითი, ხაჭაპურა) და გავრცელების მიხედვით იზრდება 2-დან 10 მ სიმაღლემდე. მისი სიცოცხლის ხანგრძლივობა 60-80 წელს შეადგენს. თხილის ნაყოფის კვებით ღირებულებას განსაზღვრავს ნაყოფში როგორც ბიოაქტიური ნივთიერებათა, ასევე ცილების და ცხიმების შემცველობა. თხილის გული შეიცავს 14-18% ცილებს, 3.5% შაქარს და 71% ცხიმებს [3].

თხილის კულტურა მისი აგრობიოლოგიური თავისებურებიდან გამომდინარე, ზრდა-განვითარების პერიოდში გარემო პირობების მიმართ კომპლექსური ხასიათისაა. იგი მაღალი ყინვაგამძლეობის გამო აღმოსავლეთ საქართველოს რიონებშიც ვრცელდება, თუმცა დასავლეთ საქართველოს ტენიანი სუბტროპიკული გარემო თხილის მოსავლიანობითა და ნაყოფის ხარისხობრივი მაჩვენებლებით უფრო პერსპექტიულია. დასავლეთის სუბტროპიკებში თხილის

კულტურა სითბოს სიჭარბეს ან ნაკლებობას არ განიცდის. ყინვებისაგან ძლიერ არ ზიანდება, თუმცა ცალკეულ შემთხვევებში ადგილი აქვს ახალგაზრდა კვირტებისა და ყვავილების გაზაფხულის წაყინებისაგან დაზიანებას. თხილის კულტურის ნორმალური ზრდა-განვითარებისა და მაღალი მოსავლის მისაღებად მნიშვნელოვანია ინტენსიური განათება, რაც განსაზღვრავს ფოტოსინთეზის პროდუქტიულობას.

ზემოაღნიშნულ რეგიონში თხილის კულტურის მსოფლიო ბაზრისათვის ფართოდ გავრცელებისა და მისი მაღალი სასაქონლე ღირებულების კონკურენტუნარიანი პროდუქციის მიღების შესაძლებლობას განაპირობებს არსებული ხელსაყრელი აგროკლიმატური მახასიათებლები (ცხრილი 1) [4].

ცხრ. 1 სამეგრელო-ზემო სვანეთის რეგიონის ძირითადი აგროკლიმატური მახასიათებლები (1948-2017 წწ.)

რეგიონი, ზონა	მეტეო-სადგური, ზღ.დ. სიმაღლე (მმ)	ჰაერის ტემპ. >10 C გადასვლის თარიღი	ჰაერის ტემპ. <10 C გადასვლის თარიღი	მშებნების პერიოდის ხანგრძლივობა (დღე)	აქტიურ ტემპ-თა ჯამი (>10 C)	ატმოსფერული ნალექების ჯამი (მმ) (IV-X)	ჰოკ-ს ინდექსი(IV-X)
სამეგრელო-ზემო სვანეთი (ტენიანი სუბტროპიკული)	ზუგდიდი, 117	24.III	21.XI	242	4370	1070	2.7
მთიანი	ხაიში, 730	11.IV	22.X	194	3340	660	2.0
მაღალმთიანი	მესტია, 1441	10.V	28.IX	141	2010	440	2.2

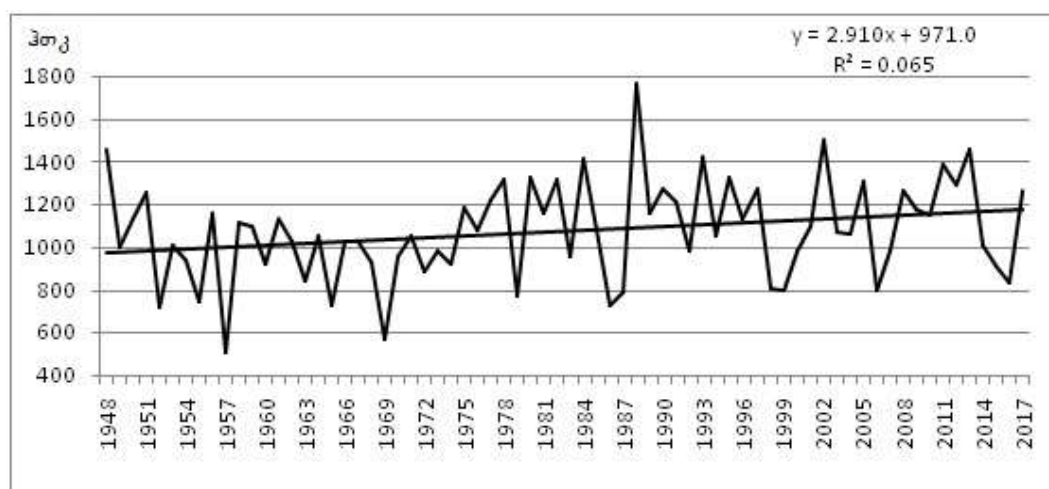
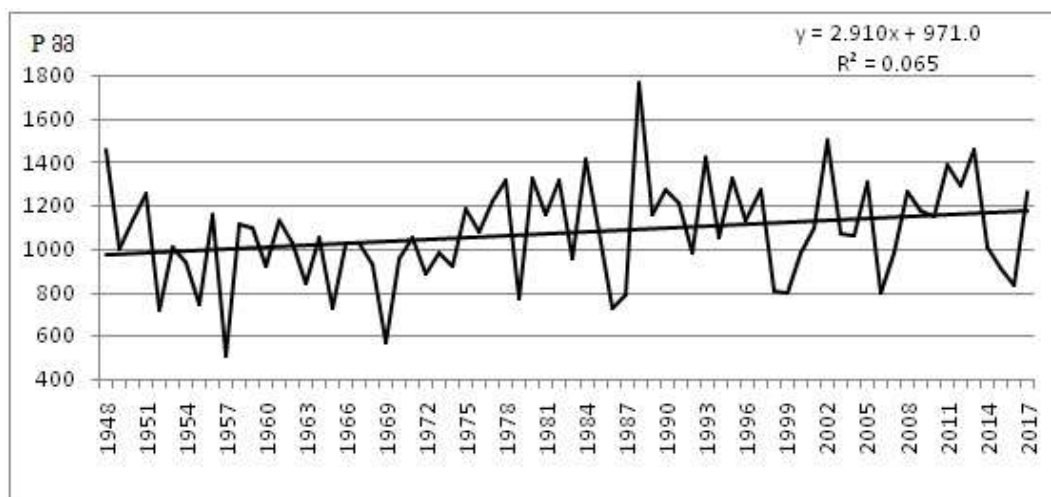
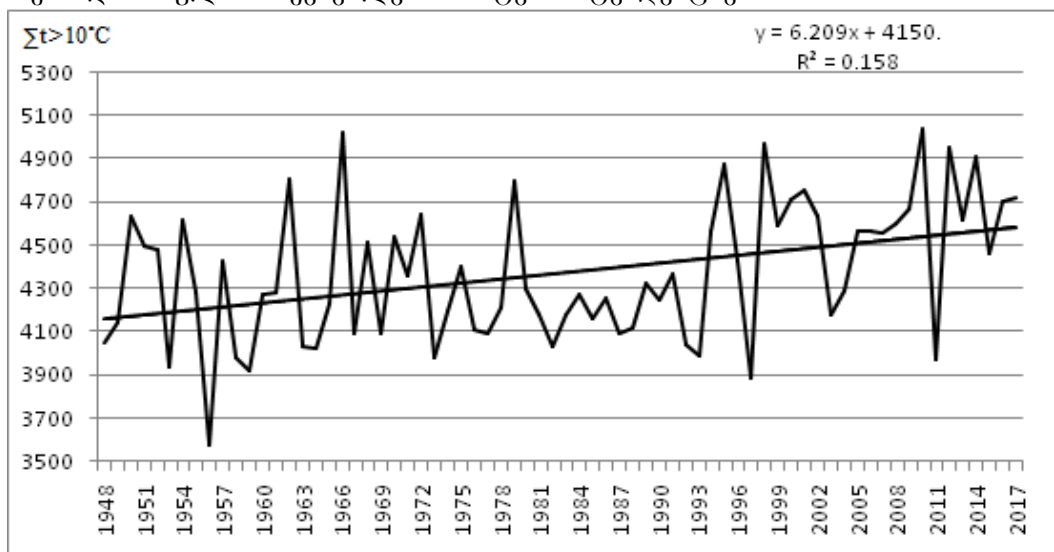
ცხრილის მიხედვით, ტენიან სუბტროპიკულ და მთიან ზონებში სავეგეტაციო პერიოდის ხანგრძლივობა, აქტიურ ტემპერატურათა (>10 C) და ატმოსფერული ნალექების (მმ) ჯამების საკმაოდ მაღალი მაჩვენებლებია. მაღალმთიანი ზონისათვის სრულიად დამაკმაყოფილებელია აღნიშნული მაჩვენებლები თხილის საადრეო ჯიშების განვითარებისა და მოსავლისათვის. სავეგეტაციო პერიოდში, თხილის კულტურისათვის საჭიროა აგრეთვე ნიადაგში ტენიანობის პირობების შეფასება. ცხრილში მოცემულია ჰოკ-ს მიხედვით თხილი იშვიათად შეიძლება დაზიანდეს გვალვებისაგან.

როგორც ცნობილია, ბუნებრივ გარემოზე გლობალური დათბობის გავლენის სფერო მასშტაბურია. აქედან გამომდინარე, თხილის პლანტაციების მიწისპირა ჰაერის ფენაში ტემპერატურის მატება, შეიძლება ხელსაყრელი აღმოჩნდეს მცენარეთა დაავადების გამომწვევ ორგანიზმთა ორ-სამჯერ მეტი ახალი თაობების გასამრავლებლად. ისინი შეიძლება გაჩნდნენ იმ ტერიტორიებზე, სადაც ადრე არ შეინიშნებოდა. ყოველივე ეს პრობლემებს შეუქმნის აგრარიკოსებს (ენტომოლოგებს, ფიტოპატოლოგებს). ამიტომ აუცილებელი იქნება მათ წინააღმდეგ შესაბამისი ქმედითი ღონისძიებების გატარება, რათა თავიდან იქნას აცილებული მცენარეებისათვის მოსალოდნელი დაავადებები და მათი დაკნინება, რაც 40-50%-ით ამცირებს პროდუქტიულობას (მოსავალს).

აღნიშნავთ, რომ 2015 წლის ბოლოს სამეგრელო - ზემო სვანეთის რეგიონს მასიურად მოეწვინა მცენარეთა მავნებელი ინვაზიური „ფაროსანა“ (ჰალეომორპჰა ჰალეს), რომლის პოპულაციის სწრაფი ზრდა საფრთხეს უქმნის არა მარტო თხილის, არამედ სხვა აგროკულტურების წარმოებას [5, 6, 7, 8]. უკანასკნელ წლებში თხილის ექსპორტის მოცულობა მნიშვნელოვნად შემცირდა აზიური ფაროსანისგან მიყენებული ზიანის გამო, რომლის გავრცელებამ უარყოფითად იმოქმედა თხილის გულის ხარისხზე და რაოდენობაზე. ამიტომ, აქტუალურია მათ სალიკვიდაციოდ ბრძოლის ეფექტური ღონისძიებების შემუშავება, რადგან მავნებლის მასიური აფეთქების შემთხვევაში მოსავლის ზარალმა შესაძლოა 70% მიაღწიოს.

აღნიშნული მავნებლის გავრცელების ერთ-ერთ ხელშემწყობ ფაქტორად შეიძლება ჩაითვალოს სავეგეტაციო პერიოდში მიმდინარე ტემპერატურის მატება (დათბობა).

ნახაზზე 1 მოგვყავს ზუგდიდის რაიონის აქტიურ ტემპერატურათა (>10 C) და ატმოსფერული ნალექების ჯამების და ჰიდროთერმული კოეფიციენტების მსვლელობის დინამიკა, საიდანაც ნათლად ჩანს, არამარტო აქტიურ ტემპერატურათა (>10 C) ჯამების, არამედ სხვა აღნიშნული მაჩვენებლების მატების ტენდენციები.



ნახ. 1 ზუგდიდის რაიონის აქტიურ ტემპერატურათა (>10 C) და ატმოსფერული ნალექების ჯამების, და ჰოკ-ს მსვლელობის დინამიკა (1948-2018)

ტრენდების განტოლებებიდან გამოანგარიშებულია აქტიურ ტემპერატურათა (>10 C) და ატმოსფერული ნალექების ჯამების და ჰოკ-ს მატების ტენდენციები, რომელიც მოცემულია ცხრილში 2.

ცხრ. 2 აქტიურ ტემპერატურათა (>10 C) და ატმოსფერული ნალექების ჯამები და ჰოკ ტრენდების მიხედვით

რეგიონი, ზონა	მეტეო-სადგური	აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი (>10 C)					
		პერიოდის დასაწ.	პერიოდის დასასრ.	მატება	კლება	საშუალო სიჩქარე ყოველ 10 წელში	
						მატება	კლება
სამეგრელო-ზემო სვანეთი, ტენიანი სუბტროპიკული	ზუგდიდი	4156	4584	428	-	61,1	-
სამეგრელო-ზემო სვანეთი, ტენიანი სუბტროპიკული	ზუგდიდი	ატმოსფერული ნალექების ჯამი (მმ)					
		974	1175	201	-	28.7	-
სამეგრელო-ზემო სვანეთი, ტენიანი სუბტროპიკული	ზუგდიდი	ჰოკ (VI-VII-VIII)					
		2.3	2.4	0.1	-	0.01	-

მოცემული ცხრილიდან, ტენიან სუბტროპიკულ ზონაში, ზუგდიდის რაიონში აღინიშნება ყველა აგროკლიმატური მაჩვენებლის მატების ტენდენცია. თუმცა აღვნიშნავთ, რომ ხაიმის და მესტიის რაიონებშიც ფიქსირდება აქტიურ ტემპერატურათა ჯამების (>10°C) მატება, ხოლო ატმოსფერული ნალექების ჯამების და ჰოკ-ის კლება.

უკანასკნელ ათწლეულებში კლიმატური მაჩვენებლების ცვლილება მნიშვნელოვან აისახება თხილის კულტურაზე გამოვლენილი დაავადებებისა და მისი მავნებლების გააქტიურებაზე. გარდა ზემოაღნიშნული მავნებლისა (აზიური ფაროსანა) თხილის კულტურას საფრთხეს უქმნის: ამერიკული თეთრი პეპელა (ჰეპანტრია ცუნეა დრურე), თხილის ცხვირგრძელა (ცურცულიო ნუცუმ), მთვარისებრი მზომელა (ოპეროპტერა ბრუმატა), მაისის ღრაჭა (მელოლონტა), თხილის ბუერი (მეზოცალდის ცორელი) და სხვ. ფართოდ ვრცელდება ასევე, თხილის ძირითადი დაავადებები - ლიქენები, ფოთლის ლაქიანობა, თხილის ყავისფერი სიღამპლე, ხავსმდიერები, ფომოფსისი, ნაცარი, რომლის გავრცელებას ხელს უწყობს ხშირი წვიმები. თხილის კულტურის აღნიშნული მავნებლებისა და დაავადებების წინააღმდეგ გამოიყენება ბრძოლის მეთოდები, რომლებიც გულისხმობს ბიოლოგიური, ქიმიური და მექანიკური საშუალებების გამოყენებას.

ლიტერატურა - REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ნეიძე ვ. სამეგრელო. საქართველოს გეოგრაფია, ნაწილი II. სოციალურ-ეკონომიკური გეოგრაფია. თბილისი, 2003, გვ. 376
2. გზა ფერმერობისკენ. თბილისი, 2017, გვ. 359
3. რობაქიძე ქ., აბაშიძე ბ., მაღლაკელიძე ე., და სხვ. ჯიშთმცოდნეობა. საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი. თბილისი, 2009, გვ. 272
4. მელაძე გ., მელაძე მ. საქართველოს დასავლეთ რეგიონების აგროკლიმატური რესურსები. გამომც. „უნივერსალი“, თბილისი, 2012, გვ. 435
5. Nielsen, Anne L., Hamilton, George C. Life History of the Invasive Species Halyomorpha halys (Hemiptera: Pentatomidae) in Northeastern United States. Annals of the Entomological Society of America. 102 (4): 608, 2009.

- Rice, Kevin B., Bergh, Chris J., Bergmann, Erik J., et al. Biology, ecology, and management of brown marmorated stink bug. *Journal of Integrated Pest Management*. 5(3): A1–A13, 2014.
- Funayama, Ken. Importance of apple fruits as food for the brown-marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*. *Applied Entomology and Zoology*. 39 (4): 617, 2004.
- Peter W., George C., Jeffrey R. Field Trapping of the Invasive Brown Marmorated Stink Bug, *Halyomorpha halys*, with Geometric Isomers of Methyl 2, 4, 6 - Decatrienoate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(1): 197–203, 2008.

სამეგრელო-ზემო სვანეთის რეგიონის აგროკლიმატურ პირობებში თხილის კულტურის აგრობიოლოგიური თავისებურებანი /მელაძე მ.გ., მელაძე გ.გ./სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.51-55 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

მრავალწლიური მეტეოროლოგიური დაკვირვებათა მონაცემების (1948-2017) მიხედვით, შეფასებულია სამეგრელო - ზემო სვანეთის რეგიონის აგროკლიმატური მახასიათებლები. რის საფუძველზეც, გამოვლენილია აქტიურ ტემპერატურათა (>10 °C) და ატმოსფერული ნალექების (მმ) ჯამების და ჰიდროთერმული კოეფიციენტის (НСТ) მატების/კლების ტენდენციები, რაიონების მიხედვით. განხილულია თხილის აგრობიოლოგიური თავისებურებანი გარემო პირობების კომპლექსში. გაანალიზებულია უკანასკნელ ათწლეულებში აგროკლიმატური მაჩვენებლების ცვლილებით თხილის კულტურაზე გამოვლენილი დაავადებებისა და მავნებლების გააქტიურება.

Agrobiological Peculiarities of Hazelnut in Agroclimatic Conditions of Samegrelo – Zemo Svaneti Region /Meladze M.G., Meladze G.G./Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.51-55. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

According to the data of many-year meteorological observations (1948-2017), agro-climatic indicators of Samegrelo - Zemo Svaneti Region are assessed. On the basis of which the tendency to increasing/decreasing the sums of active temperature (10°C) and atmospheric precipitations (mm) and hydrothermal coefficient (HCT), depending on the regions has been identified.

The hazelnut agrobiological peculiarities in the complex of environmental conditions are discussed. Activation of plant diseases and pests on the hazelnut revealed with change agro-climatic indicators in recent decades has been analyzed.

Агробιολογические особенности культуры фундука в агро-климатических условиях региона Самегрело – Земо Сванети/Меладзе М.Г., Меладзе Г.Г./ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.51-55. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

По данным многолетних метеорологических наблюдений (1948-2017 гг.), оцениваются агро-климатические характеристики региона Самегрело-Земо Сванети. На основе которого в зависимости от регионов наблюдается тенденция к увеличению/уменьшению сумм активной температуры (10 °C) и атмосферных осадков (мм) и гидротермического коэффициента (HCT).

Обсуждаются агробιολογические особенности культуры фундука в комплексе условий окружающей среды. Проанализировано за последние десятилетия с изменением агроклиматических показателей выявленная активация болезни растений и вредителей культуры фундука.

უკ 551. 521

ქარის ენერგეტიკული რესურსები რაჭა-ლეჩხუმის რაიონში

რ.სამუკაშვილი, ჯ.ვანჩაძე, ც.დიასამიძე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი,
თბილისი, საქართველო

ქარის ენერგია წარმოადგენს ეკოლოგიურად სუფთა, ადგილობრივი (განახლებადი) და ამოუწურავი ენერჯის ერთ-ერთ სახეობას. მას ჰიდროენერჯიასა და ჰელიოენერჯიასთან ერთად მნიშვნელოვანი წვლილის შეტანა შეუძლია ქვეყნის სათბობ-ენერგეტიკულ ბალანსში და ორგანული გენეზისის სითბური წყაროების მიერ დაბინძურებული გარემოს გაჯანსაღებაში.

საქართველოში ქარის ენერჯის პრაქტიკული გამოყენების პრობლემის შესწავლა იწყება მეოცე საუკუნის 50-იან წლებიდან. 1959 წელს გამოქვეყნებული გ.მელიას ნაშრომში შეფასებულია საქართველოს ტერიტორიაზე ქარის ენერგეტიკული პოტენციალი [1] იმავე წელს გამოქვეყნებულ ე.სუხიშვილის შრომაში [2] გაანალიზებულია კოლხეთის დაბლობის და შავი ზღვის სანაპირო ზოლის ქარის რეჟიმული და ენერგეტიკული მახასიათებლები. 1968 წელს გამოცემულ კლიმატურ ცნობარში (Справочник по климату СССР, вып. 14, ветер, Л. 1968), რომელიც დასაბუჯდად მომზადებული იქნა თბილისის ჰიდრომეტეოროლოგიური ობსერვატორიის კლიმატის განყოფილების თანამშრომლების მიერ, მოცემულია საქართველოს ტერიტორიაზე ქარის რეჟიმული მახასიათებლები: ქარის საშუალოთვიური და წლიური სიჩქარე, ქარის საშუალოთვიური და წლიური სიჩქარე დღეღამის სხვადასხვა საათებში, ქარის სიჩქარის ალბათობა გრადაციების მიხედვით, ძლიერი ქარებით ($v > 15$ მ/წმ) დღეების საშუალო და მაქსიმალური რაოდენობა თვეების და წელიწადის მიხედვით, ქარის სიჩქარის დღეღამური სვლა და სხვა.

1971 წელს გამოცემულ ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის კოლექტივის ნაშრომში (Климат и климатические ресурсы Грузии, 1971) განხილულია საქართველოს ტერიტორიაზე კლიმატის მაფორმირებელი ცირკულაციური ფიზიკურ-გეოგრაფიული და რადიაციული ფაქტორები, მოცემულია კლიმატის ცალკეული ელემენტების და ატმოსფერული მოვლენების ანალიზი. ამ ნაშრომში საქართველოს ტერიტორიისათვის ქარის საშუალოთვიური და საშუალოწლიური სიჩქარეების ანალიზის საფუძველზე დაკონკრეტებულია ქარის ენერგოდანადგარების გამოყენების პერსპექტიული რაიონები და მოცემულია ქარის ენერგორესურსების განაწილების სქემატური რუკა. 1987 წელს ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის თანამშრომლების [Сванидзе Г.Г. и др., 1987] მიერ გამოქვეყნებულ ფუნდამენტურ ნაშრომში გ.გრინევიჩის შრომებში [Гриневиц Г.А., 1963, 1966] მოცემული ქარის ენერგორესურსების კადასტრული შესწავლის და შეფასების მეთოდის გამოყენებით დადგენილია ქარის ენერგოდანადგარების ექსპლოატაციის რეჟიმული მახასიათებლები საქართველოს ტერიტორიისათვის მოცემულია ქარის ენერგორესურსების დონით მისი სქემატური დარაიონება 2004 წელს გამოცემულ “საქართველოს ქარის ენერგეტიკულ ატლასში” [8]. გაანალიზებულია საქართველოს მეტეოროლოგიური სადგურების ქსელზე (165 მეტეოსადგური) არსებული მრავალწლიური დაკვირვებების მონაცემები და 8 პერსპექტიულ მოედანზე დამონტაჟებულ მაღლივ მეტეოანძებზე მიღებული მოკლევადიანი (2-5 წელი) ინფორმაცია. ატლასში მოცემულია ქარის რეჟიმული მახასიათებლებისა და ენერგეტიკული პოტენციალის მოდელირება, რომელშიც გათვალისწინებულია რელიეფის დამრდიდებელი დაბრკოლებებისა და ქვეფენილი ზედაპირის უსწორმასწორობის (სიხისტის) გავლენა ქარის სიჩქარეზე და მიმართულებაზე. ხაზგასმულია ის გარემოება, რომ ქარის საშუალო სიჩქარე წარმოადგენს ქარის კადასტრის იმ მნიშვნელოვან მახასიათებელს, რომელიც აუცილებელია ქარის ენერგეტიკული პოტენციალის გამოყენების პერსპექტიულობის შეფასების თვალსაზრისით. ცხრილ 1-ში მოცემულია ქარის საშუალოთვიური და წლიური სიჩქარე რაჭა-ლეჩხუმის რამდენიმე პუნქტისათვის.

როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს რაჭა-ლეჩხუმის ტერიტორიაზე ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და წლიური სიდიდეები მაქსიმალურია მამისონის უღელტეხილზე და მინიმალურია სადგურ ჭრებალოში. ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური სიდიდეები მამისონის უღელტეხილზე წელიწადში მერყეობს 4.4მ/წმ-დან (V)- 6.7მ/წმ-მდე (II) მაქსიმუმით ზამთრის თვეებში და მარტში (6.2-6.7მ/წმ) მინიმუმით მაისიდან სექტემბრის ჩათვლით 4.4მ/წმ-დან (V)- 4.8მ/წმ-მდე (VII,IX).

ქარის სიჩქარის წლიური სიდიდეები რაჭა-ლეჩხუმის ტერიტორიებზე მერყეობენ 0.7მ/წმ-დან (ჭრებალო)- 5.4მ/წმ-მდე (მამისონის უღელტეხილი) ქარის სიჩქარის წლიური სიდიდით გამოირჩევა სადგური ამბროლაური (2.3მ/წმ), შოვი და ონი ქარის სიჩქარის წლიური სიდიდე მერყეობს შესაბამისად 1.2მ/წმ(შოვი)-1.3მ/წმ(ონი) ფარგლებში. სადგურებზე: ჭრებალო, ხერგა და ცაგერი ეს მახასიათებელი მერყეობს 0.7მ/წმ-დან (ჭრებალო)- 1,0მ/წმ-მდე (ცაგერი) ფარგლებში.

ცხრილი 1. ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და წლიური სიდიდეები მ/წმ [3]

სადგური	თ ვ ე												წელი
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
შოვი	1.1	1.7	1.5	1.3.	1.2.	1.0	1.0	0.8	1.0	1.3	1.3	1.2	1.2
მამისონის უღ.	6.6	6.7	6.2	5.2	4.4	4.7	4.8	4.6	4.8	5.6	5.5	6.2	5.4
ცაგერი	0.6	0.7	1.1	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	0.8	0.7	0.5	1.0
ონი	0.8	1.1	1.6	1.9	1.6	1.5	1.6	1.6	1.2	0.9	0.8	0.6	1.3
ჭრებალო	0.3	0.3	0.8	1.2	1.2	1.1	1.2	1.0	0.7	0.4	0.4	0.2	0.7
ამბროლაური	1.7	1.9	2.8	3.1	2.6	2.4	2.5	2.5	2.2	1.9	1.9	1.6	2.3
ხერგა	0.7	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2	1.1	1.1	0.9	0.7	0.7	0.5	0.9

ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და წლიური სიდიდეები (მ/წმ) [9] მონაცემებით [საქართველოს სამეცნიერო-გამოყენებითი კლიმატური ცნობრი] მოცემულია ცხრილ 2-ში.

ცხრილი 2. ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და წლიური სიდიდეები (მ/წმ)

სადგური	თ ვ ე												წელი
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ამბროლაური	1.1	1.9	2.4	2.4	2.1	1.9	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	1.9
მამისონის უღ.	6.8	6.6	6.0	4.9	4.4	4.8	4.9	4.7	5.0	5.6	5.8	6.6	5.5
ონი	0.5	0.7	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.7	0.6	0.4	0.4	0.3	0.7
შოვი	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4	1.3	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3

ცხრილ 1-ში მოყვანილი ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და წლიური სიდიდეების გამოთვლის დაკვირვებების პერიოდის ხანგრძლივობა შეადგენდა 25 წლის (1936-1960), ხოლო ცხრილ 2-ში მოცემული ანალოგიური მახასიათებლების სიდიდეები გამოთვლილია დაკვირვებების შედარებით ხანგრძლივი პერიოდისათვის (1936-1990). როგორც ამ ცხრილების მონაცემების შედარებიდან ჩანს, დაკვირვებების პერიოდის ხანგრძლივობის ორჯერ გაზრდის შედეგად სადგურებზე მამისონის უღელტეხილი და შოვი ქარის სიჩქარის წლიური სიდიდეები დარჩა თითქმის უცვლელი. 5.4 და 5.5მ/წმ (მამისონის უღელტეხილი), 1.2 და 1.3მ/წმ (შოვი). სადგურ ამბროლაურში ქარის წლიური სიჩქარე დაკვირვების პეროპდის გახანგრძლივებით შემცირდა 0.4მ/წმ-ით, სადგურ ონი კი 0.6მ/წმ-ით, თითქმის ორჯერ (1.3 და 0.7მ/წმ).

ცხრილ 3-ში მოცემულია იანვრისა და ივლისის თვეებისათვის ქარის საშუალოწლიური \bar{v} , უდიდესი $v_{მაქ.}$ და უმცირესი $v_{მინ.}$ სიჩქარეები (მ/წმ).

ცხრილი 3. ქარის საშუალოწლიური \bar{v} , უდიდესი $v_{მაქ.}$ და უმცირესი $v_{მინ.}$ სიჩქარეები მ/წმ (საქართველოს სამეცნიერო-გამოყენებითი კლიმატური ცნობარი, 2004)

სადგური	იანვარი			ივლისი		
	\bar{v}	$v_{მაქ.}$	$v_{მინ.}$	\bar{v}	$v_{მაქ.}$	$v_{მინ.}$
ამბროლაური	1.9	3.7	0.7	1.9	3.8	1.6
მამისონის უღ.	5.5	11.3	4.0	5.5	7.6	2.5
ონი	0.7	1.3	0.1	0.7	2.5	0.6
შოვი	1.3	1.7	0.1	1.3	1.6	0.2

ქარის უდიდესი სიჩქარე აღნიშნულია იანვარში და ივლისში მამისონის უღელტეხილზე, შესაბამისად 11.3 და 7.6მ/წმ. სადგურ ამბლოლაურში ამ მახასიათებლის სიდიდე იანვარში და ივლისში თითქმის უცვლელია შეადგენს შესაბამისად 3.7(I) და 3.8(VII)მ/წმ-ს. სადგურ შოვეში მამისონის უღელტეხილის ანალოგიურად შაკ-ის სიდიდეები იანვარში და ივლისში ახლოა ერთმანეთთან: 1.7(I) და 1.6(VII)მ/წმ შესაბამისად. სადგურ ონში აღვილი აქვს შებრუნებულ მოვლენას სხვა სადგურებისაგან განსხვავებით აქ შაკ-ის იანვრის მნიშვნელობა (1.3მ/წმ) ნაკლებია ივლისის სათანადო მნიშვნელობაზე (2.5მ/წმ). საქართველოს ტერიტორიაზე ქარის სიჩქარის მაქსიმალური მნიშვნელობები, როგორც წესი, აღინიშნებიან ზამთრის და გაზაფხულის პერიოდში, მინიმალური მნიშვნელობები კი ზაფხულის და გაზაფხულის პერიოდში. ამ კანონზომიერებიდან გამონაკლისს წარმოადგენენ ზოგიერთი სადგურები, რომელთა რიცხვს მიეკუთნება სადგური ონი.

ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და საშუალოწლიური მნიშვნელობების გარდა, ქარის ენერგეტიკული კადასტრის ძირითადი მახასიათებელია ქარის აქტიური და არააქტიური სიჩქარეების სიდიდე, მათი ხანგრძლივობისა და განმეორადობის ალბათობა. როგორც ცნობილია, ქარის ენერგოდრავის სიმძლავრე პირდაპირ პროპორციულია ქარის სიჩქარის კუბისა. ქარის ენერგოდრავები ნელი სვლით მუშაობას იწყებენ ქარის სიჩქარის 3-3.5მ/წმ-ის შემთხვევაში. მეორე ტიპის ქარის ენერგოდრავები სწრაფი სვლით მუშაობას იწყებენ ქარის სიჩქარის 4.5-5.0მ/წმ-ის შემთხვევაში. ქარის ეს სიჩქარეები ცნობილია მუშა სიჩქარეების სახელწოდებით. ქარის მუშა სიჩქარეების განმეორადობა წარმოადგენს ქარის ენერგეტიკული კადასტრის ასევე ერთ-ერთ ძირითად მახასიათებელს [2]. ქარის სიჩქარეების ალბათობა გრადაციების მიხედვით წელიწადში (პროცენტებში შემთხვევათა საერთო რიცხვიდან) მოცემულია ცხრილ 4-ში.

ცხრილი 4. ქარის სიჩქარეების ალბათობა გრადაციების მიხედვით წელიწადში (პროცენტებში შემთხვევათა საერთო რიცხვიდან) [4]

სადგური	v,15მ/წმ													
	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20	21-24	25-28	29-34	35-40
მამისონის უღ.	13.0	20.4	24.5	17.8	9.7	5.7	3.5	1.8	1.1	1.5	0.4	0.3	0.3	0.01
ონი	70.2	18.7	8.3	2.2	0.5	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02			

ქარის სიჩქარეების ალბათობა გრადაციების მიხედვით დღეღამის სხვადასხვა (1,7,13,19) საათებში სადგურებზე მამისონის უღელტეხილი და ონი მოცემულია ცხრილ 5-ში.

ცხრილი 5. ქარის სიჩქარეების ალბათობა (%) გრადაციების მიხედვით დღეღამის სხვადასხვა (1,7,13,19სთ) საათებში

სადგური	სთ	v,15მ/წმ									
		0-1	2-5	6-9	10-13	14-17	18-20	21-24	25-28	29-34	35-40
მამისონის უღ.	1	14.6	43.8	26.9	8.7	2.9	1.8	0.5	0.4	0.4	
	7	14.0	45.9	27.6	7.8	2.7	1.2	0.4	0.2	0.2	0.01
	13	10.5	12.8	29.6	11.1	3.4	1.6	0.4	0.2	0.4	0.02
	19	13.0	46.9	25.9	9.2	2.6	1.5	0.4	0.3	0.2	0.01
ონი	1	82.6	15.9	1.4	0.1	0.03					
	7	85.2	14.1	0.6	0.1	0.02	0.02	0.01			
	13	43.1	19.6	7.1	0.1	0.1	0.02				
	19	69.6	28.4	1.9	0.1	0.01					

როგორც ცხრილებიდან (4,5)-დან ჩანს, ქარის სამუშაო სიჩქარის წლიური განმეორადობა რაჭა-ლეჩხუმის ტერიტორიაზე, რომელიც აღწევს თითქმის 80%-ს დაფიქსირებულია მამისონის უღელტეხილზე (კავკასიონის მაღალმთიანი რაიონის ღია უღელტეხილზე), სადაც მთელი წელიწადის განმავლობაში გაბატონებულია დიდი სიჩქარის დასავლეთის მიმართუ-

ლების ქარები. ამ სადგურში ქარის სამუშაო სიჩქარეების საერთო ხანგრძლივობა ($v \geq 3\text{მ/წმ}$) წელიწადში აღწევს 6900-7000საათს.

წელიწადის სეზონების მიხედვით ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3$; 5მ/წმ) განმეორადობა (%) (1), ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3\text{მ/წმ}$) საერთო ხანგრძლივობა წელიწადის სეზონების მიხედვით (2) (სთ), ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3\text{მ/წმ}$) საერთო ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სეზონების მიხედვით, წელიწადში საერთო ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით (3) და ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($v = 0-2\text{მ/წმ}$) საერთო ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სეზონების მიხედვით წელიწადში საერთო ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით (4) სადგურ მაშისონის უღელტეხილისათვის მოცემულია ცხრილ 6-ში [2].

ცხრილი 6. 1-(%), 2-(სთ), 3-(%), 4-(%)

1%							
ზამთარი		აზაფხული		ძაფხული		შემოდგომა	
1	2	3	4	5	6	7	8
≥ 3	≥ 5	≥ 3	≥ 5	≥ 3	≥ 5	≥ 3	≥ 5
78	59	68	46	73	51	74	53
2სთ							
ზამთარი							
ქარის სიჩქარე მ/წმ							
1	2	3	4	5	6	7	8
≥ 3	≥ 4	≥ 5	≥ 6	≥ 7	≥ 8	≥ 9	≥ 10
1856	1412	1258	895	843	639	612	486
გაზაფხული							
1605	1118	958	606	532	374	322	247
ზაფხული							
1753	1206	1020	599	528	336	261	182
შემოდგომა							
1766	1283	1133	751	665	424	360	239
3(%)							
ზამთარი	გაზაფხული	ზაფხული	შემოდგომა	წელი			
27	23	25	25	100			
4(%)							
12	34	26	23	100			

როგორც ცხრილ 6-დან ჩანს, წელიწადის სეზონების მიხედვით ქარის საშუალო სიჩქარეების ($v \geq 3\text{მ/წმ}$) განმეორადობა ნელსვლიანი ქარის ენერგოდრავების შემთხვევაში მერყეობს 68 (გაზაფხული)-78%-ის (ზაფხული) ფარგლებში, წრაფი სვლით ქარის ენერგოდრავების შემთხვევაში ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 5\text{მ/წმ}$) განმეორადობა წელიწადში მერყეობს 46 (გაზაფხული) - 59%-ის (ზამთარი) ფარგლებში.

ქარის სამუშაო სიჩქარეების ხანგრძლივობა ქარის სიჩქარის მატებისას 3-10მ/წმ-ის ფარგლებში მცირდება ზამთარში 1856 საათიდან 486 საათამდე, გაზაფხულზე -1605 საათიდან 247 საათამდე, ზაფხულში -1753 საათიდან 182 საათამდე, შემოდგომაზე 1766 საათიდან 239 საათამდე.

ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3\text{მ/წმ}$) ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სეზონების მიხედვით წელიწადში საერთო ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით ახლოა ერთმანეთთან: მერყეობს 23 (გაზაფხული) -27%-ის (ზამთარი) ფარგლებში, ქარის არააქტიური სიჩქარეების

($v=0-2მ/წმ$) ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სეზონების მიხედვით წელიწადში საერთო ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით მინიმალურია ზამთარში (12%), მაქსიმალურია გაზაფხულზე (34%), ზაფხულში და შემოდგომაზე ის შეადგენს შესაბამისად 26 და 23%-ს. ცხრილ 7-ში [2] მოცემულია სადგურ მამისონის უღელტეხილასთვის ქარის სამუშაო სიჩქარეების საერთო წლიური ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) წელიწადში საათების საერთო რიცხვზე დამოკიდებულებით (ა), ქარის სხვადასხვა სიჩქარის ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სამუშაო სიჩქარეების საერთო ხანგრძლივობაზე დამოკიდებულებით. წელიწადში (ბ), ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($v=0-2მ/წმ$) საერთო ხანგრძლივობა (საათი) წელიწადის სეზონების მიხედვით (გ) და ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($v=0-2მ/წმ$) ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სეზონების მიხედვით (% წელიწადში საათების რიცხვიდან).

ცხრილი 7. ა(%), ბ(%), გ(სთ), დ(%) სადგური მამისონის უღელტეხილი [2]

ა (%)					
v	≥ 3	≥ 5	≥ 8	≥ 10	
%	80	50	20	13	
ბ (%)					
v	≥ 3	≥ 5	≥ 8	≥ 10	
%	100	62	25	16	
გ(სთ)					
სთ	ზამთარი	გაზაფხული	ზაფხული	შემოდგომა	წელიწადი
	304	603	455	418	1780
დ(%)					
%	ზამთარი	გაზაფხული	ზაფხული	შემოდგომა	წელიწადი
	3	7	5	5	20

როგორც ცხრილ 7-დან ჩანს, ქარის სამუშაო სიჩქარეების ზრდის პარალელურად საერთო წლიური ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) 80%-დან ($v \geq 3მ/წმ$) 13%-მდე ($v \geq 10მ/წმ$) ასევე ქარის სხვადასხვა სიჩქარის ხანგრძლივობის განმეორადობა (%). სამუშაო სიჩქარეების ზრდისას მცირდება 100-დან ($v \geq 3მ/წმ$) 16%-მდე ($v \geq 10მ/წმ$). ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($v=0-2მ/წმ$) საერთო ხანგრძლივობა მამისონის უღელტეხილზე მერყეობს 304 საათიდან (ზამთარი) 603 საათამდე (გაზაფხული). ზაფხულის და შემოდგომის სეზონებისთვის ეს მაჩვენებელი შესაბამისად ტოლია 455 და 418 საათისა. არააქტიური სიჩქარეების ხანგრძლივობა წელიწადში შეადგენს 1780 საათს. ქარის არააქტიური სიჩქარეების ხანგრძლივობის განმეორადობა (%) სეზონების მიხედვით (% წელიწადში საათების საერთო რიცხვიდან) მერყეობს 3%-დან (ზამთარი) – 7%-მდე (გაზაფხული). ზაფხულის და შემოდგომის შემთხვევაში ეს მაჩვენებელი ტოლია 5%-ისა. ამრიგად, ქარის არააქტიური სიჩქარეების ხანგრძლივობის განმეორადობა წელიწადში (% წელიწადში საათების საერთო რიცხვიდან) შეადგენს 20 საათს.

ქარის სამუშაო სიჩქარეების ხანგრძლივობის დროში და სივრცეში განაწილების კანონზომიერების დადგენისას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3მ/წმ$) უწყვეტ ხანგრძლივობას ცხრილ 8-ში სადგური მამისონის უღელტეხილისათვის მოცემულია წელიწადის განმავლობაში ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3მ/წმ$) უწყვეტი ხანგრძლივობის (სთ) უზრუნველყოფა (%) (ა), ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3მ/წმ$) უდიდესი უწყვეტი ხანგრძლივობა (სთ) და მისი უზრუნველყოფა (%) (ბ), ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3მ/წმ$) უწყვეტი ხანგრძლივობის უზრუნველყოფა სეზონების მიხედვით (%) (გ).

როგორც ცხრილ 8-დან ჩანს, ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3მ/წმ$) 6 საათიანი უწყვეტი ხანგრძლივობის (სთ) უზრუნველყოფა (%) წელიწადში შეადგენს 90%-ს, 24 საათიანი უწყვეტი ხანგრძლივობის (სთ) უზრუნველყოფა 42%-ს, 48 საათიანის- 22%-ს, 72 საათიანის (3 დღელამდე) – 12%-ს, 168 საათიანის (7 დღელამდე) – 1%-ს. ქარის უწყვეტი ხანგრძლივობის ზრდასთან სინქრონულად მისი უზრუნველყოფა მცირდება.

მამისონის უღელტეხილზე ქარის სამუშაო სიჩქარის ($v \geq 3მ/წმ$) უდიდესი უწყვეტი ხანგრძლივობა შეადგენს 348 საათს დეკემბერში, მისი უზრუნველყოფა ტოლია 0.7%-სა. ქარის სამუშაო სიჩქარეების ($v \geq 3მ/წმ$) 12 საათიანი უწყვეტი ხანგრძლივობის უზრუნველყოფის (%) სიდიდე წელიწადის განმავლობაში შეადგენს 73%-(ზამთარი), 66%-ს (გაზაფხული), 71%-ს (ზაფხული და შემოდგომა), ხოლო 24 საათიანი უწყვეტი ხანგრძლივობის უზრუნველყოფის სიდიდე შესაბამისად ტოლია 51% (ზამთარი), 40% (გაზაფხული, შემოდგომა) 36%-სა (ზაფხული). ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($v=0-2მ/წმ$) უწყვეტი ხანგრძლივობის უზრუნველყოფა (%) წელიწადში (ა), ქარის არააქტიური სიჩქარეების უდიდესი უწყვეტი ხანგრძლივობა (სთ) და მისი უზრუნველყოფა (%) –(ბ) და ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($0-2მ/წმ$) საშუალო უწყვეტი ხანგრძლივობის (სთ) სიდიდე წელიწადის სეზონების მიხედვით (გ) სადგურ მამისონის უღელტეხილზე მოცემულია ცხრილ 9-ში [2].

ცხრილი 8. სადგურ მამისონის უღელტეხილზე ქარის მახასიათებლების ა,ბ,გ- სიდიდეები [2]

ა - არის უწყვეტი ხანგრძლივობა, სთ								
≥6	≥12	≥24	≥48	≥72	≥96	≥120	≥144	≥168
99	70	42	22	12	8	4	2	1
ბ								
ხანგრძლივობა, სთ			თ ვ ე			უზრუნველყოფა, %		
348			XII			0.7		
გ - ხანგრძლივობა, სთ								
≥12	≥24	≥12	≥24	≥12	≥24	≥12	≥24	
ზამთარი		გაზაფხული		ზაფხული		შემოდგომა		
73	51	66	40	71	36	71	40	

აღსანიშნავია, რომ რაჭა-ლეჩხუმის რაიონისათვის დამახასიათებელია ქარის ენერგეტიკული რესურსების ცვალებადობის დიდი დიაპაზონი. როგორც ცხრილი 1-დან ჩანს, რაჭა-ლეჩხუმის დაბლობის წინამთის ტერიტორიაზე (სადგურები: ჭრებალო, ამბროლაური, ცაგერი) ქარის ენერგეტიკული კადასტრის მნიშვნელოვანი მახასიათებელი ქარის სიჩქარის საშუალოთვიური და წლიური სიდიდე, ნაკლებია ქარის საშუალო სიჩქარეების მინიმალურ სიდიდეებზე(3მ/წმ), რის შედეგად აქ არსებული პირობები არახელსაყრელია ქარის ენერგეტიკული რესურსების გამოსაყენებლად.

ცხრილი 9. ქარის არააქტიური სიჩქარეების ($v=0-2მ/წმ$) მახასიათებლები

ქარის უწყვეტი ხანგრძლივობა (სთ)		
≥6	≥12	≥24
99	40	4
უდიდესი უწყვეტი ხანგრძლივობა (სთ)		
ხანგრძლივობა, (სთ)	თ ვ ე	უზრუნველყოფა, %
120	111	0.5
საშუალო უწყვეტი ხანგრძლივობა სეზონების მიხედვით (სთ)		

ლიტერატურა - REFERENCES –ЛИТЕРАТУРА

1. Мелия Г.Т. Гелиоэнергетические ресурсы Грузинской ССР, Тбилиси, Издат. АНИГССР, 1959.
2. Сухишвили Э.В. Ветроэнергетические ресурсы Грузии. Тр. Тбилиси, НИГМИ, 1959.
3. Справочник по климату СССР, Вып. 14, Ветер, Гидрометеиздат Л. 1968.
4. Климат и климатические ресурсы Грузии. Тр. ЗакНИГМИ вып. 44(50) Л., Гидрометеиздат, 1971.
5. Сванидзе Г.Г., Гагуа В.Т., Сухишвили Э.В. Возобновляемые энергоресурсы Грузии. Л, гидрометеиздат, 1987.
6. Гриневич Г.А. Пути исследования кадастровых характеристик энергии воды, ветра и солнца. Тр. энергетического института АН Уз ССР, вып. 9, 1966.
7. Гриневич Г.А. Задачи и принципы исследования характеристик возобновляющихся источников энергии. Ташкент, изд. АН Уз ССР, 1963.
8. საქართველოს ქარის ენერგეტიკული ატლასი, თბილისი, 2004.
9. საქართველოს სამეცნიერო გამოყენებითი კლიმატური ცნობარი ნაწ. 1, ცალკეული კლიმატური მახასიათებლები, თბილისი, 2004.

ქარის ენერგეტიკული რესურსები რაჭა-ლეჩხუმის რაიონში /სამუკაშვილი რ., ვაჩნაძე ჯ., დიასამიძე ც. / სტუ-ის ჰმ-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.56-62 ქართ.; რუს.: ქართ., ინგლ., რუს.

ნატარებულია ტერიტორიული დარაიონება ქარის ენერგეტიკული რესურსების მიხედვით.

Wind energy resource in the Racha-Lechkhumi area./ Samukashvili R., Vachnadze J., Diasamidze Ts./ Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.56-62. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.
Territorial arrangement is carried out according to wind energy resources.

Ветроэнергетический ресурс в районе Рача-Лечхуми./Самукашвили Р.,Вачнадзе Дж. Диасамидзе Ц. / Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.56-62. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.
Территориальное обустройство осуществляется в соответствии с ветроэнергетическими ресурсами.

უაკ 551.59

**ქარბუქიან დღეთა რიცხვი საქართველოში 1966-2017 წლების
სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით**

მ.ფიფია, ნ.ბეგლარაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი 0112, თბილისი,
დ. აღმაშენებლის გამზირი 150^ა m.pipia@gtu.ge

ქარბუქი მიეკუთვნება იმ მეტეოროლოგიურ მოვლენათა რიცხვს, რომელიც დიდ ზიანს აყენებს ქვეყნის ეკონომიკას. სარკინიგზო და საავტომობილო მაგისტრალების ცალკეულ უბნებზე მნიშვნელოვანი ნამქერებისა და ნაბუქების ჩამოყალიბებით, ქარბუქი აფერხებს ტრანსპორტის ნორმალურ გადაადგილებას. ჰორიზონტალური მხედველობის შეზღუდვის გამო, ქარბუქი დიდ სიძნელეებს უქმნის ავიაციას. ქარბუქი მნიშვნელოვან ზიანს აყენებს ასევე სოფლის მეურნეობას, ვინაიდან ძლიერი ქარებისა და თოვლის საფარის სტრუქტურის სიფხვიერისას ხდება თოვლის არათანაბარი გადანაწილება და სავარგულებზე წარმოიქმნება მოტიტვლებული ადგილები, რაც ზოგჯერ ზამთრის ნათესების გაყინვასა და ნიადაგის ეროზიას იწვევს. რაიონებში, სადაც მდებარეობს ზამთრის საძოვრები ქარბუქი ხშირად არღვევს საქონლის გამოკვების ნორმალურ რეჟიმს და ართულებს პირუტყვის გამოზამთრებას.

ქარბუქის შედეგად მთაგორიან რაიონებში განსაკუთრებით დიდი რაოდენობით გროვდება მინამქრული თოვლი ქარპირა ფერდობებზე ნამქერებისა და ლავგარდინების სახით, რომლებსაც ფერდობებზე არსებული თოვლის საფარი გამოსყვავთ მდგრადი წონასწორობიდან და ამგვარად წარმოადგენენ პოტენციურ ხელშემწყობ ფაქტორს ზვავების წარმოქმნის პროცესში, რასაც ხშირ შემთხვევაში მოსდევს დიდი მატერიალური ზარალი და ადამიანთა მსხვერპლიც [1].

ქარბუქი გავრცელებულია საქართველოს მთელს ტერიტორიაზე, განსაკუთრებით მდგრადი თოვლის საფარის მქონე რაიონებში. ქარბუქი საქართველოს ტერიტორიაზე დაიკვირვება ძირითადად კავკასიონის საუღელტეხილო მონაკვეთებზე, აჭარა-იმერეთის, სურამისა და თრიალეთის ქედებზე და სამცხე-ჯავახეთის მთიანეთში.

ქარბუქის აქტივობა, რომლის შეფასება ხდება ქარბუქიან დღეთა რაოდენობით, ქარბუქის საშუალო და მაქსიმალური ხანგრძლივობით, აგრეთვე ქარბუქის უწყვეტი ხანგრძლივობით, ემორჩილება ვერტიკალური ზონალობის კანონს: ადგილის აბსოლიტური სიმაღლის ზრდისას ქარბუქის აქტივობა იზრდება [2].

საქართველოს მთიან რაიონებში ქარბუქი შესაძლებელია ძირითადად ნოემბრიდან აპრილის ჩათვლით. მხოლოდ განსაკუთრებით მაღალმთიან რაიონებში დაიკვირვება ოქტომბრიდან მაისის ჩათვლით და ძალიან იშვიათად - სექტემბერში.

ქარბუქის სიმძაფრე მთელი რიგი პირობათა კომპლექსით განისაზღვრება. ეს პირობებია: მოსული მყარი ნალექის რაოდენობა, თოვლის ფიფქის სტრუქტურა, თანმხლები ქარის სიჩქარე, ადგილმდებარეობის ჰორიზონტის დახურულობა, რელიეფის კონფიგურაცია, ამინდის ცვლილების ხასიათი, ტემპერატურა, სინოტივე [3].

კვლევის მიზანი იყო საქართველოში ქარბუქიან დღეთა რიცხვის მდგომარეობის ასახვა ბოლო 50 წლის განმავლობაში. რასაც დასჭირდა ისეთი ამოცანების გადაჭრა როგორცაა საშუალო და უდიდეს ქარბუქიან დღეთა რიცხვის წლიური განაწილების განსაზღვრა და მისი სტატისტიკური ანალიზი 1966-2017 წლების მონაცემების მიხედვით.

კვლევისთვის ფაქტობრივ მასალად გამოყენებული იქნა: სტუ-ის შპი-ის საარქივო მასალა; გარემოს ეროვნული სააგენტოს დაკვირვებათა მონაცემები; კლიმატური ცნობარები.

წინამდებარე ნაშრომში გამოკვლეულია როგორც ქარბუქიან დღეთა საშუალო წლიური რიცხვი, ასევე, უდიდეს დღეთა რიცხვი და გაკეთებულია მათი სტატისტიკური ანალიზი 1966-2017 წლების პერიოდისთვის.

კვლევის მეთოდოლოგიად გამოყენებულ იქნა მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის მეთოდები.

სამწუხაროდ, გასული საუკუნის 90-იან წლებში თითქმის განადგურდა მეტეოროლოგიურ სადგურთა ქსელი, რაც მანამდე 300-მდე მეტეოროლოგიურ სადგურსა და საგუშაგოს ითვლიდა. ამიტომ ამ პერიოდიდან მოყოლებული სხვადასხვა მეტეოროლოგიურ მოვლენებზე დაკვირვება, მათ შორის ქარბუქზე, სულ რამდენიმე სადგურზე ხორციელდებოდა. რაც რასაკვირველია ვერ ასახავს ქარბუქიან დღეთა რიცხვის განაწილების სრულყოფილ სურათს.

თუმცა, 1966-1992 წლების სტატისტიკური მონაცემები სრულყოფილია და ერთიანი უწყვეტი ჯაჭვის სახით მოგვეპოვება, რაც ერთობლიობაში საშუალებას გვაძლევს გავანალიზოთ ქარბუქიან დღეთა რიცხვი საქართველოს ტერიტორიაზე ბოლო 50 წლის განმავლობაში.

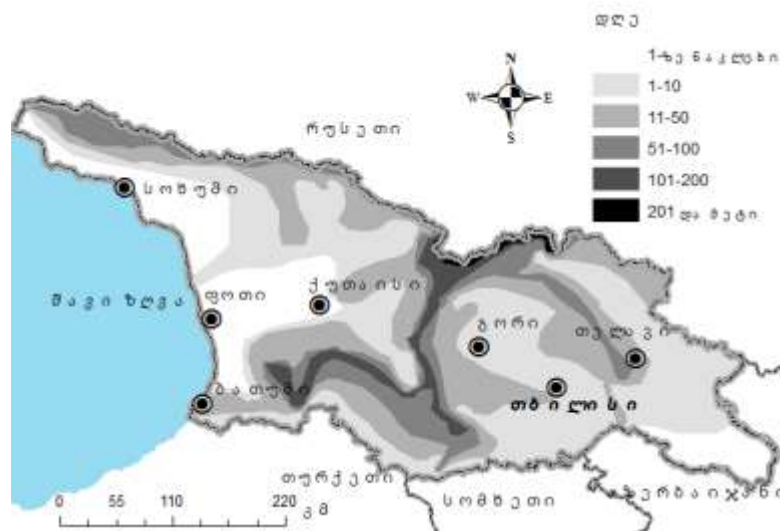
სტატისტიკური მონაცემების დამუშავების საფუძველზე, რომელიც მოიცავს 1966-2017 წლების პერიოდს, ჩვენს მიერ შედგენილ იქნა ცხრილი (ცხრ.1) სადაც მოყვანილია ქარბუქიან დღეთა საშუალო და უდიდესი წლიური რიცხვის მანვენებელი იმ მეტეოსადგურებისა და საგუშაგოების მიხედვით სადაც ქარბუქიან დღეთა საშუალო წლიური რიცხვის მანვენებელი საკმაოდ მაღალია (10-ზე მეტი). მონაცემები მოყვანილია საშუალო დღეთა რიცხვის ზრდადობის მიხედვით. ცხრილ 1. - ში აგრეთვე მოყვანილია რაიონები სადაც განთავსებულია შესაბამისი მეტეოსადგურები და საგუშაგოები და ამ პუნქტების სიმაღლე ზღვის დონიდან.

ცხრილი 1. ქარბუქიან დღეთა რიცხვი

დაკვირვების პუნქტი და შესაბამისი რაიონი	ქარბუქიან დღეთა რიცხვი		სიმაღლე მ/ზდ.
	საშუალო დღეთა რიცხვი	უდიდესი დღეთა რიცხვი	
გუდაური (დუშეთი)	10,5	41	2196
წინხადუ (დუშეთი)	10,7	20	1910
ნინოწმინდა (ნინოწმინდა)	11	36	1940
ზესხო (ლენტეხი)	12,3	27	1800
ოროჯოლარი (ნინოწმინდა)	12,5	31	1880
წაღვერი (ბორჯომი)	12,7	10	1130
ბაკურიანი ანდუზ. (ბორჯომი)	12,7	36	1800
კობოლუღი (საჩხერე)	13,7	33	790
არაგიალი (ნინოწმინდა)	16	50	1890
არაგვა (ახალქალაქი)	17,3	74	1669
ყაზბეგი (ყაზბეგი)	17,8	86	1750
ზეკარის უღელტ. (ბაღდათი)	17,8	100	2182
ტაბაწყური (ბორჯომი)	19,8	33	2000
საღამო (ნინოწმინდა)	21,2	36	1996
ეფრემოვკა (ნინოწმინდა)	24,9	90	2110
ბახმარო (ჩოხატაური)	27,5	135	1926
ერმანი (ჯავა)	28,9	64	2220
გაგრის ქედი (გაგრა)	29	73	2432
მთა-საბუეთი (ხარაგაული)	29,5	105	1248
ფოკა (ნინოწმინდა)	31,3	63	2080
ჯვრის უღელტ. (ყაზბეგი)	39	70	2380
ფარავანი (ნინოწმინდა)	42,9	117	2073
გოდერძის უღელტ. (ხულო)	78,8	162	2025
ცხრაწყარო (ბორჯომი)	90,4	163	2462
ყაზბეგი მ/მ (ყაზბეგი)	129	346	3665
მამისონის უღელტ. (ონი)	146,3	235	2854

როგორც ცხრ. 1-დან ირკვევა ქარბუქიან დღეთა საშუალო რიცხვის მაღალი მანვენებელი უმეტესად დაიკვირვება სამხრეთ საქართველოს ტერიტორიაზე, ჯავახეთის ზეგანზე, სადაც ქარბუქის წარმოშობისათვის და განვითარებისთვის ხელსაყრელი კლიმატური პირობებია შექმნილი. ასევე ცხრილი 1-დან ირკვევა, რომ 10-ზე მეტი საშუალო დღეთა რიცხვი წლის განმავლობაში ფიქსირდება ზღვის დონიდან 1000 მ – დან და მაღლა და ადგილის სიმაღლის ზრდასთან ერთად ძირითადად ხასიათდება დღეთა რიცხვის მატებით.

მნიშვნელოვანია აგრეთვე ქარბუქიან დღეთა რიცხვის საქართველოს მთელს ტერიტორიაზე განაწილების ზოგადი სურათის ასახვა, რისთვისაც ჩვენს მიერ შედგენილი იქნა შესაბამისი გეოინფორმაციული რუკა (ნახ. 1). რუკა შედგენილია ქარბუქიან დღეთა რიცხვის არსებული მონაცემების დამუშავებისა და ანალიზის საფუძველზე ბოლო 50 წლისთვის და გვიჩვენებს ქარბუქიან დღეთა უდიდესი რიცხვის განაწილებას წლის განმავლობაში საქართველოსთვის.



ნახ.1 ქარბუქიან დღეთა უდიდესი რიცხვი 1966-2017 წლების მონაცემების მიხედვით.

როგორც ნახ. 1-დან ჩანს ქარბუქიან დღეთა უდიდესი რიცხვის ყველაზე მაღალი მაჩვენებელი (200 და მეტი) საქართველოს ჩრდილოეთი ნაწილის მაღალმთიან რაიონებში, შედარებით მცირე მონაკვეთზე დაიკვირვება, კერძოდ ყაზბეგის მაღალმთიან და მამისონის უღელტეხილის გასწვრივ, ხოლო ქვეყნის უდიდეს ტერიტორიაზე, როგორც დასავლეთ ისე აღმოსავლეთ საქართველოში ქარბუქიან დღეთა უდიდესი რიცხვის მაჩვენებელი 10 და ნაკლებია წლის განმავლობაში.

ბოლო 50 წლის სტატისტიკური მონაცემების დამუშავებისა და მათი ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ ქარბუქიან დღეთა რიცხვი საქართველოში განსაკუთრებით მაღალია კავკასიონის მთათა სისტემის გასწვრივ, აგრეთვე, ლიხის, თრიალეთისა და გომბორის ქედების გაყოლებაზე და აჭარისა და სამცხე-ჯავახეთის მთიანეთში. ხოლო დანარჩენ ტერიტორიაზე ეს მაჩვენებელი არც ისე მაღალია, განსაკუთრებით უმნიშვნელოა იგი შავი ზღვის სანაპიროზე და კოლხეთის დაბლობზე, აგრეთვე კახეთის სამხრეთ და აღმოსავლეთ ნაწილში.

ლიტერატურა - REFERENCES –ЛИТЕРАТУРА

1. სამუკაშვილი რ., ამინდის საშიში მოვლენები, ქარბუქი//ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, საქართველოს ჰავა 5. შიდა ქართლი, თბილისი, 2015, ტ.122, გვ.82-87.
2. სამუკაშვილი რ., ამინდის საშიში მოვლენები, ქარბუქი//სტუ-ის ჰმი-ის შრომები, საქართველოს ჰავა 4. გურია, თბილისი, 2011, ტ.118, გვ.72-74.
3. პაპინაშვილი ლ., ამინდის საშიში მოვლენები, ქარბუქი//საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, საქართველოს ჰავა 1. აჭარა, თბილისი, 2003, ტ.110, გვ.114-119.

ქარბუქიან დღეთა რიცხვი საქართველოში 1966-2017 წლების სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით /ფიფია მ., ბეგლარაშვილი ნ./სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.63-66 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

საერთო ჯამში 85 მეტეოროლოგიურ სადგურსა და საგუმავოზე არსებული მასალების საფუძველზე შესწავლილია ქარბუქიან დღეთა რიცხვის 1966-2017 წლების სტატისტიკური

მონაცემები. განაწილებულია როგორც საშუალო ასევე უდიდეს დღეთა რიცხვის წლიური განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე. შედგენილია ქარბუქიან უდიდეს დღეთა რიცხვის განაწილების გეოინფორმაციული რუკა საქართველოსთვის.

Number of days with a blizzard in Georgia according to statistics from 1966-2017 /Pipia M., Beglarashvili N./Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.63-66. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

In general, on the basis of materials of 85 meteorological stations and posts, was studied the number of days with a blizzard of 1966-2017. Analyzed the annual distribution of both the average and maximum number of days with a blizzard on the territory of Georgia. Was created a geo-information map of distribution of the maximum number of days with a blizzard for Georgia.

Число дней с метелью в Грузии по статистическим данным 1966-2017 годов /Пипия М.Г., Бегларашвили Н.Г./Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.63-66. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В целом, на базе материалов 85 метеорологической станции и постов было изучено статистические данные число дней с метелью 1966-2017 годов. Проанализировано ежегодное распределение как среднего так и наибольшего число дней с метелью на территории Грузии. было создано геоинформационная карта распространения наибольшего число дней с метелью для Грузии.

უკ 504.064

ლისის ტბის წყლის ჰიდროქიმიური მდგომარეობის დახასიათება

ლ.ინწკირველი, ა.სურმავა, ნ.გიგაური

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი
ვლ.კომაროვის თბილისის ფიზიკა-მათემატიკის № 199 საჯარო სკოლა

საქართველო მდიდარია წყლის რესურსებით, მაგრამ ადამიანის სამეურნეო საქმიანობის გააქტიურებისა და ტექნიკური პროგრესის პირობებში სულ უფრო იზრდება წყლებზე ანთროპოგენული ზემოქმედების ინტენსივობა და მისი დაბინძურების საფრთხეც. ბოლო წლების განმავლობაში სწრაფი ტემპებით გაიზარდა წყლის მოხმარებაც, როგორც ქალაქებში, ისე სოფლებში. შესაბამისად, მომატა და ფართო ხასიათი მიიღო წყლის დატუჭყიანებამაც, რაც მდინარეებსა და წყალსატევებში ჭუჭყიანი წყლის შერევითაა განპირობებული. წყლის რესურსების მართვა საქართველოში მოქმედი კანონებით რეგულირდება, მაგრამ არანაკლებ მნიშვნელოვანია ადამიანების თვითშეგნება, რაც განაპირობებს მათ დამოკიდებულებას ქვეყნის ეკოლოგიური პრობლემების მიმართ. ეს თვითშეგნება და გარემოზე ზრუნვის ჩვევა ადამიანებში ბავშვობიდან უნდა ჩამოყალიბდეს, სწორედ ამ პრობლემას ემსახურება წარმოდგენილი სტატია, რომლის მიზანი იყო სკოლის მოსწავლეები გაცნობოდნენ გარემოსდაცვით საკითხებს, შეეფასებინათ გარემოს კომპონენტებზე ანთროპოგენული დატვირთვის გავლენა და მისი ნეგატიური შედეგები. კვლევის ობიექტად არჩეულია ლისის ტბის დაბინძურების მონიტორინგი, სადაც დღეს არ ტარდება სისტემატური დაკვირვებები, ხოლო ანთროპოგენული დატვირთვა კი დღითიდღე ძლიერდება. ლისის ტბა თბილისის ქვაბულშია განთავსებული, ქალაქის ჩრდილო-დასავლეთით. ტბის მიდამოების კეთილმოწყობა 1937 წლიდან დაიწყო. ამჟამად ლისის ტბა ქალაქის ერთ-ერთი ყველაზე პოპულარული გამაჯანსაღებელი დადასასვენებელი ზონაა. 2007 წელს მის სიახლოვეს გაიხსნა თბილისის ახალი იპოდრომი, რომელიც 31 ჰა ტერიტორიას მოიცავს და ცხენოსნობის მოყვარულებისთვის უსაყვარლესი ადგილია. ბოლო წლებში ლისის ტბის სანაპირო ზოლს რეაბილიტაცია ჩაუტარდა: განახლდა სარეკრეაციო ზონა, მოეწყო პლაჟი და დაიგო სანაპირო ბილიკი. მომავალში დაგეგმილია ტბის სრულ პერიმეტრზე სხვადასხვა დასასვენებელი და კულტურული ცენტრის გაშენება. ამოქმედდება ახალი თერმული აბანო (ტბის შემოგარენში რამდენიმე თერმული წყაროა), მისი კეთილმოწყობის შემდეგ, მნიშვნელოვნად გაიზარდა მოქალაქეთა ნაკადი და, შესაბამისად, მოსალოდნელია გაიზარდოს ანთროპოგენული დატვირთვაც მასზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე მნიშვნელოვანია ლისის ტბის დაბინძურების მონიტორინგი. დასმული პრობლემის აქტუალობაზე მეტყველებს ის ფაქტიც, რომ რამდენიმე ათეული წელია, რაც წყლის პრობლემატიკამ მნიშვნელოვანი ადგილი დაიკავა საერთაშორისო საზოგადოების დღის წესრიგში. წყლის დაბინძურება საქართველოშიც ერთ-ერთ მნიშვნელოვან პრობლემად იქცა. ამ პრობლებში განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება წყლის ხარისხის მონიტორინგს, რომელიც კვლევის ფარგლებში ჩატარდა ლისის ტბაზე ჩვენს მიერ.

ლისის ტბაზე ჩატარებული კომპლექსური კვლევისათვის (ჰიდროქიმიური, ფიზიკურ-ქიმიური, და მიკრობიოლოგიური) გამოყენებულია თანამედროვე, სავსე პირობებში გამზომი მობილური აპარატი და უახლესი ლაბორატორიული ტექნიკა და საერთაშორისო დონეზე აღიარებული მეთოდები [1-5]. კვლევის მიზნებიდან და ამოცანებიდან გამომდინარე გამოყენებულია მხოლოდ ლიცენზირებული ISO სტანდარტები QA/QC (ხარისხის შეფასება/ხარისხის კონტროლი) [ISO 17025] დაცვით. კვლევის პროცესში დაკვირვების წერტილების შერჩევის შემდეგ (ნახ.1) ჩატარებულია ოთხი ექსპედიციური გასვლა და საანალიზოდ აღებულია 13 საანალიზო ნიმუში, გამოყენებულია გრეთვე გარემოს ეროვნული სააგენტოს მონაცემებიც [6].



ნახაზი 1. ლისის ტბაზე შერჩეული დაკვირვების წერტილები.

წყლის ორგანოლექტიკური მაჩვენებლებიდან ერთ-ერთი უმნიშვნელოვანესია ტემპერატურა, რომელიც გარკვეულწილად გვიჩვენებს წყლის ხარისხის ცვლილების სიჩქარესა და მიმართულებას. იგი გავლენას ახდენს წყალსაცავში მიმდინარე ფიზიკურ, ქიმიურ და ბიოლოგიურ პროცესებზე, რომლებიც ფაქტიურად განსაზღვრავენ წყლის ჟანგბადურ რეჟიმს, თვით-გასუფთავების პროცესის ინტენსივობას და ა.შ. კვლევის პერიოდში ღისის ტბის წყლის თერმიულ დაბინძურებას ადგილი არ ქონია, მისი მნიშვნელობა სეზონების მიხედვით მერყეობდა 4 -16°C ფარგლებში.

წყლის ხარისხის დასახასიათებლად ერთ-ერთი ყველაზე უფრო ინფორმატიული მაჩვენებელია ე.წ. წყალბადმაჩვენებელი - pH. იგი განსაზღვრავს წყლი ბუნებრივ თვისებებს და ამაუღროულად, წარმოადგენს მისი დაბინძურების მაჩვენებელს, სუფთა წყლებში pH-ის მნიშვნელობა მერყეობს 6.5-8.5-ის ფარგლებში. დაკვირვებებმა გვიჩვენა, რომ ღისის ტბის წყალი ხასიათდება სუსტი ტუტე არით. pH-ის მნიშვნელობა ნორმის ზედა ზღვართან არის ახლოს და მერყეობს pH=8.00 - 8.27-ის ფარგლებში. აქედან გამომდინარე წყალში არ არის მოსალოდნელი მძიმე ლითონების შემცველობა გახსნილ ფორმაში, წყლის სუსტი ტუტე გარემო (pH=8) განაპირობებს მათ ჰიდროლიზს და ისინი ილექებიან ტბის ფსკერზე ჰიდროქსიდების სახით. წყლის ხარისხის სანიტარული მახასიათებლებიდან გამოვყავით: ჟანგბადის ბიოლოგიური მოთხოვნილება (ჟბმ), გახსნილი ჟანგბადი და ბიოგენური ნაერთები: ამონიუმის მარილები, ნიტრიტები, ნიტრატები და ფოსფატები. ანალიზის შედეგები წარმოდგენილია ცხრ.1-ში

ცხრილი 1. ჟბმ-ის, გახსნილი ჟანგბადის, ამონიუმის იონის, ნიტრიტების, ნიტრატებისა და ფოსფატების მინიმალური და მაქსიმალური შემცველობები (მგ/ლ) ღისის ტბის წყალში

დასახელება	ზღკ, მგ/ლ	მინიმუმი	მაქსიმუმი
ჟბმ	6	2.3	3.4
გახსნილი ჟანგბადი(O ₂)	4-6	4.1	8.1
ამონიუმის იონი (NH ₄ ⁺)	0.39	0.51	1.7
ნიტრიტები (NO ₂ ⁻)	1.0	<0,001	0.09
ნიტრატები (NO ₃ ⁻)	10.0	u0.003	0.053
ფოსფატები (PO ₄ ³⁻)	3.5	0.046	0.824

ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, რომ განსაზღვრული ინგრედიენტებიდან შესაბამის ზღვრულად დასაშვებ კონცენტრაციას აჭარბებს მხოლოდ გახსნილი ჟანგბადის მაქსიმალური მნიშვნელობა და ამონიუმის იონი - ყველა შემთხვევაში. როცა ისაზღვრებოდა ნიტრიტების, ნიტრატების და ფოსფატების შემცველობა ღისის ტბის წყალში, მათი კონცენტრაციები ბევრად ნაკლები იყო შესაბამისი ზღკ-ს მნიშვნელობაზე. ჩვენს მიერ ჩატარებული მონიტორინგის პერიოდში ღისის ტბის წყლებში აღინიშნებოდა მხოლოდ ამონიუმის იონის მაღალი შემცველობა (1.5 – 3 ზღკ), რაც მიგვიბრუნებს, რომ აქ ჭარბობს იმ პროცესების ინტენსივობა, რომლებიც განაპირობებენ მის დაგროვებას ანუ ცილოვანი ნაერთების დეგრადაცია, ამინომჟავების დეზამინირება და ა.შ.

ჩატარებულმა მონიტორინგმა გვიჩვენა, რომ ღისის ტბის წყალში მაღალია მინერალიზაცია და შესაბამისად, ელგამტარობაც. ხოლო შეწონილ ნაწილაკთა შემცველობა 50 - 65 მგ/ლ-ის ფარგლებში მერყეობს. ღისის ტბის წყალში მთავარი იონების კონცენტრაციების მაქსიმალური და მინიმალური მნიშვნელობები წარმოდგენილია ცხრ.2-ში.

ცხრილი 2. მთავარი იონების მინიმალური და მაქსიმალური შემცველობები(მგ/ლ)

დასახელება	ზღკ, მგ/ლ	მინიმუმი	მაქსიმუმი
სულფატები	500	2592.4	2751.4
ქლორიდები	350	160.0	183.3
ჰიდროკარბონატები		238.3	266.9
კალიუმი	50	2.6	2.9
ნატრიუმი	200	85.5	110.1
კალციუმი	180	218.5	336.2
მაგნიუმი	40	49.3	57.3

ცხრილი 2-ის მონაცემთა ანალიზის საფუძველზე შეიძლება ვთქვათ, რომ ანიონებიდან ქლორიდების მაქსიმალური კონცენტრაცია კი, ყოველთვის ნაკლებია შესაბამისი ზღკ-ს მნიშვნელობაზე. ხოლო სულფატების კონცენტრაციის მინიმალური მნიშვნელობაც კი 5-ჯერ

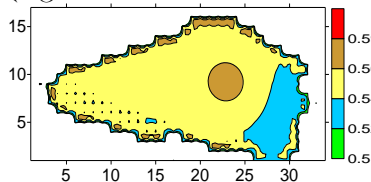
და უფრო მეტად აჭარბებს შესაბამის ზღკ-ს. ჰიდროკარბონატების კონცენტრაციები მერყეობს 238-267 მგ/ლ ფარგლებში. კათიონებიდან ყოველთვის ნორმის ფარგლებშია ნატრიუმის და კალიუმის შემცველობები, ამასთან ნატრიუმის შემცველობა ბევრად აჭარბებს კალიუმისას. რაც შეეხება კალციუმის და მაგნიუმის შემცველობებს, მათი კონცენტრაციები ყოველთვის აჭარბებენ შესაბამისი ზღკ-ს მნიშვნელობებს და კალციუმის შემცველობა 4-5-ჯერ მეტია მაგნიუმის შემცველობაზე. ამრიგად, დავასკვნით, რომ ლისის ტბის წყალი სულფატურია კალციუმის და მაგნიუმის მაღალი შემცველობით, რაც განაპირობებს წყლის მაღალ სიხისტეს 16-22 მგ/ლ ფარგლებში. ლისის ტბის წყლის მაღალ სულფატურობას კი განაპირობებს ამ მიდამოებში არსებული გოგირდიანი თერმიული წყლები.

სანიტარულ მდგომარეობას გადამწყვეტი მნიშვნელობა ენიჭება წყლის ხარისხის შეფასებისათვის. ამ მიზნით გამოვიყენეთ შემდეგი პარამეტრები და მეთოდები: ჰეტეროტროფული (მეზოფილური აერობები და ფაკულტატური ანაერობების) ბაქტერიების საერთო რიცხვის განსაზღვრა და აღრიცხვა (ISO 17994:2004 მეთოდით); ნაწლავური ენტეროკოკების (ენტეროცოცუს ფაეცალის) - ფეკალური კოლიფორმების განსაზღვრა და აღრიცხვა (ISO 7899-2:2000 მეთოდით); ტოტალური კოლიფორმებისა და *Escherichia coli* - ს (*E.coli*) განსაზღვრა და აღრიცხვა (*E.coli* ISO 0157:H7 მეთოდით). ოთხი ექსპედიციის პერიოდში აღებული სინჯების გასაშუალოებული მონაცემები წარმოდგენილია ცხრ.3-ში.

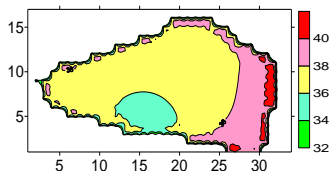
ცხრილი 3. ლისის ტბის წყლის ნიმუშების მიკრობიოლოგიური ანალიზის გასაშუალოებული შედეგები

დაკვირვების წერტილები	ტოტალური კოლიფორმები 1დმ ³ -ში	E-coli, 1დმ ³ -ში	ფეკალური სტრეპტოკოკები, 1დმ ³ -ში
1	1283,33	303,3	44,33
2	306,67	199,0	44,33
3	1197,50	215,5	30,50
4	310,00	214,5	43,00
5	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
6	104,00	არ აღმოჩნდა	არ აღმოჩნდა
7	101,00	არ აღმოჩნდა	21,00

ცხრილი 3-ის მონაცემები გვაძლევს საშუალებას დავასკვნათ, რომ ლისის ტბაზე ჩატარებული მიკრობიოლოგიური მონიტორინგის პერიოდში *E-coli*-ის მაღალი კონცენტრაციები არ დაფიქსირებულა, მისი მნიშვნელობა მერყეობდა 200-400 ერთ/ლ-ის ფარგლებში. იდენტიფიცირებული კოლიფორმების და ფეკალური სტრეპტოკოკების კონცენტრაციები კი მიგვანიშნებენ წყლის მცირე დაბინძურებას. ნახ. 2 და 3-ზე წარმოდგენილია ამონიუმის იონისა და ფეკალური სტრეპტოკოკების განაწილება ლისის ტბის წყალში, რომელიც მიღებულია მონაცემთა ინტერპოლაციით



ნახ. 2. ამონიუმის იონის (მგN/ლ) განაწილება ლისის ტბის წყალში 29.11.2017



ნახ. 3. ფეკალური სტრეპტოკოკების განაწილება ლისის ტბის წყალში 29.11.2017

დასკვნა. კვლევის პერიოდში მიღებული შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ ლისის ტბის წყალი არის მაღალმინერალიზებული (2500-3000 მგ/ლ), სულფატური, კალციუმის და მაგნიუმის მაღალი შემცველობით, რაც განაპირობებს მისი წყლების მაღალ სიხისტეს 16-22 მგ/ლ ფარგლებში. ლისის ტბის წყლის მაღალი სულფატურობა კი განაპირობებულია ამ მიდამოებში არსებული გოგირდიანი თერმიული წყლებით.

წყლის ხარისხის სანიტარული მაჩვენებლებიდან ლისის ტბის წყლებში შესაბამის ზღკ-ს მნიშვნელობას აჭარბებს მხოლოდ გახსნილი ჟანგბადის მაქსიმალური კონცენტრაცია და

ამონიუმის იონები - ყველა შემთხვევაში. ნიტრიტების, ნიტრატების და ფოსფატების კონცენტრაციები ბევრად ნაკლები იყო შესაბამისი ზღვა-ს მნიშვნელობაზე.

ლისის ტბაზე ჩატარებულმა მიკრობიოლოგიურმა მონიტორინგმა გვიჩვენა, რომ კვლევის პერიოდში E-coli-ის მაღალი კონცენტრაციები არ დაფიქსირებულა, მისი მნიშვნელობა მერყეობდა 200-4000 ერთ/ლ-ის ფარგლებში. იდენტიფიცირებული კოლიფორმების და ფეკალური სტრეპტოკოკების კონცენტრაციები კი მიგვანიშნებენ წყლის მცირე დაბინძურებას. აქვე აუცილებელია აღინიშნოს, რომ ჩვენი დაკვირვებები მიმდინარეობდა გვიან შემოდგომაზე და ზამთარში, როცა წყალში ბიოქიმიური პროცესების ინტენსივობა შემცირებულია, ამიტომ, გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში, როცა სავარაუდოდ შეიძლება შეიცვალოს წყალში მიმდინარე ბიოქიმიური პროცესების ინტენსივობა აუცილებელია კვლავ ჩატარდეს ლისის ტბაზე მიკრობიოლოგიური მონიტორინგი.

ლიტერატურა – REFERENCES - ЛИТЕРАТУРА

1. გ.სუპატაშვილი - გარემოს ქიმია (ეკოქიმია), თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 187 გვ., 2009.
2. Супаташвили Г.Д. - Гидрохимия - Грузии (пресные воды) - Изд.Тбилисского Университета,Тбилиси,399 ст.,2003.
3. Фомин Г.С., Фомин А.Г. - Вода. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. Москва, 2001.
4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. - Гидрометеоиздат, Ленинград, 240 ст., 1983
5. ლიცენზირებული საერთაშორისო ISO სტანდარტები QA/QC (ხარისხის შეფასება/ ხარისხის კონტროლი) [ISO 17025]
6. გარემოს ეროვნული სააგენტოს ვებ. გვერდი -nea.gov.ge

ლისის ტბის წყლის ჰიდრობიოქიმიური მდგომარეობის დახასიათება /ლ.ინწკირველი, ა.სურმავა, ნ.გიგაური/სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.67-70 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

ჩატარდა ლისის ტბის წყლის ბიოქიმიური მონიტორინგი და წყლის ხარისხის კონტროლი. შეფასებულია ლისის ტბის წყლის არსებული ეკოლოგიური მდგომარეობა. დაზუსტებულია წყლის დამაჭუჭყიანებელ ინგრედიენტთა ნუსხა და შეფასებულია წყლის ხარისხი, შესწავლილია ანთროპოგენული დატვირთვა ლისის ტბის წყლის შემადგენლობაზე. შემუშავებულია რეკომენდაციები ლისის ტბის წყლის ხარისხის გასაუმჯობესებლად. სამუშაოს შესრულებაში მონაწილეობას იღებდნენ ვლ.კომაროვის თბილისის ფიზიკა-მათემატიკის № 199 საჯარო სკოლის 8 და 9 კლასის მოსწავლეები. სამუშაო შესრულებულია სსიპ შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის დაფინანსებით, გრანტი №S C R / 6 / 7 / 2017.

Evaluation of the Hydrobiochemical State of the Lisi Lake./Intskirveli L.,Surmava A.,Gigauri N./Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.67-70. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

Biochemical monitoring and quality control of the waters of Lake Lysi were carried out. The quality and modern ecological state of the lake water are assessed and its pollutants are specified. The anthropogenic load determining the chemical composition of the waters of Lake Lysi is estimated. To improve the quality of lake waters, recommendations have been developed. The work was carried out jointly by the schoolchildren of Tbilisi V.Komarovi Physics and Mathematics 199-th Public School. The work is funded by the Shota Rustaveli National Science Foundation, grant №. S C R / 6/7/2017.

Оценка гидробиохимического состояние вод озера Лиси./Инцкирвели Л.Н., Сурмиава А.А., Гигаური Н.Г./Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.67-70. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Проведены биохимический мониторинг и контроль качества вод оз.Лиси. Оценены качество и современное экологическое состояние воды озера и уточнены ее загрязнители. Дана оценка антропогенной нагрузке, определяющей химический состав вод оз.Лиси. С целью улучшения качества вод озера разработаны рекомендации. Работа выполнено совместно школьников Тбилисской физико-математической 199-ой публичной школы им. Вл.Комарова. Работа финансирована Национальным научным фондом Sh.Руставели, грант № S C R / 6 / 7 / 2017.

უაკ 504.3.054;004.942

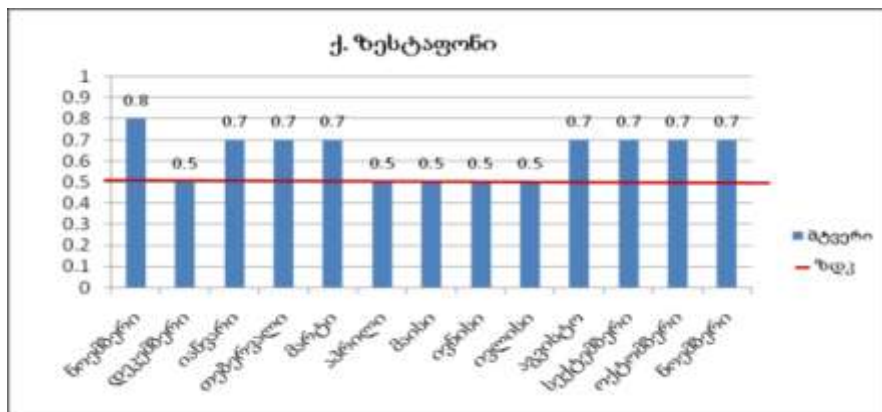
ქალაქ ზესტაფონის ატმოსფეროში მტვრის ბავრცელების შეფასება რიცხვითი მოღველირებით

ბ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინწკირველი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

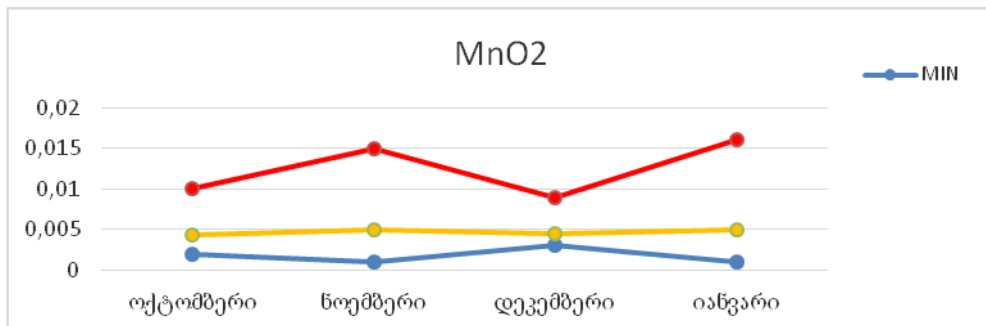
ეკოლოგიური პრობლემები სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის თანმდევი მოვლენაა. იგი დღესაც აქტუალურია, ამიტომ არის, რომ ადამიანთა ჯანმრთელობის დაცვა და უსაფრთხო სასიცოცხლო გარემოს შენარჩუნება ნებისმიერი სახელმწიფოსათვის (მათ შორის საქართველოსთვისაც) უპირველესი ამოცანაა [1].

საქართველოში ატმოსფერული ჰაერის დაბინძურების ძირითადი წყაროებია: ავტოტრანსპორტი, ენერგეტიკული სექტორი, სამრეწველო ობიექტები და სოფლის მეურნეობის დარგები. სამრეწველო ზონიდან ეკოლოგიურად ერთ-ერთ რთულ რეგიონს მიეკუთვნება ზესტაფონის რაიონი, სადაც გადამუშავდება მანგანუმის კონცენტრანტი. პროცესი ხორციელდება ქ. ზესტაფონში მდებარე საერთაშორისო მნიშვნელობის შავი მეტალურგიის ობიექტში - ზესტაფონის ფეროშენადნობთა ქარხანაში (კომპანია „ჯორჯიან მანგანეზი“). აქ ყოველწლიურად იწარმოება 100000 ტ-ზე მეტი მაღალი ხარისხის ფერომანგანუმის შენადნობი. ამჟამად დანერგილია აგრეთვე, კალციუმის კარბიდისა და მანგანუმის რექსტრაგირების ტექნოლოგია. მანგანუმის კონცენტრატისა და ფერომანგანუმის მიღებას თან ახლავს მტვრის სახით მანგანუმის სხვადასხვა შენაერთის გავრცელება საკვლევ რეგიონის გარემოს ობიექტებში. დაკვირვებები აჩვენებენ, რომ ქალაქის შედარებით სუფთა, საცხოვრებელ ზონაში განლაგებულ სტაციონალური დაკვირვების პუნქტშიც კი, ჰაერში მტვრის კონცენტრაცია ტოლია ან აღემატება ერთჯერად ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციის მნიშვნელობას ($\text{ზღვ} = 0,5 \text{ მგ/მ}^3$ (ნახ. 1) [2].



ნახ. 1. მტვრის საშუალო თვიური კონცენტრაციები (მგ/მ³) 2016 წ. ნოემბრიდან 2017 წ. დეკემბრამდე

მრავალწლიური დაკვირვების შედეგების ანალიზმა გვიჩვენა, რომ როგორც მტვრის, ასევე მანგანუმის დიოქსიდის კონცენტრაციები ატმოსფერულ ჰაერში (ნახ.2) ხშირად აღემატება შესაბამისი ზღვ-ს მნიშვნელობებს და ზოგჯერ მნიშვნელოვნადაც.



ნახ.2. მანგანუმის დიოქსიდის საშუალო თვიური კონცენტრაციები (მგ/მ³) 2016 წ. ოქტომბრიდან 2017 წ. იანვრამდე

ცნობილია, რომ როგორც მტვერი, ასევე მანგანუმის დიოქსიდი ატმოსფერულ ჰაერში შემავალი მავნე ნივთიერებების ჩამონათვალს განეკუთვნებიან და ზღვრული ნორმის გადაჭარბება ადამიანის ჯანმრთელობისათვის გარკვეულ რისკებს შეიცავს. ცხადია, ასეთ ვითარებაში ქალაქის ცენტრში, ერთ წერტილში აღებული ნიმუშის ანალიზით ვერ მივიღებთ რეგიონში არსებული მდგომარეობის რეალურ სურათს. ამიტომ მნიშვნელოვანია ატმოსფეროში მოხვედრილი დამაბინძურებელი ნივთიერებების გავრცელების კანონზომიერების, დაგროვებისა და გაზრდილი კონცენტრაციის ლოკაციის და მიგრაციის განსაზღვრისათვის გამოვიყენოთ მათემატიკური მოდელირების მეთოდი.

ზესტაფონის რეგიონს გააჩნია რთული რელიეფი. იქ ერთმანეთს ენაცვლება დაბლობი ტერიტორია, მერიდიანულად და პარალელების გასწვრივ ორიენტირებული მეზომასწიბების ქედები და ქედთაშორისი ხეობები. 50 კმ რადიუსის ფარგლებში რელიეფის სიმაღლე იცვლება 50 მ-დან 2,5 კმ-მდე. რელიეფის სირთულიდან გამომდინარე, მათემატიკური მოდელირებისათვის მიზანშეწონილია რელიეფის მომყოლ კორდინატთა სისტემის გამოყენება $\zeta = (z - \delta) / h$ სადაც $\delta(x, y)$ არის რელიეფის სიმაღლე; $h = H - \delta$; $H(t, x, y)$ არის ტროპოპაუზის სიმაღლე; t არის დრო; x, y და z არის აღმოსავლეთით და ჩრდილოეთით ვერტიკალურად მიმართული დეკარტეს კოორდინატების ღერძები.

ატმოსფერული მტვრის გავრცელების განტოლება (x, y, ζ) კოორდინატთა სისტემაში ჩაიწერება შემდეგი სახით:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (\tilde{w} - \frac{w_0}{h}) \frac{\partial C}{\partial \zeta} = \mu \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + \frac{1}{h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} v \frac{\partial C}{\partial \zeta} \quad (1),$$

სადაც C არის ატმოსფეროში მტვრის კონცენტრაცია; u, v, w და \tilde{w} არიან ქარის სიჩქარის მდგენელები x, y, z და ζ ღერძთა გასწვრივ. მათი მნიშვნელობები განისაზღვრებიან კავკასიის რეგიონში ატმოსფერული პროცესების განვითარების რეგიონალური მოდელის [3,4] საშუალებით, ფონური მეტეოროლოგიური სიტუაციების შესაბამისად; w_0 არის მტვრის დალექვის სიჩქარე; μ და ν – ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობის კინემატიკური კოეფიციენტებია; ჰაერის მიწისპირა ფენასა და თავისუფალ ატმოსფეროში ქარის სიჩქარისა და ტურბულენტობის კოეფიციენტების მნიშვნელობები განისაზღვრებიან [3, 5] მოცემული მეთოდით.

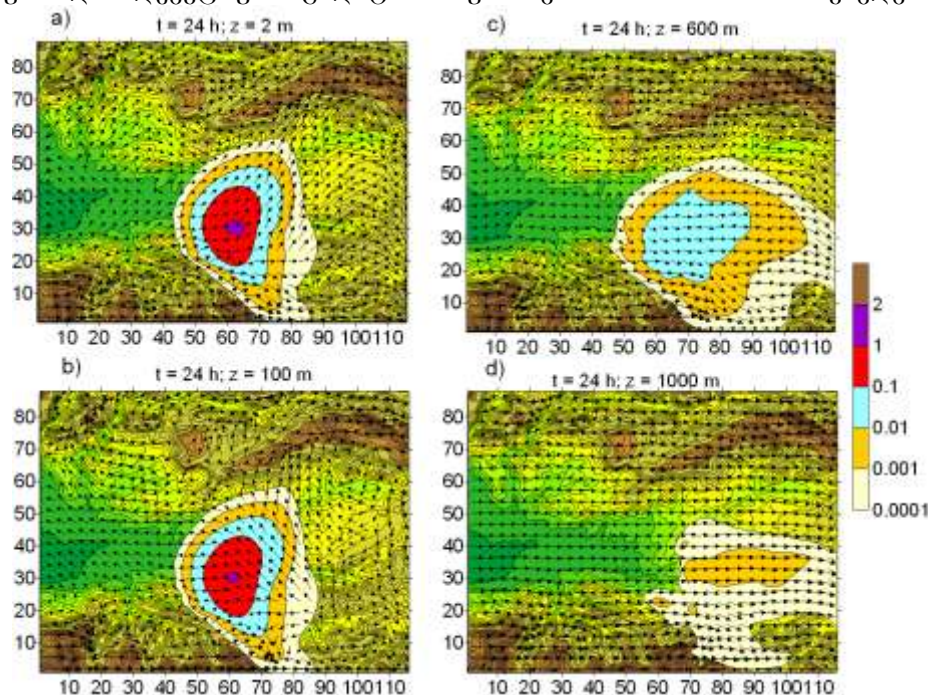
განტოლება (1) იხსნება რიცხობრივად შესაბამისი საწყისი და სასაზღვრო პირობების გამოყენებით, რომლებიც შეირჩევა კონკრეტული ამოცანისათვის. რიცხვითი ინტეგრირებისათვის გამოყენებულია $118 \times 90 \times 31$ წერტილებისაგან შემდგარი სივრცითი მართკუთხა სასრულ-სხვაობითი ბადე 0.8 კმ-იანი ჰორიზონტალური და 1/31 ვერტიკალური ბიჯით. მიწისპირა ფენის სისქე უდრის 100 მ. მიწისპირა ფენაში რიცხვითი ვერტიკალური ბადის წერტილების რაოდენობა 17-ია, ბადის ბიჯი იცვლება 2 მ-დან 15 მ-დე. დროითი ბიჯი უდრის 5 წამს.

მათემატიკური მოდელირებით გამოთვლილია ქ. ზესტაფონის ატმოსფეროში ემიტირებული ანთროპოგენული მტვრის გავრცელება სუსტი, საშუალო და ძლიერი დასავლეთის ფონური ქარის პირობებში. კონცენტრაციის საწყის და სასაზღვრო მონაცემებად ქ. ზესტაფონის ტერიტორიაზე აღებულია საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს მიერ ატმოსფეროში 2 მ სიმაღლეზე განსაზღვრული მტვრის საშუალო თვიური კონცენტრაცია $C = 0,8$ მგ/მ³ [2]. ბადის იმ წერტილებში, რომლებიც არ მიეკუთვნებიან ქალაქს, მტვრის საწყისი კონცენტრაციები ჩათვლილია ნულის ტოლად. მტვრის ნაწილაკების დიამეტრი უდრის 10 მკმ.

ნახ.3-ზე ნაჩვენებია ივნისში დასავლეთის სუსტი ქარის დროს გამოთვლილი მტვრის კონცენტრაციის სივრცითი განაწილება როცა $t=24$ სთ-ს და $z=2, 100, 600$ და 1000 მ. ნახაზზე მტვრის კონცენტრაციის იზოზოლები მოცემულია ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების (ზდკ) ერთეულებში (ზდკ=0.5 მგ/მ³).

ნახ.3-დან ჩანს, რომ ქალაქის ტერიტორიაზე მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია ნიდავის ზედაპირიდან 2 და 100 მ-ის სიმაღლეზე და უშუალოდ მის სიახლოვეს (ნახ. 3, a, b). მიწისპირა ატმოსფეროში მტვრის ღრუბელს აქვს ვერტიკალური ცილინდრის ფორმა, რომელიც დეფორმირებულია ჩრდილოეთის და სამხრეთის მიმართულებით. კონცენტრაცია 1-2 ზდკ მიღებულია უშუალოდ ქალაქის შემოგარენში 2 მ-ის სიმაღლეზე დაახლოებით 12 მ ფართობზე. ეს ზონა თანდათან მცირდება სიმაღლის ზრდასთან ერთად და 100 მ-ის სიმაღლეზე მაქსიმალური კონცენტრაცია აღინიშნება დაახლოებით 3 კმ ფართობზე. მტვერი

ვრცელდება როგორც ქარის, ასევე მის საპირისპირო მიმართულებით. მტვრის გავრცელება ქარის საპირისპირო მიმართულებით შედარებით მცირეა, რაც გამოწვეულია ჰორიზონტალური ტურბულენტური და ადვექციური გადატანის ურთიერთსაპირისპირო მოქმედებით.

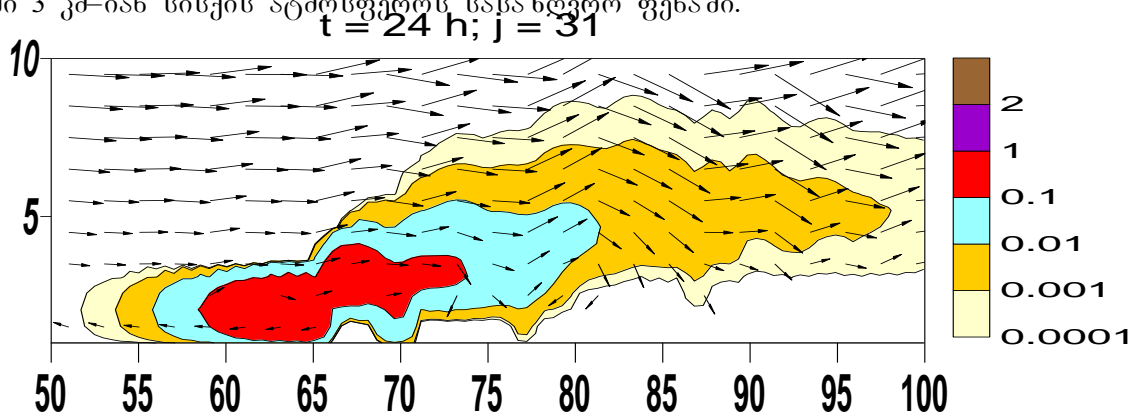


ნახ.3. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z=2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე, სუსტი დასავლეთის ქარის დროს, $t=24$ სთ

გამოთვლებით მიღებული დრუბლის ფორმა გვიჩვენებს, რომ ატმოსფეროს ზედა ფენებში მტვრის გაბნევის პროცესში ტურბულენტური დიფუზიისა და ჰორიზონტალური ადვექციის წილი სიდიდის მიხედვით დაახლოებით ერთნაირია. ამის შედეგად მტვრის დრუბელი მნიშვნელოვნად დეფორმირდება და იღებს წაგრძელებულ ფორმას, განსაკუთრებით ქარის სიჩქარის ლოკალური ზრდის ზონაში - მდ. ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების (ნახ. 3, a, b) გასწვრივ.

ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში (როცა $Z > 100$ მ) მტვრის გავრცელების ფართობი იზრდება. მტვრის ადვექცია აჭარბებს ტურბულენტურ დიფუზიას (ნახ. 3, c, d).

ეფექტი კარგად ჩანს ნახ. 4-ზე, სადაც წარმოდგენილია ქარის სიჩქარის ზონალური მდგენელისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ქ.ხესტაფონზე გამავალ XOZ სიბრტყის კვეთაში 3 კმ-იან სისქის ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენაში.

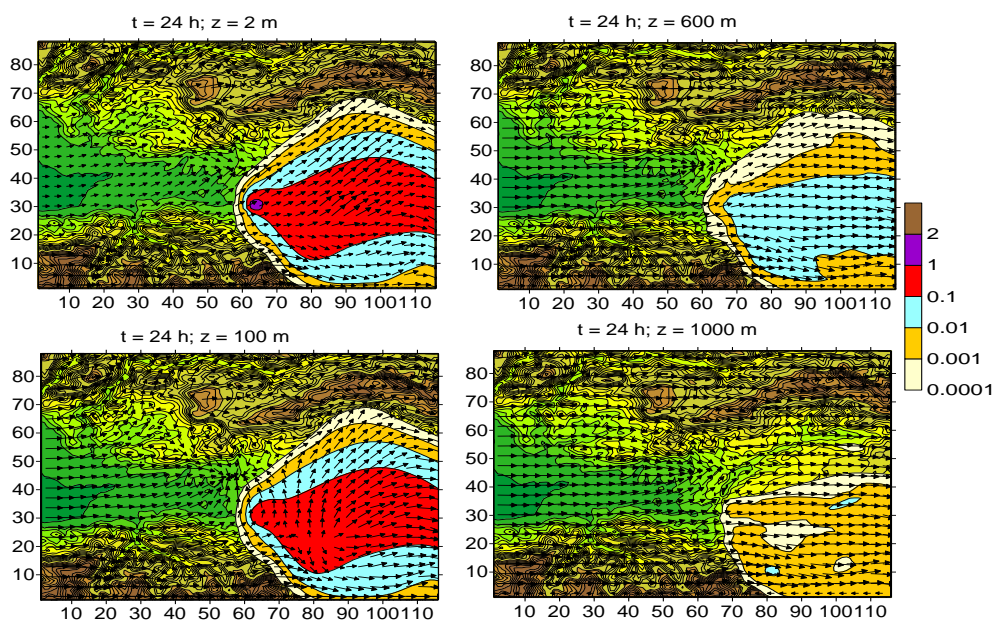


ნახ. 4. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ატმოსფეროს 3 კმ-იან ფენაში ქ.ხესტაფონის თავზე ($j=31$) XOZ სიბრტყეში

როგორც ნახ. 4-დან ჩანს, დამტვერიანების არე ქმნის ერთიან წაგრძელებულ დრუბელს ატმოსფეროს მიწისპირა 2 კმ-იან ფენაში. კონცენტრაცია 0.1-1 ზღკ მიღებულია დაახლოებით

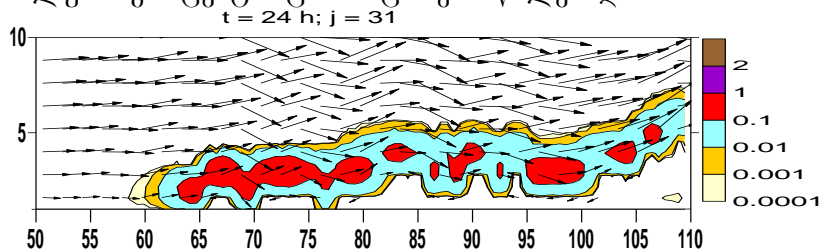
9 კმ სიგრძისა და 0.8 კმ სისქის, 0.01-0.1 ზდკ - 15 კმ სიგრძისა და 1.2 კმ სისქის, 0.01-0.001 ზდკ - 20 კმ სიგრძისა და 2 კმ სისქის ფენებში. ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით მტვერი ვრცელდება დაახლოებით 5 კმ მანძილზე, ხოლო ქარის მიმართულებით - 20 კმ-ზე. მტვრის განაწილება ღრუბელში არათანაბარია. კონცენტრაცია მაქსიმალურია ღრუბლის ცენტრალურ ნაწილში და თანდათან მცირდება პერიფერიებისკენ.

აღსანიშნავია, რომ საშუალო სიძლიერის ფონური ქარის დროს 24 საათის განმავლობაში მტვერი ვრცელდება მნიშვნელოვნად უფრო დიდ მანძილზე, ვიდრე სუსტი ფონური ქარის დროს (ნახ.5). ამასთან, მტვერი ვრცელდება როგორც ფონური ქარის, ასევე ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით. მნიშვნელოვანია ლიხის ქედის დინამიკური ზემოქმედება და ჰაერის კორიზონტალური ტურბულენტობის გავლენა მტვერის დიფუზიის პროცესზე. მათი მოქმედების შედეგად მტვრის ღრუბელი დეფორმირდება, ფართოვდება სივანეში და მტვერის გარკვეული ნაწილი ვრცელდება ურთიერთსაწინააღმდეგო მიმართულებით მდ. ყვირილასა და მდ. ჩხერიძელას ხეობების გასწვრივ. უნდა აღინიშნოს, რომ მტვრის ტურბულენტური გადატანა ატმოსფეროში სუსტია ადვექციურ გადატანასთან შედარებით, შედაგად, მტვერი ზესტაფონის შემოგარენში ქარის საწინააღმდეგო მიმართულებით პრაქტიკულად არ ვრცელდება.



ნახ. 5. ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება მიწის ზედაპირიდან $z = 2, 100, 600$ და 1000 მ სიმაღლეზე დასავლეთის საშუალო ქარის დროს, როცა $t = 24$ სთ-ს.

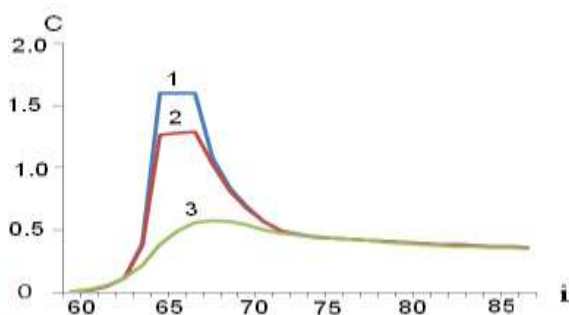
ნახ. 6-ზე ნაჩვენებია ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციის განაწილება ქ. ზესტაფონის თავზე XOZ სიბრტყეში ატმოსფეროს ქვედა 3 კმ-იანი ფენაში დასავლეთის საშუალო ფონური ქარის დროს. მტვრის კონცენტრაცია მაქსიმალურია მტვრის ღრუბლის ცენტრში და მცირდება მის ზედა და ქვედა საზღვრებისკენ. ოროგრაფიის ზემოქმედებით წარმოშობილი ლოკალური ვერტიკალური დინებები იწვევენ მტვრის ღრუბლის დეფორმაციას და ყოფენ მას მაქსიმალური კონცენტრაციის მცირე ნაწილებად.



ნახ. 6. XOZ სიბრტყეში ქარის სიჩქარისა და მტვრის კონცენტრაციები საშუალო სიჩქარის ქარის დროს

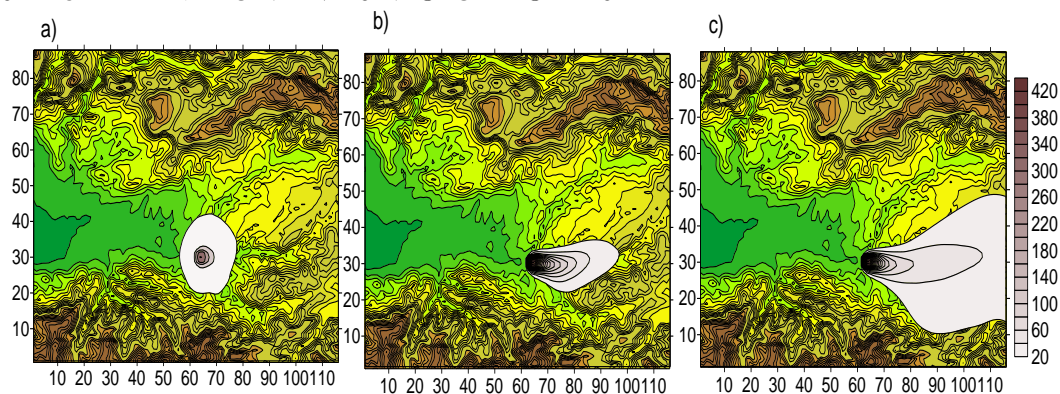
ძლიერი დასავლეთის ფონური ქარის შემთხვევაში თვისობრივად მიიღება მტვრის განაწილების იგივე სურათი ($u_{backg} \approx 10 \text{ m/s}$), რომელიც მიღებული იყო საშუალო ფონური ქარის დროს. განსხვავება რაოდენობრივია. ძლიერი ქარის დროს მტვრის ღრუბელი ვრცელდება მეტ ფართობზე და გადაადგილდება უფრო სწრაფად. გამოთვლების თანახმად, ძლიერი ქარის დროს გადატანის სიჩქარე შეადგენს ფონური სიჩქარის 0,8 - 0,6 ნაწილს.

მე-7 ნახ.-ზე ნაჩვენებია დასავლეთის ფონური საშუალო ქარის შემთხვევაში გამოთვლებით მიღებული კონცენტრაციის $C(x)$ გრაფიკები XOZ სიბრტყეში, როცა $z=2, 100$ და 600 მ (გრაფიკები 1, 2 და 3 შესაბამისად). ნახაზიდან ჩანს, რომ კონცენტრაცია მაქსიმალურია ქალაქის თავზე. დაბინძურების წყაროდან 5 კმ-ზე უფრო ნაკლებ მანძილზე ადგილი აქვს კონცენტრაციის ვერტიკალურ შემცირებას. ქალაქიდან 5 კმ-ზე მეტ მანძილზე, ატმოსფეროს 600 მ სისქის ფენაში კონცენტრაცია ვერტიკალური მიმართულებით ერთნაირია და თანდათანობით მცირდება ქალაქიდან დაშორებისას.



ნახ. 7. მტვრის კონცენტრაციის $C(x)$ გრაფიკები XOZ სიბრტყეში როცა $t = 24$ სთ

მე-8 ნახაზზე წარმოდგენილია 24 საათის განმავლობაში ნიადაგზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე სუსტი - a), საშუალო - b) და ძლიერი - b) ფონური დასავლეთის ქარების შემთხვევაში. წარმოდგენილი სურათიდან ჩანს, რომ სუსტი და საშუალო ფონური ქარის დროს მტვერი ეფინება მიწის ზედაპირის დაახლოებით 200 კმ² ფართობზე. დაფენის ზონებს გააჩნია წრიული და ელიფსური ფორმები.



ნახ. 8. მიწაზე დაფენილი მტვრის ზედაპირული სიმკვრივე (მგ/მ²)

ძლიერი ფონური ქარის დროს მტვრის დაფენის ზედაპირის ფართობი გაცილებით მეტია. ნიადაგზე მტვერის დაფენის არე წარმოადგენს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ მიმართულ ზოლს, რომლის სიგრძე აჭარბებს 50 კმ-ს, ხოლო სიგანე დაახლოებით 28 კმ-ია. ყველა განხილულ შემთხვევაში 24 საათის განმავლობაში მიწის ზედაპირის 1 მ² ფართობზე დაფენილი მტვრის მაქსიმალური რაოდენობა თითქმის ერთნაირია და შეადგენს 400 მგ-ს.

ამრიგად, ჩატარებულმა რიცხვითმა მოდელირებამ გამოავლინა ზოგიერთი მეტეოროლოგიური თავისებურებები, რომლებიც ახასიათებს ქალაქში არსებული მტვრის გაგრცელების პროცესს ზესტაფონის რეგიონში. სუსტი დასავლეთის ქარის შემთხვევაში ატმოსფეროს სასაზღვრო 100 მ მიწისპირა ფენაში ქ. ზესტაფონის თავზე კონცენტრაცია დაახლოებით ერთნაირია. მიწისპირა ფენის ზევით კონცენტრაცია სწრაფად მცირდება და 3 კმ სიმაღლეზე ხდება ნულის ტოლი. ვერტიკალურ პროფილში კონცენტრაცია მეტია ღრუბლის ცენტრში და მცირდება პერიფერიისკენ.

ოროგრაფია იწვევს დაბინძურების ღრუბლის დეფორმაციას. ლიხის ქედის ქარპირა მხარეს, ოროგრაფიის გავლენით, მტვრის გავრცელება აღმოსავლეთით მუხრუჭდება და იწვევს უპირატეს გადაადგილებას ჩრდილო-აღმოსავლეთის და სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებებით მდ. ყვირილასა და ჩხერიმელას ხეობების გასწვრივ. ამასთან, ქედის ქარპირა მხარეს, ოროგრაფიით გამოწვეული აღმავალი მოძრაობა ამცირებს მტვრის სედიმენტაციის პროცესს. შედეგად, დამტვერიანების წყაროდან საკმაოდ მოშორებით დალექილი მტვრის სიმკვრივე უმნიშვნელოა.

მნიშვნელოვანია გამოთვლებით მიღებული შედეგების შედარება რეალურთან. ამ მიზნით დაგეგმილია ნატურალური დაკვირვებების ჩატარება ზესტაფონის მიმდებარე ტერიტორიასზე.

მადლიერება. სამუშაო სრულდება სსიპ შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის დაფინანსებით. გრანტი № Doc-009 .

ლიტერატურა - REFERENCES –ЛИТЕРАТУРА

1. World health organization (2009). Global Health Risk: Mortality and Burden of Diseases Attributable to Selected Major Risks. p. 23-53.
2. Ed. Georgian National Environmental Agency. Short review of Georgia environment pollution. (2017). www.nea.gov.ge. (in Georgian).
3. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния рельефа Кавказского региона на распределение гидрометеорологических полей. Известия РАН, Физика атмосферы и океана, том 43, № 6, 2007, с.783-791.
4. А. Сурмава. Численное исследование локальных циркуляций в атмосфере Кахети в случае фонового восточного ветра. Труды Института геофизики им. Нодиа. 2017, т. LXVII, с. 20-36.
5. Kazakov, A. L., Lazriev, G. L. 1978. On parametrization of atmospheric boundary layer and active soil layer. *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. 15: 257-265.

ქალაქ ზესტაფონის ატმოსფეროში მტვრის გავრცელების შეფასება რიცხვითი მოდელირებით. /ნ. გიგაური, ლ. გვერდწითელი, ა. სურმავა, ლ. ინსკირველი/.სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.71-76 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

რიცხობრივად მოდელირებული და შესწავლილია ქ.ზესტაფონში არსებული მტვრის გავრცელება ფონური სუსტი დასავლეთის ქარის შემთხვევაში. მიღებულია მტვრის სივრცული განაწილების სურათები, გაანალიზებულია ოროგრაფიის, ჰორიზონტალური და ვერტიკალური ტურბულენტობისა და ადვექციური პროცესების გავლენა მტვრის გავრცელებაზე ატმოსფეროში.

Estimation of Dust Distribution in the Zestafony District by Numeral Modeling./N. Gigauri, L. Gverdtsiteli, A. Surmava, L. Intskirveli./Tansactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.71-76. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

Dispersion of dust emitted in the atmospheric air of Zestafoni city is numerically modelled and studied in case of weak background western winds. Dust spatial distribution patterns are obtained, and the influence of orography, horizontal and vertical turbulence and advective processes on dust distribution in the atmosphere is analyzed.

Оценка распространения пыли в воздухе Зестафонского района с помощью численного моделирования./Н. Гигаури, Л. Гвердтсители, А. Сурмава, Л. Интскирвели/Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.71-76. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Численно смоделировано и изучено распространение городской пыли в воздухе г.Зестафони при фоновом западном ветре. Получены картины пространственного распределения пыли, проанализированы влияния орографии, горизонтальной и вертикальной турбулентности и процесса адвекции на диффузии пыли в атмосфере

უაკ. 551.583

**წყლის ინტეგრირებული მართვის მოდელის WEAP-21 ბამოყენების ბამოცდილება
 ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, ს. მდივანი**

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი,
 თბილისი, საქართველო

უკანასკნელ პერიოდში, მტკნარი წყლის დეფიციტის საფრთხის წინაშე მდგომი მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში, დიდი აქტუალობა შეიძინა წყლის ინტეგრირებული მართვის პრობლემამ [1]. ამ საკითხის პრაქტიკული განხორციელებისათვის იქმნება მრავალი მოდელი, რომელთა შორის აღსანიშნავია მსოფლიოს მრავალ ქვეყანაში აპრობირებული წყლის მართვის მოდელი – WEAP 21 (Water Evaluation and Planning Version 21). აღნიშნული მოდელი ეყრდნობა ძირითად დაშვებას, რომლის თანახმად წყლის მიწოდება განისაზღვრება წყალშემკრების ტერიტორიაზე მოსული ატმოსფერული ნალექების ოდენობით, ადამიანის მოთხოვნილებათა დაკმაყოფილებითა და მისი ჩარევებით [2]. მოდელის თანახმად, აუზი თავად წარმოადგენს მოსული ნალექების გაყოფის საწყის ობიექტს დედამიწა-ატმოსფეროს ურთიერთქმედების შედეგად ევაპორანსპირაციის გზით. ეს პროცესი აღიწერება წყალბალანსური მოდელით, რომლითაც განისაზღვრება აორთქლების, ნალექების განაწილებისა და ჩამონადენის ფორმირების პროცესები, მიწისქვეშა წყლის შევსება და რწყვის მოთხოვნილება.

მოდელი განიხილავს ერთმანეთთან ურთიერთდაკავშირებულ მუნიციპალურ და სასოფლო-სამეურნეო სისტემებში წყლის რესურსების გამოყენების ისეთ საკითხებს, როგორცაა მრავალრიცხოვანი ზედაპირული და/ან მიწისქვეშა წყაროები, სექტორული მოთხოვნის ანალიზი, წყლის დაცვა, წყლის განაწილების პრიორიტეტები, წყლის ერთობლივი გამოყენება, წყალსაცავების საერთო მოხმარება და საფინანსო დაგეგმარება.

WEAP 21 მოდელი ეფუძნება მასის ბალანსის განტოლებას, ჩაწერილ შემდეგი სახით:

$$Sw_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{e,j}(t) \left(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}}{3} - P_e(t)z_{1,j}^2 - f_j k_j z_{1,j}^2 - (1-f_j)k_j z_{1,j}^2 \right)$$

სადაც Sw_j არის ნიადაგის წყალშემცველობა (მმ) მიწის ზედაპირის ნაწილისთვის j , $Z_{1,j}$ – ნიადაგის ზედაპირული წყლის ფარდობითი მარაგი, P_e – ეფექტური ატმოსფერული ნალექი. PET – პენმან-მონტიეს პოტენციური ევაპორანსპირაციის მაჩვენებელი (მმ/დღე) ეტალონური მცენარისათვის, $k_{e,j}$ – მცენარის მახასიათებელი კოეფიციენტი მიწის შემხები ზედაპირისთვის. განტოლების მესამე წევრი აღწერს ზედაპირულ ჩამონადენს, სადაც LAI_j არის ფოთლებისა და ღეროების ფართობის ინდექსი, რომელიც მინიმუმს აღწევს მაქსიმალური ჩამონადენის პირობებში, მაგ. გაშიშვლებული ნიადაგისთვის. მეოთხე წევრი ასახავს ნიადაგის შიდა ნაკადებსა და ჩაუნვას, სადაც k_j არის ნიადაგის მაქსიმალური წყალშემცველობის გამტარუნარიანობა (მმ/დრო) და f_j – კვაზიფიზიკური პარამეტრი, დაკავშირებული ნიადაგთან, მიწის დაფარულობის ტიპთან და ტოპოგრაფიასთან, რომელიც ჰყოფს წყალს პორიზონტალურ ან ვერტიკალურ ნაკადებად.

გარდა ამისა, მოდელი შეიცავს ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის ტრანსფორმაციის, აგრეთვე მიწისქვეშა საბაზისო ნაკადისა და აკუმულირებული თოვლის დნობასთან დაკავშირებულ განტოლებებს. ცალკე ყურადღება ეთმობა ზედაპირული წყლების დაბინძურების საკითხს, რისთვისაც მოდელში შეყვანილია ტემპერატურისა და წყალში გახსნილი ჟანგბადის ტრანსფორმაციის განტოლებები.

მდინარის ჩამონადენის ცვალებადობასთან დაკავშირებით წყალსაცავების ექსპლუატაციის ალგორითმთან ერთად WEAP 21 მოდელი შეიცავს მოთხოვნის პრიორიტეტულობისა და მიწოდების უპირატესობათა განმსაზღვრელ ალგორითმებს, რაც საშუალებას იძლევა თითოეული კონკრეტული შემთხვევისთვის შერჩეულ მდინარის აუზში ზედაპირული და მიწისქვეშა ჩამონადენის, დაგროვილი წყლის მარაგისა და ეკონომიკის ცალკეული სექტორების მოთხოვნის შესაბამისად მიღებულ იქნას გადაწყვეტილება წყლის რესურსების ოპტიმალური გამოყენების შესახებ.

პირველად WEAP მოდელი გამოყენებული იყო 1992 წელს არალის ზღვის შესწავლისას, თუმცა მთელი რიგი დაშვებებისა და შეზღუდვების გამო მიღებულმა შედეგებმა არსებითი შესწორებები მოითხოვა.

საქართველოში WEAP 21 მოდელი გამოყენებულ იქნა 2009 წელს გაეროს კლიმატის ჩარხო კონვენციისათვის მეორე ეროვნული შეტყობინების მომზადებისას [3], როდესაც PRECIS კლიმატის რეგიონული მოდელით პროგნოზირების პირობებში მოხდა მდინარეების აღაზნისა და იორის, აგრეთვე რიონისა და ცხენისწყლის ჩამონადენის 2100 წლამდე მოსალოდნელი ცვლილების შეფასება. ანალოგიური შეფასებები ჩატარდა 2015 წელს საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინების მომზადებისას [4] მდინარეების აჭარისწყლის, ენგურისა და ხრამისთვის.

WEAP 21 მოდელის გამოსაყენებლად კონკრეტული ჰიდროლოგიური და ბიოეკოლოგიური ამოცანების გადასატრედად შერჩეულ იქნა მდ. საკრამენტოს აუზში ორი ერთმანეთის მომიჯნავე მდინარის Cow Creek და Battle Creek ქვეაუზები, რომელთა განლაგების სქემა მოცემულია ნახაზზე 1.



ნახ.1. მოდელის გამოსატრედად შერჩეული ქვეაუზების განლაგება მდ. საკრამენტოს წყალშემკრებში

ნახაზიდან ჩანს, რომ თითოეული ქვეაუზის სიგრძე შეადგენს დაახლოებით 70 კმ-ს, ხოლო სიგანე 10-25 კმ ფარგლებში იცვლება. რელიეფისა და გეოლოგიური აგებულების მიხედვით ხევების ტერიტორია ზემო (მთიან) და ქვემო (ვაკე) ნაწილებად იყოფა. ამავე დროს Battle Creek ქვეაუზის უმეტესი ნაწილი ვულკანური ქანებისაგან შედგება და ამიტომ მასში ატმოსფერული ნალექების ჩაჟონვის პროცესები უფრო სწრაფად მიმდინარეობს, ვიდრე Cow Creek ქვეაუზში, რომელიც უმეტესწილად დანალექი ალუვიური ნიადაგებისაგან შედგება.

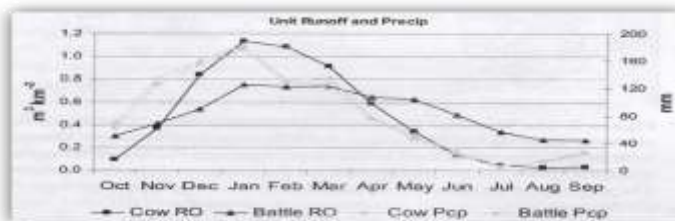
ქვეაუზების ზემო და ქვემო ნაწილების ფართობები და მათი დაფარულობა სხვადასხვა ტიპის მცენარეულით მოყვანილია ცხრილში 1.

ცხრილი 1. ქვეაუზების ზემო და ქვემო ნაწილების ფართობები და მათი დაფარულობა სხვადასხვა ტიპის მცენარეულობით (%-ში)

ქვეაუზების ფართობები	ზემო Cow	ქვემო Cow	ზემო Battle	ქვემო Battle
მცენარეული (კმ ²)	960	480	650	400
საფარი				
ფოთლოვანი	10	15	5	3
მარადმწვანე	60	15	75	75
ბუჩქნარი	10	21	15	15
მდელო	20	42	10	7
სარწყავი საძოვარი	0	7	0	0

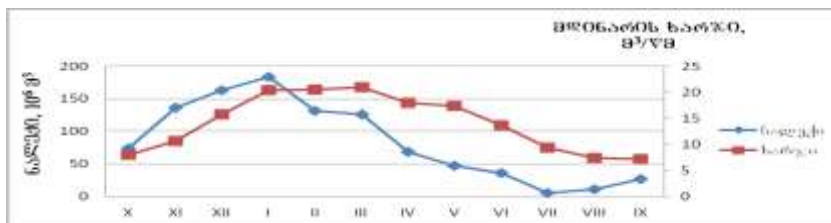
განხილულ ნაშრომში გამოყენებულ იქნა ნალექთა რეჟიმზე დაკვირვებისათვის ორივე ქვეაუზის ტერიტორიაზე განთავსებული 5 ნალექმზომი პუნქტის დაკვირვების მონაცემები 1961-1990 წწ. პერიოდისთვის. ამასთან ერთად, გაანალიზებული იქნა Cow Creek ტერიტორიის ქვემო ნაწილში მდებარე სახელმწიფო ჭაბურღილის იმავე წლების დაკვირვების მასალები გრუნტის წყლის დონეებზე, რაც შედარებული იქნა მოსული ნალექების დინამიკასთან.

ტერიტორიული სიახლოვის გამო ორივე წყალშემკრებზე დროის განხილულ 30-წლიან პერიოდში ნალექთა თვიური საშუალო მნიშვნელობების მსვლელობა ერთნაირი აღმოჩნდა, თუმცა ხვედრითმა ჩამონადენმა, გაზომილმა მდ. საკრამენტოს ჩადინებისას ხევების ჩამკეტ კვებებში არსებულ ჰიდროლოგიურ საგუშაგოებზე, არსებითი განსხვავება გამოავლინა (ნახ. 2), რაც დაკავშირებულია ხევების ამგები ქანების სხვადასხვაობასთან.



ნახ. 2. Cow და Battle ქვეაუზებში ნალექთა ჯამებისა (მმ) და ჩამონადენის მოდულის (მ³/კმ²) თვიური საშუალოების მსვლელობა 1965-1998 წწ. პერიოდისთვის.

ნალექთა თვიური საშუალოების გამოყენებით ჩვენს მიერ გამოთვლილ იქნა მდ. Battle Creek-ის მთელ ფართობზე მოსულ ნალექთა ჯამური რაოდენობა თვეების მიხედვით და მსვლელობა შეფასებულ იქნა მდინარის ქვემოწელში მდებარე ჰიდროლოგიური საგუშაგოს მიერ აღრიცხული ხარჯების მონაცემებთან (ეს მასალა აღებულ იქნა აშშ გეოლოგიური სამსახურის ვებ-გვერდიდან კოლემანის თევზსაშენთან არსებული ჰიდროლოგიური საგუშაგოს 1966-2017 წწ. მდინარის ხარჯების რიგებიდან [7] (ნახ. 3).

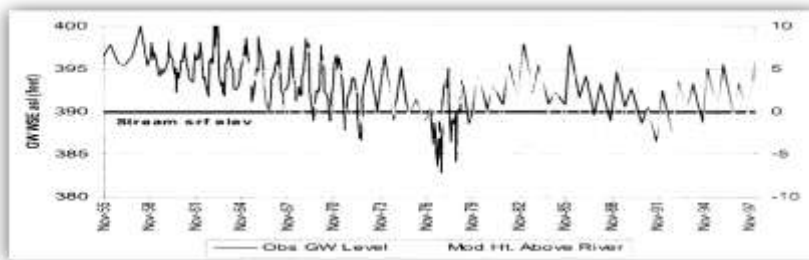


ნახ. 3. მდ Battle Creek-ის ქვეაუზში ნალექთა ხაერთო რაოდენობისა და მის ქვემოწელში მდინარის ხარჯის შიდაწლიური განაწილება

ამ ნახაზიდან ჩანს, რომ ჰიდროლოგიური წლის პირველ კვარტალში მდინარის ხარჯები პრაქტიკულად მისდევს ატმოსფერულ ნალექთა მსვლელობას, თუმცა თებერვლიდან დაწყებულ ნალექთა მკვეთრ შემცირებას მოსდევს ჯერ გაზაფხულის ჩამონადენის სტაბილობა, რომელიც შემდგომში იცვლება ხარჯების შედარებით შენელებული შემცირებით. ნალექთა ჯამები ივლისის თვიდან იწყებს მატებას, რაც ნაკლებად აისახება მდინარის ჩამონადენის მინიმალურ მნიშვნელობებზე ოქტომბრიდან მისი მატების დაწყებამდე. ყოველივე ეს ნათლად მეტყველებს მიწისქვეშა კვების არსებით როლზე მდინარის ჩამონადენის სტაბილობის შენარჩუნებაში.

რაც შეეხება შერჩეულ ქვეაუზებში მიწისქვეშა წყლის დონეს, რომელიც კვების ალტერნატიულ წყაროს წარმოადგენს, მასზე დაკვირვება 1955-1997 წწ. პერიოდში წარმოებდა Cow ქვეაუზის ქვემო ნაწილში ალუვიური წყალშემცველი ფენის არეალში მდებარე სახელმწიფო სამონიტორინგო ჭაბურღილის მეშვეობით. ნახ. 4-ზე ნაჩვენებია ჭაბურღელში მიწისქვეშა წყლის დონის ცვალებადობა მეტრებში, რომლის სტანდარტულ სიმაღლედ ამაჟამად ითვლება 390 მ ზღვის დონიდან.

ნახაზზე მოყვანილი გრაფიკიდან აშკარად ვლინდება 1950-იანი წლების შუა პერიოდიდან 1970-იანი წლების დასასრულამდე მიწისქვეშა წყლის დონის ვარდნა, რამაც ექსტრემუმში 15 მეტრსაც კი მიაღწია. შემდგომში წყლის დონე გარკვეულწილად სტაბილური გახდა, თუმცა 1950-იანი წლების მდგომარეობას აღარ დაბრუნებია, რაც წყლის ამოტუმბვით უნდა აიხსნებოდეს. ამოტუმბვის მონაცემთა არარსებობის გამო შეუძლებელია მიწისქვეშა წყლების დონისა და ატმოსფერულ ნალექთა რაოდენობას შორის ადეკვატური კორელაციური კავშირების დადგენა, თუმცა ზოგადი სახით გვაღვიან პერიოდებში სახეზეა გრუნტის წყლების დონის საგრძნობი დაცემა.



ნახ. 4. წყლის დონის ცვალებადობა (მეტრებში ზღვის დონიდან) Cow Creek ქვეაუზის ქვედა ნაწილში მდებარე კალიფორნიის სახელმწიფო ჭაბურღილში (№ 31 N03W29N001M).

მდ. საკრამენტოს წყალშემკრებში შერჩეული ორი ქვეაუზი WEAP 21 მოდელის დახმარებით გამოყენებული იქნა სხვადასხვა პრაქტიკული ამოცანების გადასაჭრელად.

1. საძოვრების რწვევა Cow Creek ქვეაუზში

WEAP 21 მოდელის დაკალიბრებისას გამოყენებულ საბაზისო სცენართან ერთად მდ. Cow Creek ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე რწვევის გავლენის შესასწავლად განხილულ იქნა ორი დამატებითი სცენარი: სარწყავი სავარგულების 35%-ით გაზრდა და მათი ფართობის 50%-ით შემცირება. გათვლებით დადგინდა, რომ Cow წყალშემკრების ცენტრალურ ველზე 3300 ჰა სარწყავ საძოვრებს წლიურად ესაჭიროება დაახლოებით 1400 მმ სარწყავი წყალი იმ დაშვებით, რომ იგი გამოიყენება ზედაპირული მიწების მეთოდით და უზრუნველყოფს ბალახის მოყვანას სიმწიფის სტადიამდე [6]. რწვევა იწყება აპრილში და მოსავალი აიღება ივნისში, ხოლო მეორე ამონაყარი ირწყვება და იძოვება ივლისიდან ოქტომბრის ჩათვლით. საბაზისო სცენარის მიხედვით ეს გამოიხატება წელიწადში დაახლოებით 40 მლნ მ³ წყლის მიწოდებაში, რაც უზრუნველყოფს საძოვრების მომარაგებას 1200 მმ წყლით ყოველწლიურად, თუმცა ეს ოდნავ ნაკლებია თეორიულად მოთხოვნილ დონესთან შედარებით. WEAP 21 მოდელში სარწყავი საძოვრები Cow Creek აუზის ქვემო ნაწილში მარაგდება ზედაპირული წყლის მიწებით (პრიორიტეტული მიდგომა), ან მიწისქვეშა ალუვიური წყალშემცველი ფენიდან წყლის ამოტუმბვით (სათადარიგო მეთოდი). ეს უკანასკნელი განიხილება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ზედაპირული წყალი ფიზიკურად მიუწვდომელია ან მდინარის ჩამონადენი ვერ აკმაყოფილებს სათანადო მოთხოვნებს.

Cow Creek აუზის ქვემო ნაწილში გაზაფხულის წყალდიდობები საკმარისად უზრუნველყოფს ზედაპირული წყლით მორწყვის მოთხოვნებს, თუმცა ზაფხულის თვეებში, როდესაც ჩამონადენი კლებულობს 0.4-0.3 მლნ მ³-მდე თვეში, წყალმომარაგებაში არსებითად მატულობს მიწისქვეშა წყალშემცველი ფენის როლი. აღსანიშნავია, რომ ამოტუმბული წყლის რაოდენობა მოდელში არ არის ლიმიტირებული, რაც მის ნაკლად უნდა ჩაითვალოს. ამავე დროს, საბაზისო სცენარის თანახმად, რწყვის შედეგად მდინარის საშუალო წლიური ჩამონადენი კლებულობს დაახლოებით 3%-ით.

მოდელური გამოთვლების ანალიზმა აჩვენა, რომ საძოვრების რწყვის შედეგად წყალშემკრებიდან ტენის საშუალო წლიური დანაკარგები იზრდება დაახლოებით 6%-ით, რაც იწვევს მდ. Cow Creek-ის მდ. საკრამენტოში მის შესართავთან ჩამონადენის შემცირებას 3%-ით და მიწისქვეშა წყლის დონის დაცემას 0.6 მეტრით საშუალო დონესთან შედარებით.

ამრიგად, მოდელის შედეგებმა აჩვენა, რომ ქვეაუზის ტერიტორიაზე წარმოებულ საძოვრების სარწყავ დონისძიებებს შეუძლია შესამჩნევი ზემოქმედების მოხდენა წყალშემკრების ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე. ამასთან ერთად, აღსანიშნავია ისიც, რომ გაზრდილ აორთქლებასთან დაკავშირებული წყლის დამატებითი მოთხოვნა ხმარდება საძოვრების პროდუქტიულობის ზრდას, რასაც თავისი წვლილი შეაქვს წყლის ეკოსისტემის ეფექტურობის ამაღლებაში. გარდა ამისა, მოდელით შესაძლებელია სარწყავი წყლის მაქსიმალური რაოდენობის დადგენა, რომელიც საჭიროა გვიანი ზაფხულის ჩამონადენის გასაძლიერებლად. ამის მიზეზია ის, რომ წყალშემკრები მოქმედებს ბუფერული ზონის როლში, რომელიც აგროვებს წინა თვეებში დაგროვილ „ჭარბ“ სარწყავ წყალს. ჩამონადენის ამ და სხვა ურთიერთქმედებათა მექანიზმის გაგებას დიდი მნიშვნელობა აქვს სოფლის მეურნეობაში რწყვის სარგებლიანობის დადგენისათვის.

2. მდინარის Battle Creek ხევის ჰიდროენერგეტიკა და ჩანუის ორაგული

ჰიდროენერგეტიკის განვითარების დაწყებამდე Battle Creek-ის წყალშემკრები წარმოადგენდა ჩინუის ჯიშის ორაგულის მთავარ საარსებო გარემოს, რომელიც იწყებოდა მდ. საკრამენტოში მისი შესართავიდან და თავდებოდა დინების აღმა მიგრაციის ბუნებრივ ბარიერამდე. 1900-იან წლებში დაწყებულმა მცირე ჰესების მშენებლობამ დაამახინჯა ორაგულის ბუნებრივი გავრცელების არეალი მისი შემცირების მიმართულებით, თუმცა, მიუხედავად ამისა, Battle Creek კვლავ ითვლება ორაგულის მწარმოებელ უნიკალურ წყალშემკრებად, რომელსაც შეუძლია მისი არსებობის უზრუნველყოფა. ზაფხულის წყალმცირობის პირობებში, როდესაც წყლის ტემპერატურა მდ. საკრამენტოში მაღლა იწევს და საშიშროებს უქმნის თევზის პოპულაციას, Battle Creek-ის სახით ჩამომდინარე საკრამენტოს გრილი შენაკადი წარმოადგენს ორაგულის ერთადერთ თავშესაფარს.

ამავე დროს, Battle Creek-ის უნიკალური ჰიდროლოგიური პირობები ხელს უწყობს მის აუზში ჰიდროენერგეტიკული ინფრასტრუქტურის განვითარებას, რომელიც ამჟამად 250 000 მგტ.სთ ელექტროენერგიას გამოიმუშავებს. წყალშემკრებში განთავსებულია 2 მცირე წყალსაცავი საერთო მოცულობით 150 მლნ მ, რაც დაახლოებით შეადგენს მდინარის საშუალო წლიური ჩამონადენის მეოთხედს. მდინარეზე არსებული და დაგეგმილი ჰიდროტექნიკური ნაგებობანი ხელს უწყობს მდინარის ჩამონადენის სიჩქარის შემცირებას და ზაფხულში მისი ტემპერატურის ზრდას, რომელიც ოპტიმალურ შემთხვევაში უნდა შეადგენდეს 14.5 °C და არ აღემატებოდეს 17.0 °C, რაც ლეტალურია ორაგულის ქვირითისა და ლიფსიტებისთვის.

WEAP 21 მოდელი გამოყენებულ იქნა ანთროპოგენული ზემოქმედების შედეგად დარღვეული ბუნებრივი ჰიდროლოგიური სისტემის აღსადგენად შემოთავაზებული ორი ვარიანტის შესაფასებლად. აღნიშნულ პროცესში ჰიდროელექტროენერგიის გამომუშავებას მიენიჭა მეორე, უფრო დაბალი პრიორიტეტი – მდინარის დინების სიჩქარის ზრდის პრიორიტეტთან შედარებით.

შედარება ჩატარებული იქნა ორაგულის ჰაბიტატის აღდგენის პოტენციალის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, რომელიც რაოდენობრივად შეფასებული იქნა დინების სიჩქარის (მ/წმ), მისი ტემპერატურის (°C), ელექტროენერგიის გამომუშავების (მგტ.სთ) შემცირებისა და აუზში მოქმედი კომპლექსის ოპერატიული ხარჯების ცვლილებების გათვალისწინებით. ალტერნატივებიდან ერთ-ერთი განიხილავდა მდინარეზე ორი კაშხლის მოშლას და არხების გაერთიანებას წყლის დინების სიჩქარის გასაზრდელად, ხოლო მეორე - კიბეებისა და ფარების მოწყობას მდინარის სათავესთან თევზის მიღწევის გასაადვილებლად და დინების სიჩქარის მოსამატებლად. პირველი სცენარით ენერგოგენერაცია შემცირდებოდა 47%-ით, მაგრამ სამაგიეროდ იგი უზრუნველყოფდა წყლის ტემპერატურის შენარჩუნებას 17°C-ზე დაბლა. მეორე სცენარით გენერაცია შემცირდებოდა 15%-ით, ხოლო დინების ტემპერატურის შენარჩუნებას

ჩატარებული მოდელირების გამოცდილება შეიძლება გამოყენებული იქნას საქართველოს მდინარეთა ცალკეულ აუზებში (იორი, ალაზანი, არაგვი და სხვ.) წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სამომავლო პრაქტიკაში.

ლიტერატურა - REFERENCES –ЛИТЕРАТУРА

1. Bauwer, H. Integrated water management: Emerging issues and challenges. Agricultural Water Management, vol.45, N.3.
2. Yates D. et al .WEAP 21 - A demand -, priority-, and preference- driven water planning model. Part 1: Model characteristics. Water International, vol. 30, N4, pp.487-500, 2005.
3. საქართველოს მეორე ეროვნული შეტყობინება კლიმატის ცვლილების ჩარჩო კონვენციისათვის. თბილისი, 2009. www. climatechange. telenet. ge
4. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება. თბილისი, 2015.
5. Yates D. et al .WEAP 21 - A demand -, priority -, and preference- driven water planning model. Part 2: Aining freshwater ecosystem service evaluation. Water International, vol. 30, N4, pp.501-512, 2005.
6. Forero L., B.Reed., K. Klonsky and R. Demaura. Sample costs to establish and produce pasture Sacramento Volley Flood Irrigation. Sacramento: University of California. Cooperative Extension, Pa-Sv-03, 2003.
7. USGS 11376550 BATTLE C BL COLEMAN FISH HATCHERY NR COTTONWOOD CA

წყლის ინტეგრირებული მართვის მოდელის WEAP 21 გამოყენების გამოცდილება. /ბ. ბერიტაშვილი, ნ. კაპანაძე, ს. მდივანი/ სტუ-ის კპი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.77-82 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

მოყვანილია სტოკჰოლმის გარემოსდაცვითი ინსტიტუტის ბოსტონის ფილიალში დამუშავებული WEAP 21 წყლის ინტეგრირებული მართვის მოდელის გამოყენების შედეგები მდ. საკრამენტოს ორი ერთმანეთის მომიჯნავე მდინარის ქვეაუზში კონკრეტული ამოცანებს გადასაჭრელად. განხილულია ქვეაუზების ფიზიკურ-გეოგრაფიული მახასიათებლები მათ შორის მოსული ნალექებისა და ჩამონადენის მოდულის შიდაწლიური განაწილება. მდ. Battle Creek-ის ქვეაუზში ნალექთა განაწილების შედარებამ მდინარის საშუალო თვიურ ხარჯებთან გამოავლინა მისი მიწისქვეშა კვების არსებითი როლი ჩამონადენის ფორმირებაში. მდ. Cow Creek-ის ქვეაუზში საძოვრების სარწყავად მდინარის წყლის გამოყენების მოდელირებამ აჩვენა, რომ ამ ღონისძიების შედეგად წყალშემკრებიდან ტენის საშუალო წლიური დანაკარგი იზრდება 6%-ით, რაც იწვევს მის შესართავთან ჩამონადენის შემცირებას 3%-ით და მიწისქვეშა წყლის დონის დაცემას 0.6 მეტრით. მდ. Battle Creek-ის ქვეაუზში ორაგულის პოპულაციის შესანარჩუნებლად საჭირო ტემპერატურული რეჟიმის დასაცავად მოდელირებამ აჩვენა მდინარეზე არსებული ჰიდროტექნიკური ნაგებობების რეკონსტრუქციის აუცილებლობა, რაც დიდ ხარჯებთან იქნება დაკავშირებული. მოდელირების გამოცდილება შეიძლება გამოყენებული იქნას საქართველოს მდინარეთა ცალკეულ აუზებში წყლის რესურსების ინტეგრირებული მართვის სამომავლო პრაქტიკაში

Experience of WEAP 21 Integrated Water Resource Management Model. /B. Beritashvili, N. Kapanadze, S. Mdivani/ Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.77-82. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

Following the paper published in Water International (2005), the results are given on the application of WEAP 21 Integrated Water Resource Management model to resolve specific problems in two neighboring sub-catchments of R. Sacramento. The features of physical geography of selected areas are reviewed including inter annual distribution of precipitation and the unit runoff. The comparison between precipitation monthly averages in the Battle Creek sub-catchment and mean discharges of the river has revealed essential role of groundwater feeding in retaining the river runoff. The modeling of pasture irrigation in the basin of Cow Creek has demonstrated the increased watershed's annual evaporative loss by 6%, resulting in 3 percent decline in the average flow volume downstream at the confluence and 0.6 meter drop in the mean groundwater elevation. The modeling of conditions required to maintain temperature regime necessary for the preservation of salmon population in the basin of Battle Creek has revealed the need of essential reconstruction of existing hydrotechnical infrastructure related with vast expenses. The modeling experience could be used in the future practice of integrated water management in the basins of separate rivers in Georgia

Опыт применения модели интегрированного управления водными ресурсами WEAP 21 в бассейне р. Сакраменто /Бериташвили Б.Ш., Капанадзе Н.И., Мдивани С.Г./Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.77-82. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Представлены результаты применения модели интегрированного управления водными ресурсами WEAP 21 для решения конкретных задач в водосборах двух соседних рек бассейна р.Сакраменто (Калифорния). Рассмотрены физико- географические характеристики водосборов, включая внутригодовое распределение выпадающих осадков и модуля стока. Сопоставление годового хода средних месячных сумм осадков в водосборе р. Battle Creek с ходом месячных расходов реки выявило существенную роль подземного стока в сохранении общего питания реки. Моделирование полива пастбищ в водосборе р. Cow Creek показало, что в результате этого мероприятия средние годовые потери влаги с водосбора увеличивается на 6%, приводя к уменьшению стока реки в устье на 3% и падению уровня подземных вод на 0,6 м. Моделирование условий обеспечения температурного режима, требуемого для сохранения популяции лосося в р. Battle Creek показало необходимость существенной реконструкции комплекса гидротехнических сооружений связанных с большими затратами. Опыт моделирования может быть использован в будущем в практике интегрированного управления водными ресурсами отдельных рек Грузии.

უაკ 551.50.501.7

საქართველოს მცირე მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენის შესწავლა დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენებით

ლ. შენგელია*, გ. კორძაია*, გ. თვაური, გ. ცომაია*, მ. ძაბაია*****

* საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი.

** ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი.

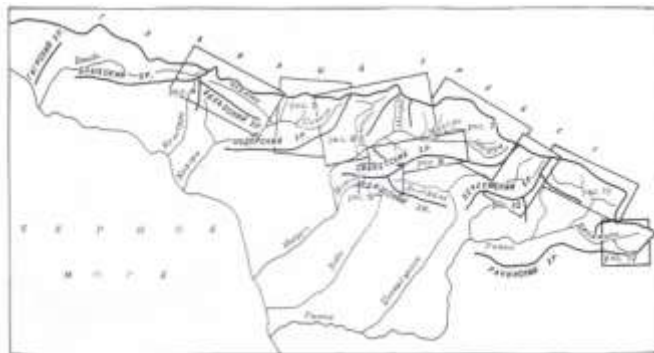
*** გარემოს დაცვისა და სოფლის მეურნეობის სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტო.

დღესდღეობით მცირე მყინვარების (ფართობი 0,1-დან 0,5კმ²-მდე) მდგომარეობის გარკვეული რეგულარობით გაშუქება მიწისპირა დაკვირვებებით ფაქტობრივად შეუძლებელია. ამ მყინვარების შესწავლა დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით ეფექტური ალტერნატივაა მათი კვლევებისათვის და სხვადასხვა სამეცნიერო-პრაქტიკული ამოცანის გადაჭრისათვის.

კლიმატის გლობალური დათბობა, ზოგადად ნეგატიურ ზემოქმედებას ახდენს მყინვარებზე. განსაკუთრებით ნათლად ეს ვითარება ვლინდება მცირე მყინვარების შემთხვევაში [1–7]. ცალკე საკითხია, თუ როგორ უნდა ჩატარდეს მცირე მყინვარების ზომისა და სხვა პარამეტრების ცვლილების განსაზღვრა დროში. 1960 – 1970-იან წლებში საბჭოთა კავშირში საკმაოდ დიდი სამუშაო ჩატარდა მყინვარების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციის შესაგროვებლად, რის საფუძველზეც შეიქმნა მყინვარების კატალოგი. მყინვარების კატალოგში საქართველოს მყინვარები ცალკე არ არის გამოყოფილი. ისინი ყოფილი საბჭოთა კავშირის კავკასიის მყინვარულ სისტემაშია მოქცეული. საქართველოს მყინვარები განხილულია 1975 [8, 9] და 1977 [10, 11] წლებში გამოცემულ კატალოგებში. ფაქტობრივად საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგი 50 წლის წინათაა შექმნილი, ხოლო დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით მცირე მყინვარების კვლევა მხოლოდ ამ და წინა ათწლეულების მონაცემებითაა შესაძლებელი. სწორედ დროში ეს სხვაობა ქმნის წინაპირობას მყინვარების დინამიკის შესასწავლად. ცხადია მიღებული შედეგები ასახავს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ზეგავლენას მყინვარების მდგომარეობაზე.

სამუშაოების შესასრულებლად გამოყენებულია კომპლექსური მეთოდოლოგია, რომელიც ავტორების მიერ არის შემუშავებული [12–15]. მცირე მყინვარების კვლევისას ჩნდება სხვადასხვა ტიპის სირთულე, რომელთაგან ერთ-ერთი ძირითადია თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების (თდზ) საფუძველზე მიღებულ თანამგზავრულ სურათზე ასახული მცირე მყინვარების იდენტიფიცირება (მათი მცირე ზომების გამო). ამ პრობლემის გადასაჭრელად გამოყენებულია მყინვარების კატალოგში მოყვანილი სქემები, სადაც ნაჩვენებია მყინვარების და შესაბამის მდინარეთა აუზების მდებარეობა.

მცირე მყინვარების ცვლილების შეფასება შესაძლებელია 2012–2016 წლებში თანამგზავრული ინფორმაციით მიღებული მახასიათებლების შედარებით მყინვარების კატალოგის (1975–1977 წწ.) მონაცემებთან. დასავლეთ საქართველოს მყინვარები კატალოგის 9 სქემაზე წარმოდგენილი [9]. 1-ლ ნახ-ზე ნაჩვენებია დასავლეთ საქართველოს მყინვარული აუზების განლაგების საერთო სურათი, რომელიც მოიცავს 9 სქემას 409 მყინვარით.



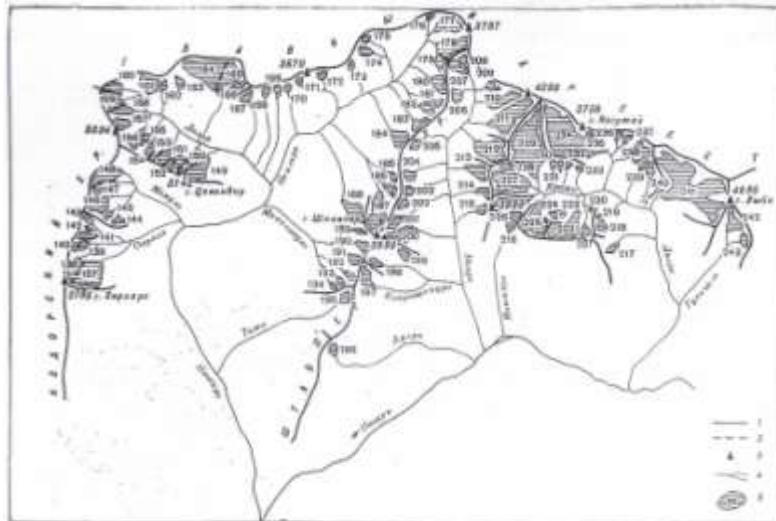
ნახ. 1. დასავლეთ საქართველოს მყინვარული აუზების განლაგების საერთო სურათი, რომელიც მოიცავს 9 სქემას 409 მყინვარით

გამარტივების თვალსაზრისით მე-7 სქემა მდინარეთა აუზების მიხედვით სამად დაყო, ხოლო მე-8 სქემა – ორად და საბოლოოდ მივიღეთ 12 სქემა:

1. მდინარეების ბზიფის, კელასურის და კოდორი-ამტყეელის შენაკადების და ჩხალთის აუზების მყინვარები №1–61;
2. მდინარე კოდორის ზემო წელის მყინვარები №62–136;
3. მდინარეების ნენსკრას, ნაკრას და დოღრას (მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადი) აუზების მყინვარები №137–243.
4. მდინარეების მულხრასა და ენგურის აუზში მდებარე მდინარე მესტიაჭალის აუზის მყინვარები №244–259;
5. მდინარე ენგურის აუზში მესტიაჭალის შესართავის ზევით მდებარე მდინარე მულხრას აუზის მყინვარები №260–282;
6. მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადების აუზების მყინვარები №283–295;
7. სვანეთის ქედის ჩრდილოეთ ფერდობის მყინვარები №296–325;
8. ადიშის ქედის ჩრდილოეთ კალთის მყინვარები №326–334;
9. სვანეთის ქედის სამხრეთ ფერდობის მყინვარები №335–342;
10. მდინარეების ყორულდაშის, ცხენისწყლის, მდინარე რიონის მარჯვენა შენაკადების აუზების მყინვარები №343–360;
11. მდინარე რიონის ზემო წელის აუზის მყინვარები №361–400;
12. მდინარე ჯეჯორის (მდინარე რიონის მარცხენა შენაკადი) აუზის მყინვარები №401–409.

შესასწავლი მყინვარების კონტურების შედარება საბჭოთა კავშირის დროინდელ ტოპოგრაფიულ რუკებზე (1:50000) ასახულ მყინვარების კონტურებთან, ერთი მხრივ, კონტურების ვალიდაციის საშუალებას იძლევა და, მეორე მხრივ, ვიზუალურად გვჩვენებს, თუ რამდენად შეცვლილია ცალკეული მყინვარები შესაბამის პერიოდში (40–50 წელი). დადგინდა, რომ მთელი რიგი მცირე მყინვარები, რომლებიც ტოპოგრაფიულ რუკებზეა დატანილი, აღარ არსებობს.

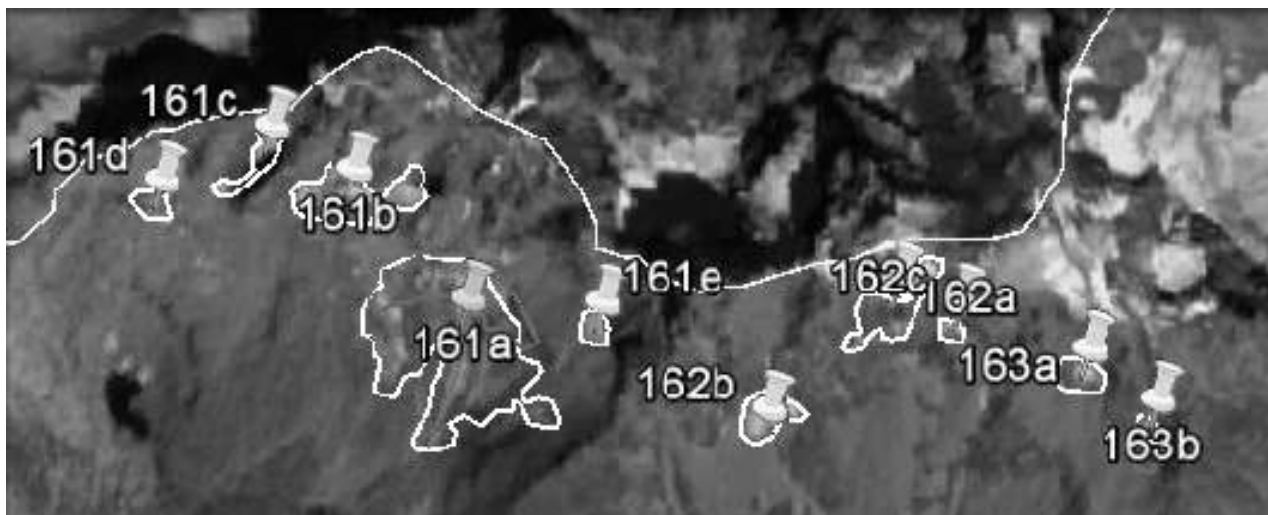
მე-2 ნახ-ზე მოყვანილია მდინარეების ნენსკრას, ნაკრას და დოღრას აუზების 107 მყინვარის განლაგების სქემა, რომელიც ასახავს კატალოგის შესაბამის მე-3 სქემას და იმდროინდელ მდგომარეობას.



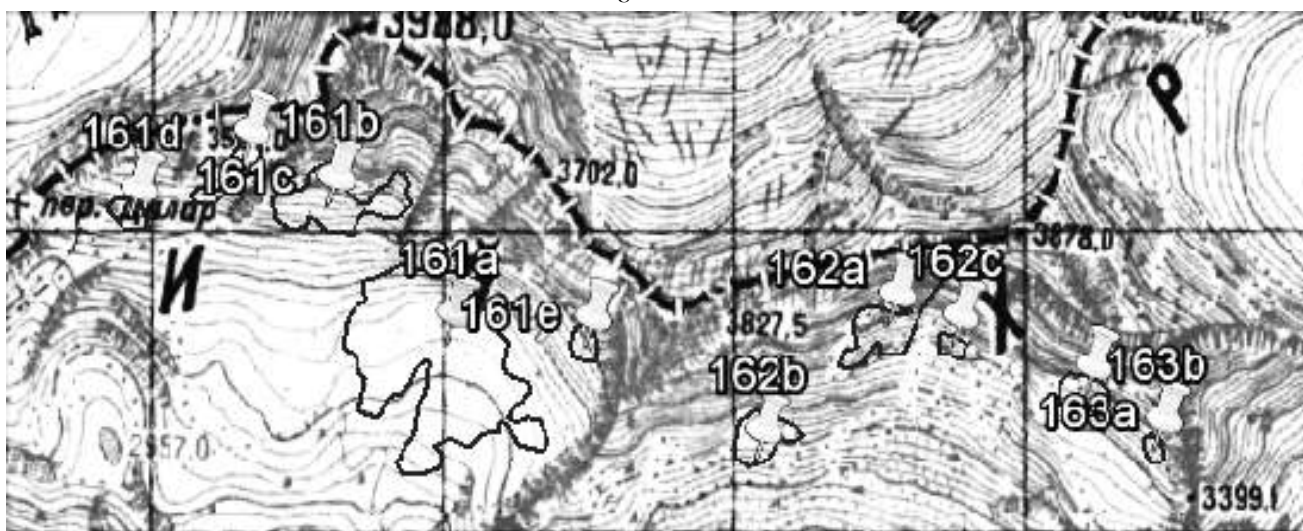
ნახ. 2. მდინარეების ნენსკრას, ნაკრას და დოღრას (მდინარე ენგურის მარჯვენა შენაკადი) აუზების №137–243 მყინვარების განლაგების სქემა. 1 – წყალგამყოფი, 2 – მყინვარგამყოფი, 3 – მწვერვალი, 4 – მდინარე, 5 – მყინვარი თავისი ნომრით

მე-3 ნახ-ზე მოცემულია №161 – №163 მყინვარების მდგომარეობა. ა ნაწილში მოყვანილია იდენტიფიცირებული მყინვარების კონტურები 2015 წლის თანამგზავრული სურათის მიხედვით. ბ ნაწილში მოყვანილია 60-იანი წლების ტოპოგრაფიულ რუკა, რომელზეც შედარებისათვის დატანილია თანამგზავრული სურათის მიხედვით გავლებული კონტურები. როგორც ვხედავთ: №161 მყინვარი, რომლის ფართობი კატალოგის მიხედვით იყო 1.3 კმ² გარდაიქმნა 0.3 კმ²

ფართობის მქონე მცირე მყინვარად და ოთხ თოვლნარად (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 შეიძლება იყოს მყინვარის დეგრადაციით მიღებული ნარჩენი); №162 და №163 მყინვარები (ორივე 0.1 კმ² ფართობის მცირე მყინვარი) დანაწევრდა თოვლნარებად, პირველი სამ, ხოლო მეორე – ორ თოვლნარად.



ა



ბ

ნახ. 3. №161 – №163 მყინვარები. ა – იდენტიფიცირებული მყინვარების კონტურები Landsat 8 OLI TIRS სენსორის 2015 წლის 29 აგვისტოს სურათის მიხედვით, ბ – ტოპოგრაფიულ რუკა, რომელზეც შედარებისთვის დატანილია თანამგზავრული სურათის მიხედვით გავლებული კონტურები

თღზ-ით მიღებული საქართველოს მყინვარების კონტურების ტოპოგრაფიულ რუკებზე ასახულ მყინვარების კონტურებთან შედარებამ საშუალება მოგვცა გამოგვეტანა მნიშვნელოვანი დასკვნა, რომ დაახლოებით ბოლო 50 წლის განმავლობაში საქართველოს ყველა მყინვარის ფართობი შემცირდა. იმ შემთხვევაში, თუ თანამგზავრულ სურათზე მცირე მყინვარის ფართობი უფრო მეტია, ვიდრე კატალოგის მიხედვით მისი ფართობის მნიშვნელობაა, ეს კატალოგის მონაცემის ხარვეზია და იგი საეჭვო მონაცემებს უნდა მივაკუთვნოთ.

დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების შესწავლისას გამოირიცხა ის მყინვარები, რომელთა მონაცემები კატალოგის მიხედვით საეჭვოა. 1-ლ ცხრილში წარმოდგენილია

დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის სანდო მონაცემების და თღზ-ის მიხედვით.

ამრიგად, დასავლეთ საქართველოს მყინვარების 12 სქემის შესაბამისად შედგენილ ცხრილებში მოყვანილია კატალოგის მიხედვით 187 მცირე მყინვარის შესახებ სანდო ინფორმაცია (სულ კატალოგში აღრიცხულია 265 მცირე მყინვარი). თღზ-ის საფუძველზე მიღებულია ყველა მათგანის ფართობის შესახებ მონაცემი. მყინვარების დანაწევრებისა და დნობის შედეგად მცირე მყინვარების რაოდენობა შეიცვალა.

ცხრილი 1. დასავლეთ საქართველოს მყინვარების კატალოგის 12 სქემის მიხედვით შედგენილ ცხრილებში მოყვანილი მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის სანდო მონაცემების და თღზ-ის მიხედვით

სქემა №	მცირე მყინვარები კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით იდენტიფიცირებული მცირე მყინვარები			
		მცირე მყინვარი	თოვლნარი	გამქრალი მყინვარი	სულ
1	25	8	32	0	40
2	42	16	52	1	69
3	46	11	82	2	95
4	10	4	9	1	14
5	11	5	13	0	18
6	4	2	3	0	5
7	13	4	24	1	29
8	6	2	13	2	17
9	5	1	3	2	6
10	11	4	9	1	14
11	12	8	7	0	15
12	2	0	1	1	2
სულ	187	65	248	11	324

2012-2016 წლების თღზ-ის მონაცემებით დასავლეთ საქართველოში 324 მცირე მყინვარი, თოვლნარი და გამქრალი მყინვარია, რომელთაგან

- დარჩენილია 65 მცირე მყინვარი, ანუ თღზ-ით მიღებულის 20.1 %;
- გადნა და თოვლნარად იქცა 248, ანუ თღზ-ით მიღებულის 76.5 %;
- გაქრა, ე. ი მთლიანად გადნა 11, ანუ თღზ-ით მიღებულის 3.4 %.

კატალოგში აღრიცხული დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების ფართობის შესახებ სანდო მონაცემები აქვს 187-ს. ამჟამად ამ მყინვარებიდან (თღზ-ის მიხედვით) დარჩენილია 65 მცირე მყინვარი (34.8 %), რაც იმას ნიშნავს, რომ დანარჩენი 122 (64.2 %) მცირე მყინვარი გადნა და თოვლნარად იქცა ან საერთოდ გაქრა.

აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების განხილვისას კატალოგის მონაცემებმა საშუალება მოგვცა შეგვედარებინა ისინი თღზ-ით მიღებულ შესაბამის მონაცემებთან, რადგან მდინარეთა აუზების მიხედვით აღრიცხულ მყინვარებს საეჭვო მონაცემები ან არ გააჩნდა, ან მათი გამოსწორება შესაძლებელი გახდა სწორი იდენტიფიკაციისა და საექსპერტო ცოდნის გამოყენებით.

აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების შესწავლის შედეგად აღმოჩნდა, რომ მყინვარების კატალოგში აღრიცხულია აღმოსავლეთ საქართველოს 105 მცირე მყინვარი. ყველა მათგანი იდენტიფიცირებულია თღზ-ის მონაცემების გამოყენებით.

აღმოსავლეთ საქართველოს საიდენტიფიკაციო მყინვარები მყინვარების კატალოგის ექვს სქემაზეა დატანილი [8,10,11]:

1. გაკოსა და პირიქითი ალაზნის მდინარეთა აუზების მყინვარები. აქედან საქართველოს ტერიტორიაზეა მდ. პირიქითი ალაზნის აუზში მდებარე მყინვარები (№6–№19);
2. მდ. ასას (საქართველოში მდ. არხოტისწყლის) აუზის მყინვარები (№1–№3);

3. პირიქითი ალაზნის აუზის მყინვარები (№20 – №33);
4. მდინარე მტკვრის მარცხენა შენაკადების აუზების მყინვარები (№1–№27);
5. მდინარეების ფიაგდონის, გიზელდონის და თერგის ზემო წელის აუზების მყინვარები. აქედან საქართველოს ტერიტორიაზეა თერგის ზემო წელის აუზის მყინვარები (№44–№111);
6. მდ. არღუნის აუზის მყინვარები (№10–№15).

მე-2 ცხრილში წარმოდგენილია დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის და თღზ-ის მიხედვით.

ამგვარად, აღმოსავლეთ საქართველოში, საბჭოთა კავშირის კატალოგის მიხედვით, აღრიცხულია 105 მცირე მყინვარი.

ცხრილი 2. აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების რაოდენობა კატალოგის და თღზ-ის მიხედვით

სქემა №	მცირე მყინვარები კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით იდენტიფიცირებული მცირე მყინვარები			
		მცირე მყინვარი	თოვლნარი	გამქრალი მყინვარი	სულ
1	13	10	4	0	14
2	2	2	0	0	2
3	12	3	6	3	12
4	24	2	9	13	24
5	48	12	31	11	54
6	6	1	8	0	9
სულ	105	30	58	27	115

მყინვარების დანაწევრებისა და გაღობის შედეგად მცირე მყინვარების რაოდენობა შეიცვალა. თანამგზავრული მონაცემებით აღმოსავლეთ საქართველოში იდენტიფიცირებულია 115 მცირე მყინვარი, თოვლნარი და გამდნარი მყინვარი, რომელთაგან

- დარჩენილია 30 მცირე მყინვარი, ანუ იდენტიფიცირებულის 26.1%;
- გადნა და თოვლნარად იქცა 58, ანუ იდენტიფიცირებულის 50.4%;
- გაქრა ე.ი. მთლიანად გადნა 27, ანუ იდენტიფიცირებულის 23.5%;

ამგვარად, მყინვარების კატალოგში აღრიცხული აღმოსავლეთ საქართველოს 105 მცირე მყინვარიდან ამჟამად კლიმატის გლობალური დათბობის გამო დარჩა მხოლოდ 30 მცირე მყინვარი (28.6%), რაც ნიშნავს, რომ 75 (71.4%) მცირე მყინვარი ან თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა.

კვლევის შედეგად დადგინდა, რომ კატალოგში აღრიცხული დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების ფართობის შესახებ სანდო მონაცემები აქვს 187-ს. ამჟამად ამ მყინვარებიდან (თღზ-ის მიხედვით) დარჩენილია 65 მცირე მყინვარი (34.8 %), რაც იმას ნიშნავს, რომ დანარჩენი 122 (64.2 %) მცირე მყინვარი გადნა და თოვლნარად იქცა ან საერთოდ გაქრა. ამ ავე დროს მყინვარების კატალოგში აღრიცხული აღმოსავლეთ საქართველოს 105 მცირე მყინვარიდან ამჟამად კლიმატის გლობალური დათბობის გამო დარჩა მხოლოდ 30 მცირე მყინვარი (28.6%), რაც ნიშნავს, რომ 75 (71.4%) მცირე მყინვარი ან თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა.

მაშასადამე მოყვანილი მონაცემების ანალიზი მეტყველებს, რომ საქართველოში მყინვარების დნობის პროცესი აჩქარებულია. ამ პირობებშიც კი აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების დნობის პროცესი გაცილებით უფრო აქტიურია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში, რაც აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს ჰავაში განსხვავებით შეიძლება აიხსნას, კერძოდ, აღმოსავლეთ საქართველოს ჰავა კონტინენტურია, ხოლო დასავლეთ საქართველოს ჰავა ზღვიური ნოტიოა და ამიტომ გაცილებით ტენიანია.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА:

1. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია. დასავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების კვლევის შედეგები კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე//„მეცნიერება და ტექნოლოგიები“ სამეცნიერო რეფერირებადი ჟურნალი საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, საქართველო, თბ., 2018, №1 (729), გვ. 14-21.
2. Шенгелия Л.Д., Кордзахия Г.И., Тваური Г.А., Дзадзамия М.Ш. Результаты исследования малых ледников Грузии на фоне изменения современного климата. „География: развитие науки и образования“, Коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции LXXI Герценовские чтения 18 – 21 апреля 2018 года. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, Россия, Санкт-Петербург, т. I, с. 206-212.
3. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია. საქართველოს მყინვარების ცვლილების ნეგატიური ტენდენციები კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე//მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №3 (723), 2016, გვ. 29-35.
4. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია, მ. ძაძამია. თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების კვლევა//ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 121, თბ., 2015, გვ. 104-111.
5. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია. აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების კვლევა თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების და GIS ტექნოლოგიების გამოყენებით//მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №2 (719), 2015, გვ. 9–10.
6. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია. კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარებზე//მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №1 (721), 2016, გვ. 9-14.
7. George Kordzakhia, Larisa Shengelia, Genadi Tvauri, Murman Dzadzamia. Application of Remote Sensing and GIS Technologies for the Inventory of Small Glaciers in Eastern Georgia//4th International Geography Symposium, May 23-26, Kemer. Antalya, Turkey, Book of Proceedings, 2016, pp. 505-514.
8. Цомая В. Ш. Каталог ледников СССР. Т. 9, вып. 3, ч. 1, Закавказье и Дагестан, Л.: Гидрометеиздат, 1975.
9. Маруашвили Л. И., Курдгелайдзе Г. М., Лашхи Т. А., Инашвили Ш. В., Табидзе Д. Д. Каталог ледников СССР. Т. 9, вып. 1, ч. 2 – 6, Л.: Гидрометеиздат, 1975.
10. Панов В. Д., Боровик Э. С. Каталог ледников СССР. Т. 8, ч. 12, Северный Кавказ, Л.: Гидрометеиздат, 1977.
11. Цомая В. Ш., Дробышев О. А. Каталог ледников СССР. Т. 8, ч. 11, Северный Кавказ, Л.: Гидрометеиздат, 1977.
12. G. Kordzakhia, L. Shengelia, G. Tvauri, M. Dzadzamia. Impact of Modern Climate Change on Glaciers in East Georgia//Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, Vol. 10, 4, 2016, pp. 56-63.
13. Л.Д. Шенгелия, Г.И. Кордзахия, Г.А. Тваური. Методология и результаты исследования некоторых ледников Грузии. „География: развитие науки и образования“, коллективная монография по материалам Международной научно-практической конференции LXVIII Герценовские чтения 22-25 апреля 2015 года. Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, Россия, Санкт-Петербург, 2015, с. 117-124.
14. G. Kordzakhia, L. Shengelia, G. Tvauri, V. Tsomaia, M. Dzadzamia. Satellite Remote Sensing Outputs of the Certain Glaciers in the Territory of East Georgia//The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences - Elsevier, Vol. 18(1), Supplement 1, 2015, pp. S1–S7.
15. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია. სუათისის მყინვარების კვლევის შედეგები თანამგზავრული დისტანციური ზონდირების საფუძველზე. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 120, თბ., 2014, გვ. 52-56.

საქართველოს მცირე მყინვარებზე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენის შესწავლა დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენებით/ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, ვ. ცომაია, მ. ძაძამია/სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.83-89 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

დღესდღეობით მცირე მყინვარების (ფართობი 0,1-დან 0,5კმ²-მდე) მდგომარეობის გარკვეული რეგულარობით გაშუქება მიწისპირა დაკვირვებებით ფაქტობრივად შეუძლებელია. ამ მყინვარების შესწავლა დედამიწის თანამგზავრული დაკვირვებებით ეფექტური ალტერნატივაა მათი კვლევებისათვის.

სტატიაში განხილულია დისტანციური ზონდირების მონაცემების გამოყენებით საქართველოს მცირე მყინვარების შესწავლის და მათზე კლიმატის ცვლილების ზეგავლენის საკითხები. მიღებულია დასკვნა, რომ ყველა მცირე მყინვარი იკლებს ზომაში ან საერთოდ ქრება და რომ აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების დნობის პროცესი უფრო აქტიურია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში.

Study of climate change impact on small glaciers of Georgia based on remote sensing data / L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, V. Tsomaia, M. Dzadzamia /Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.83-89. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

At present, the study of small glaciers (ranging from 0.1 to 0.5 km²) with a certain regularity by ground-based observations is actually impossible. The use of satellite remote sensing for the research of glaciers, namely small glaciers is the best alternative.

The article deals with the study of climate change impact on Georgia's small glaciers using satellite remote sensing data.

The outputs of the present study reflect the impact of climate change on the conditions of small glaciers in Georgia. Based on the received results it can be concluded that all small glaciers are decreased or completely disappeared, and this process of glaciers melting occurs more actively in eastern Georgia than in its western part.

Изучение влияния изменения климата на малые ледники Грузии с использованием данных дистанционного зондирования /Л.Д. Шенгелия, Г.И. Кордзахия, Г.А. Тваури, В.Ш. Цомаия, М. Ш Дзадзамия/Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.83-89. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

Рус.
В настоящее время изучение малых ледников (площадью от 0,1 до 0,5км²) определенной регулярностью наземными наблюдениями фактически невозможно. Для их исследования использование дистанционного зондирования наилучшая альтернатива.

В статье рассмотрены вопросы изучения влияния изменения климата на малые ледники Грузии с использованием данных дистанционного зондирования.

Полученные результаты отражают влияние изменения современного климата на состояние малых ледников Грузии. Сделаны выводы, что все малые ледники уменьшаются или полностью исчезают и этот процесс таяния ледников происходит более активно в Восточной Грузии, чем в ее западной части.

უაკ 551.511.3

ამინდის პროგნოზის რიცხვითი მოდელები შემოსახლვრული ტერიტორიისათვის

დ. დემეტრაშვილი

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი

დაახლოებით გასული საუკუნის დასასრულს დაწყებულმა გამოთვლითი ტექნიკის არნახულმა პროგრესმა მძლავრი ბიძგი მისცა ატმოსფერული პროცესების მათემატიკურ მოდელირებას და მაღალი გარჩევისუნარიანი ატმოსფეროს დინამიკის რიცხვითი მოდელების შემუშავებას. ამჟამად, მსოფლიოს მრავალი ქვეყნის ამინდის ოპერატიულ სამსახურში რამოდენიმე დღიანი ამინდის პროგნოზი შემოსახლვრული ტერიტორიისათვის ხორციელდება სწორედ ასეთი თანამედროვე მოდელების საფუძველზე (LAM – Limited Area Models). ამ მოდელებს მიეკუთვნება WRF, MM5, ALADIN, HIRLAM და სხვ., რომლებიც ითვალისწინებენ მოცემულ ტერიტორიაზე ამინდის განმაპირობებელ თითქმის ყველა ძირითად ფაქტორს [1-3]. მათი სივრცითი გარჩევისუნარიანობა ძალზედ მაღალია, დაახლოებით 10-20 კმ, ზოგჯერ ნაკლებიც. ასეთი გარჩევისუნარიანობა არსებითად მნიშვნელოვანი ფაქტორია საქართველოს ტერიტორიაზე განვითარებული ატმოსფერული პროცესების ადეკვატური აღწერისათვის, რადგანაც საქართველოს ტერიტორია გამოირჩევა მკვეთრად გამოსატული ფიზიკურ-გეოგრაფიული თავისებურებებით.

საინტერესოა აღინიშნოს ის ფაქტი, რომ გასული საუკუნის 70-80-იან წლებში ყოფილ საბჭოთა კავშირში, ამინდის ოპერატიულ სამსახურში ფუნქციონირებდა საბჭოთა კავშირის ჰიდრომეტცენტრის (ქ. მოსკოვი) მეცნიერი თანამშრომლის ს. ლ. ბელოუსოვის მიერ შემუშავებული გეოპოტენციალის მოკლევადიანი პროგნოზის სქემა (ე. წ. ბელოუსოვის სქემა) შემოსახლვრული ტერიტორიისათვის, რომელიც მოიცავდა ძირითადად სსრკ ევროპულ ნაწილს კავკასიის ტერიტორიის ჩათვლით [4]. აღნიშნულ ტერიტორიაზე პროგნოზული სისტემის რეალიზაცია ხორციელდებოდა 300 კმ სივრცითი ბიჯით. ეს იყო კვაზიგეოსტროფიული მოდელი, რომელიც იძლეოდა მხოლოდ ერთი მეტეოროლოგიური სიდიდის – გეოპოტენციალის პროგნოზს ძირითად იზობარულ ზედაპირებზე. პროგნოზის შედეგებს ყოველდღიურად იღებდა საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური სამმართველოს ამინდის სამსახური რუკების სახით.

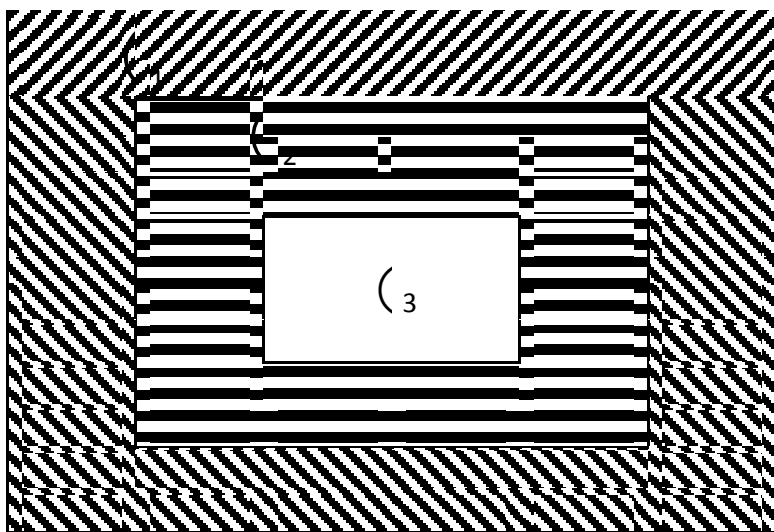
დღეისათვის, სხვადასხვა ქვეყნის ოპერატიულ სამსახურებში მოქმედი ამინდის პროგნოზის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები იძლევიან ყველა ძირითადი მეტეოროლოგიური ველების პროგნოზს ღრუბლებისა და ნალექების ჩათვლით. ასეთი მოდელების საფუძველზე გამოთვლილი პროგნოზის შედეგებს იყენებს საქართველოს გარემოს ეროვნული სააგენტოს ამინდის ოპერატიული სამსახურიც.

ცხადია, იბადება კითხვა, რა საერთო და განმასხვავებელი თავისებურებანი ახასიათებს ამჟამად მსოფლიოში მოქმედ რეგიონულ რიცხვით მოდელებს. საერთოა ის, რომ ეს მოდელები დაფუძნებულია ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემის ამოხსნაზე, ძირითადად, სასრულ-სხვაობითი მეთოდების გამოყენებით. თანამედროვე რეგიონული მოდელები იყოფიან ჰიდროსტატიკურ და არაჰიდროსტატიკურ მოდელებად. ჰიდროსტატიკურ მოდელებში ვერტიკალზე დაგეგმილ მოდრაობის განტოლებათაში უკუგდებულია ვერტიკალური სინქარის შემცველი წევრები, როგორც მცირე სიდიდეები და, ამგვარად, წნევის ვერტიკალური გრადიენტი გაწონასწორებულია სიმძიმის ძალით. სინოპტიკური და პლანეტარული მასშტაბის პროცესებისათვის, რომელთა ჰორიზონტალური მასშტაბი რამოდენიმე 1000 კმ რიგისაა ჰიდროსტატიკური მიახლოება სრულიად მისაღებია, მაგრამ თუ პროცესის მასშტაბი რამოდენიმე ათეული კილომეტრია და უფრო მცირეც, მაშინ სასურველია არაჰიდროსტატიკური მოდელების გამოყენება, სადაც მოძრაობის განტოლება ვერტიკალზე სრული სახით გაითვალისწინება. თანამედროვე რიცხვითი მოდელების უმრავლესობა შემოსახლვრული ტერიტორიისათვის არაჰიდროსტატიკურია და აღწერენ ატმოსფერულ მოძრაობათა ფართო სპექტრს. არსებობს ზოგიერთი მოდელის ორივე ვერსია – ჰიდროსტატიკური და არაჰიდროსტატიკური.

ზემოთ აღნიშნული მოდელები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან: 1. გამოყენებული კოორდინატთა სისტემით; 2. გათვალისწინებული ფიზიკური ფაქტორებით და მათი პარამეტრიზა-

ციის მეთოდებით; 3. მოდელის განტოლებათა სისტემის ამოხსნის მეთოდებით; 4. რიცხვითი სქემის პარამეტრებით (დროითი და სივრცითი ბიჯები, დონეები ვერტიკალზე, ამოხსნის არის ზომები).

რიცხვითი მოდელებისათვის, რომელთა რეალიზაცია ხდება შემოსაზღვრულ ტერიტორიაზე, დამახასიათებელია ერთი საერთო პრობლემა, რაც დაკავშირებულია გვერდით სასაზღვრო პირობებთან. რადგანაც განტოლებათა ინტეგრება ხდება სასრულ არეში, მოითხოვება სასაზღვრო პირობები გვერდით ზედაპირებზე, რომლებიც შემოსაზღვრავენ მოცემულ საინტეგრაციო არეალს. მაშასადამე, განტოლებათა ინტეგრების დროის პერიოდში საჭიროა მეტეოროლოგიური სიდიდეების პროგნოზულ მნიშვნელობათა ცოდნა გვერდით საზღვრებზე, რაც შესაძლებელია უზრუნველყოფილ იქნას იგივე ან სხვა რიცხვითი მოდელის რეალიზაციის შედეგად უფრო დიდ ტერიტორიაზე, რომელიც მოიცავს განსახილველ მცირე ტერიტორიას (nesting modeling). დიდ ტერიტორიაზე რიცხვითი მოდელების რეალიზაცია ხდება მნიშვნელოვნად უხეში სათვლელი ბადის გამოყენებით, რომლის სივრცითი ბიჯი აღემატება მცირე არეში გამოყენებული სათვლელი ბადის ბიჯს. მცირე არის მაღალი გარჩევისუნარიანობის სათვლელი ბადე ჩადგმულია დიდი არის შედარებით უხეშ ბადეში, ხოლო დიდ არეზე ამოცანის რეალიზაციის შედეგად გამოთვლილი პროგნოზული მნიშვნელობები გამოიყენება სასაზღვრო პირობების სახით მცირე არეში რეალიზებადი რიცხვითი მოდელის განტოლებათა სისტემისათვის. ნახ.1-ზე სქემატურად ილუსტრირებულია ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის გამოყენება. აქ ციფრით '1' ნაჩვენებია დიდი არე, სადაც უხეშ ბადეზე მეტეოროლოგიური სიდიდეების გამოთვლილი მნიშვნელობები გამოიყენება '2'-ით აღნიშნულ მცირე არეში გვერდითი სასაზღვრო პირობების სახით, ხოლო ამ არეში მოდელის რეალიზაციის შედეგებს გამოიყენებს უფრო მცირე '3' არეში რეალიზებული მოდელი ყველაზე მაღალი გარჩევისუნარიანობით.



ნახ.1. ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის სქემატური სურათი.

გამოიყენება სამი სახის ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი: ცალმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (one-way nesting), ორმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (two-way nesting) და მოძრავ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი (moving nesting). პირველი მეთოდი შედარებით მარტივია რეალიზაციის თვალსაზრისით და იგი უზრუნველყოფს დიდ ტერიტორიაზე განვითარებული პროცესების გავლენას იმ ლოკალურ ან რეგიონულ პროცესებზე, რომლებიც ვითარდებიან მცირე ტერიტორიაზე. ეს გავლენა გათვალისწინებულია გვერდითი სასაზღვრო პირობების მეშვეობით. ამ შემთხვევაში უკუგავლენის გათვალისწინება გამორიცხებულია. ორმხრივ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდი უზრუნველყოფს არა მარტო დიდ ტერიტორიაზე განვითარებული პროცესების გავლენას მცირე ტერიტორიაზე განვითარებულ ლოკალურ პროცესებზე, არამედ უკუგავლენასაც, როცა ხდება დიდ არეზე რეალიზებული მოდელის ამონახსნების დაზუსტება. ამ მიზნით განტოლებათა ინტეგრების პროცესში ყოველ დროით ბიჯზე უხეში ანუ დიდი ბადის იმ კვანძებში, რომლებიც ხვდება მცირე რეგიონული არის ტერიტორიაზე, დიდ არეზე რეალიზებული მოდელის ამონახსნები იცვლება მცირე ტერიტორიაზე

რეალიზებული მოდელის ამონახსნებით. მესამე მეთოდის, ანუ მოძრავ ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის გამოყენებისას მცირე ბადე უკეთესი გარჩევისუნარიანობით გადაადგილდება პროცესის განვითარების შესაბამისად. მაგალითად, ტროპიკული ციკლონის მოდელირებისას მოძრავი ბადეც გადაადგილდება ციკლონის შესაბამისად.

მოკლედ დავახასიათოთ ზოგიერთი თანამედროვე მოდელი. WRF (Weather Research and Forecasting) მოდელის შემუშავება დაიწყო 2000 წელს და ამჟამად მოქმედებაშია მე-3 ვერსია, რომელსაც სამეცნიერო და ოპერატიული დანიშნულება აქვს [5]. მოდელის შემუშავებაში მონაწილეობას იღებდნენ აშშ წამყვანი სამეცნიერო ორგანიზაციები: ოკეანისა და ატმოსფეროს ეროვნული ადმინისტრაცია (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration), გარემოს დაცვისა და პროგნოზული სისტემის ეროვნული ცენტრის ლაბორატორია (National Centers for Environmental Prediction and Forecast System Laboratory), აშშ სამხედრო-საჰაერო თავდაცვის დეპარტამენტი (The Department of Defense's Air Force of the USA), ამინდის სააგენტო და სამხედრო საზღვაო კვლევითი ლაბორატორია (Weather Agency (AFWA) and Naval Research Laboratory (NRL)), ოკლაჰომას უნივერსიტეტის შტორმების ანალიზისა და პროგნოზირების ცენტრი (The Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS) at the University of Oklahoma), ფედერალური ავიაციის ადმინისტრაცია (The Federal Aviation Administration (FAA)). WRF მოდელი არაჰიდროსტატიკურია და აღწერს ატმოსფერული მოძრაობების ფართო სპექტრს. მოდელი დაფუძნებულია ატმოსფეროს ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სრული სისტემის რიცხვით ამოსხნაზე ხმელეთისა და წყლის ზედა ფენაში მიმდინარე პროცესების გათვალისწინებით და ითვალისწინებს შემდეგ ძირითად ფაქტორებს: 1. კონვექციური და ფენოვანი ღრუბლები; 2. მიკროფიზიკური პროცესები ღრუბლებში: წყლის ორთქლი, ყინულის კრისტალები, წყლიანობა, ნალექები და სხვ (გამოიყენება 8 პარამეტრიზაციის სქემა); 3. მიწისპირა ფენის ფიზიკა (გამოიყენება მონინ-ობუხოვის მსგავსების თეორია და სხვ.); 4. გრძელტალღოვანი და მოკლელტალღოვანი რადიაციის პარამეტრიზაცია (თითოეულისათვის განიხილება პარამეტრიზაციის 4 სქემა); 5. ატმოსფერული ნალექები.

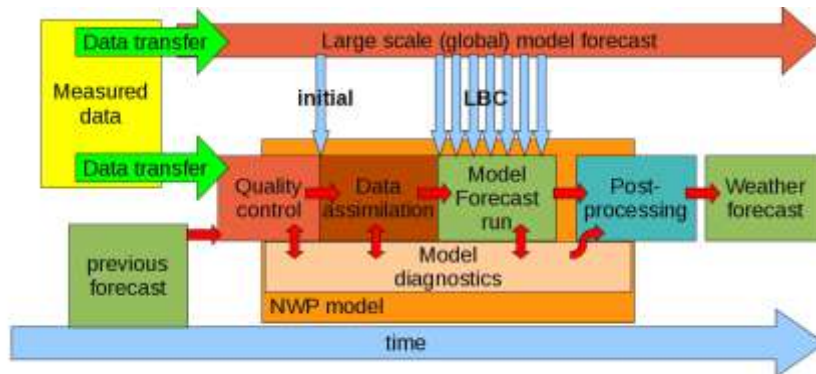
WRF მოდელის კომპიუტერული რეალიზაცია მოითხოვს LINUX სისტემას, C, C++ და FORTRAN კომპილატორებს და პროგრამული უზრუნველყოფის ბიბლიოთეკებს. WRF მოდელი წარმოადგენს ერთ-ერთ ყველაზე უნივერსალურ და თანამედროვე ატმოსფეროს მოდელირების სისტემას. იგი ფართოდ და წარმატებით გამოიყენება მეტეოროლოგიური პროგნოზებისა და კვლევითი მიზნებისათვის სხვადასხვა ქვეყნის მეტეოროლოგიურ სამსახურებსა და კვლევით ცენტრებში [6-10]. როგორც კვლევის ეფექტური ინსტრუმენტი იგი ფართო გამოყენებას პოულობს კლიმატის შესწავლაში, სხვადასხვა მეზომასშტაბური პროცესების მოდელირებისას და სხვ.

WRF ადაპტირებული იყო კავკასიის რეგიონისათვის [6, 7]. ამ მიზნით გამოიყენებოდა ორი არე: დიდი არე შედარებით უხეში ბადით მოიცავდა მთლიანად კავკასიის რეგიონს 167x117 ბადის კვანძებით და 5 კმ ბიჯით. დიდ ბადეში ჩადგმული იყო ბადე უკეთესი გარჩევისუნარიანობით, რომელიც ფარავდა საქართველოს ტერიტორიას 145x115 კვანძით და 5 კმ სივრცითი ბიჯით. გამოიყენებოდა ჩადგმულ ბადეთა მეთოდის ყველა ვერსია. რეალური მონაცემები საწყისი და გვერდითი სასაზღვრო პირობების განსასაზღვრავად მოიცემოდა გლობალური მოდელიდან (Global Forecasting System, GFS). მოდელირებული და პროგნოზირებული იყო ზოგიერთი შემთხვევა, მათ შორის დასავლეთისა და აღმოსავლეთის შემოჭრის დროს. საერთო დასკვნა ასეთი იყო: WRF-ით გამოთვლილი პროგნოზი უკეთესი აღმოჩნდა ტემპერატურის ექსტრემუმებისა და ქარის სიჩქარისათვის, ნალექებისათვის – უარესი. ასევე, პროგნოზი უკეთესი აღმოჩნდა დასავლეთის შემოჭრებისათვის, ვიდრე აღმოსავლეთის შემოჭრების შემთხვევაში.

WRF მოდელი გამოიყენებოდა წყნარი ოკეანის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში ტროპიკული ციკლონების ტრაექტორიისა და ევოლუციის პროგნოზის მიზნით შორეული აღმოსავლეთის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტში (ქ. ვლადივოსტოკი, რუსეთი) [8]. [9]-ში წარმოდგენილია ჰაერის ტემპერატურის, ატმოსფერული წნევისა და ნალექების გამოთვლების შედეგები ტომსკის ოლქისათვის (რუსეთი) WRF მოდელის გამოყენებით. გამოთვლითმა ექსპერიმენტებმა, რომელიც ჩატარებული იყო სუპერკომპიუტერზე “СКИФ Cyberia”, აჩვენა მოდელის გამოყენების კარგი პერსპექტივები. [10] –ში წარმოდგენილია მოდელის

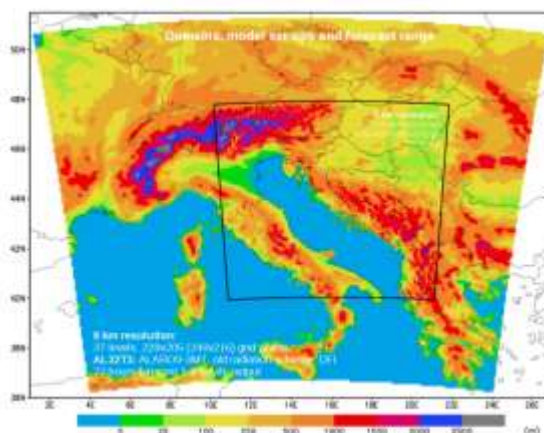
გამოყენების შედეგები ნოვოროსიისკის ბორას მოდელირებისას ARW-WRF ვერსიის გამოყენებით ოთხ ერთმანეთში ჩადგმულ ბადეზე. ამასთანავე შიდა არეში გამოიყენებოდა ძალიან მაღალი გარჩევისუნარიანი ბადე 333 მ სივრცითი ბიჯებით, რთული რელიეფის ადეკვატური აღწერის მიზნით.

ატმოსფეროს რეგიონული მოდელი ALADIN (Aire Limitee Adaptation Dinamique Developpement InterNational) შემუშავებულია 1997 წელს, რომლის ინიციატორია მეტეო-ფრანსი (Meteo-France). მოდელის შემუშავებაში მონაწილეობა მიიღო მეცნიერთა ჯგუფმა 16 ქვეყნიდან. არსებობს ALADIN –ის ჰიდროსტატიკური და არაჰიდროსტატიკური ვერსიები. ALADIN გამოიყენება უნგრეთის, ბულგარეთის, ხორვატიის, რუმინეთისა და ევროპის სხვა ქვეყნებისა და ჩრდილოეთ აფრიკის ქვეყნების ოპერატიულ სამსახურებში.



იხილ. ასოგის მსს გაითოსკლსს უტააეის ALADIN მოდელით [11].

ნახ. 2 გვიჩვენებს ALADIN მოდელირების სისტემის გამოყენებით ამინდის პროგნოზის მომზადების ყველა ძირითად სტატიას დაწვებულს საწყისი ველების დამუშავებიდან საბოლოო პროგნოზული პროდუქციის მომზადებამდე [11], ხოლო ნახ. 3-ზე ნაჩვენებია პროგნოზის არე, რომელიც მოიცავს იტალიის ტერიტორიის დიდ ნაწილსა და ხორვატიის ტერიტორიას, სადაც ხდებოდა ALADIN სისტემის რეალიზაცია 8 კმ სივრცითი ბიჯით [11]. მონაცემთა მიღება გვერდით საზღვრებზე ხდებოდა გლობალური მოდელიდან.

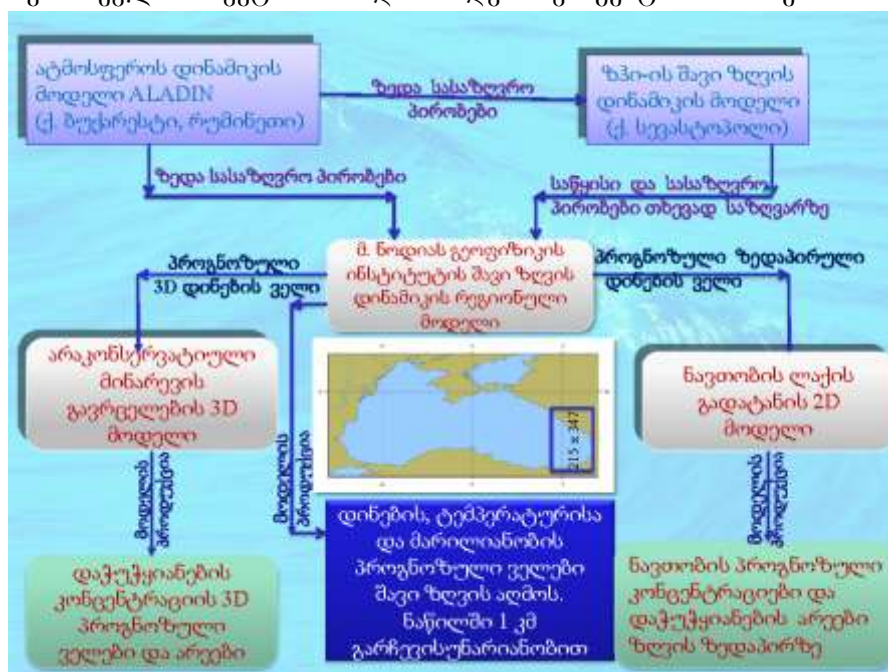


ნახ.3. ALADIN მოდელის რეალიზაციის არე და ოროგრაფია [11].

ALADIN – ით გამოთვლილ ამინდის პროგნოზის შედეგებს იყენებს შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემა [12, 13]. ამ მიზნით ALADIN მოდელი ადაპტირებულია შავი ზღვის რეგიონისათვის და მისი რეალიზაცია ხორციელდება 24 კმ სივრცითი ბიჯით შავი ზღვის ზემოთ. შავი ზღვის დიაგნოზისა და პროგნოზის სისტემის ერთ-ერთი კომპონენტია რეგიონული პროგნოზის სისტემა შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის, რომელიც ფუნქციონირებს ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში და უზრუნველყოფს ძირითადი ჰიდროფიზიკური ველების – დინების, ტემპერატურის, მარილიანობისა და სიმკვრივის პროგნოზს 3 დღის წინასწარობით და 1 კმ სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, ხოლო საგანგებო სიტუაციების დროს შესაძლებლობას

იძლევა აგრეთვე გამოვთვალთ ზღვაში მოხვედრილი ნავთობისა და სახვა მინარევების გავრელების ზონები და კონცენტრაციები [14-17].

ნახ.4-ზე ნაჩვენებია შავი ზღვის რეგიონული პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირების სქემა. როგორც ნახაზიდან ჩანს, სისტემის შემადგენელი ნაწილია ატმოსფეროს დინამიკის რეგიონული მოდელი ALADIN, რომელის საშუალებითაც რუმინეთის ეროვნულ მეტეოროლოგიურ სამსახურში (ქ. ბუქარესტი) გამოითვლება ატმოსფეროს მოკლევადიანი პროგნოზი შავი ზღვის აუზის ზემოთ. გამოთვლილი მეტეოროლოგიურ სიდიდეთა პროგნოზული მნიშვნელობები (ქარი, ტემპერატურა, ნალექები და სხვ.) ოპერატიულთან მიახლოებულ რეჟიმში იგზავნება ზღვის ჰიდროფიზიკის ინსტიტუტში (ქ. სევასტოპოლი) ინტერნეტის საშუალებით. ეს სიდიდეები გამოიყენება სასაზღვრო პირობებში ზღვის ზედაპირზე ზღვის დინამიკის მოდელისათვის, რომლის რეალიზაცია ხდება 5 კმ სივრცითი ბიჯით მთლიანდ შავი ზღვის აუზისათვის. საზღვაო პროგნოზის დამთავრებისთანავე ხდება გამოთვლილი პროგნოზული ინფორმაციის განთავსება საქართველოსათვის განკუთვნილ საიტზე, მათ შორის ALADIN-ით გამოთვლილი მეტეოროლოგიური სიდიდეებისაც. მიღებული პროგნოზული ინფორმაციის გამოყენებით მაღალი გარჩევისუნარიანი ზღვის დინამიკის რეგიონული მოდელის საფუძველზე გამოითვლება ძირითადი დინამიკური ველების 3 დღიანი პროგნოზი შავი ზღვის საქართველოს სექტორისა და მიმდებარე აკვატორიისათვის.

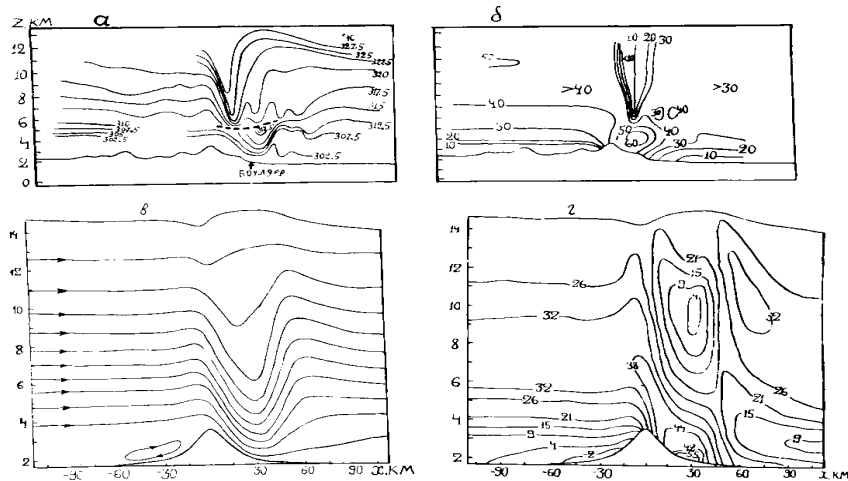


ნახ. 4. შავი ზღვის სანაპირო პროგნოზის სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციონირების სქემა [17].

ატმოსფეროს დინამიკის მთელი რიგი საკითხები კავკასიის რეგიონის ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების გათვალისწინებით განიხილება ქართველ მეცნიერთა მრავალ პუბლიკაციაში (მაგ., [18-25]). მნიშვნელოვან ინტერესს იმსახურებს შრომათა ციკლი [22-25], რომლებშიც არასტაციონარული ბაროკლინური მოდელის საფუძველზე კავკასიის რეალური რელიეფის გათვალისწინებით მოდელირებულია მეტეოროლოგიური ველების სივრცით-დროითი ევოლუცია სხვადასხვა სინოპტიკური (ფონური) პროცესების შემთხვევაში. მოდელში გათვალისწინებულია ისეთი ძირითადი ფაქტორები, როგორცაა დრუბელთა და ნალექთა წარმოქმნის პროცესები, ქვეფენილ ზედაპირთან (ზღვა, ხმელეთი) ურთიერთქმედება, ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების სივრცით-დროითი ცვალებადობა და სხვ.

[26]-ში შემოთავაზებულია ლოკალური ატმოსფერული პროცესების მოდელირების სისტემის ერთ-ერთი ვერსიის ფიზიკა-მათემატიკური ფორმულირება ძირითადი ფიზიკური ფაქტორების გათვალისწინებით. განიხილება მოძრავი ჰაერის მასა ტროპოსფეროში, რომელიც ქვემოდან შემოსაზღვრულია ოროგრაფიულად არაერთგვაროვანი დედამიწის ქვეფენილი ზედაპირით, ხოლო ზემოდან - თავისუფალი ზედაპირით, რომლის მდებარეობაც განისაზღვრება ამოცანის ამოხსნის პროცესში. ვერტიკალზე მოდელი მოიცავს რამოდენიმე

ფენას – თავისუფალ ატმოსფეროს, მიწისპირა და სასაზღვრო ფენებს, ნიადაგის აქტიურ ფენას (ან ზღვის აქტიურ ფენას). ქვედა ტურბულენტურ ფენაში ატმოსფერული პროცესები აღიწერება ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენის კვაზიერთგანზომილებიანი განტოლებათა სისტემის საშუალებით, ხოლო ტურბულენტური ველის განსასაზღვრავად გამოყენებულია მონინ-ობუხოვის მსგავსების თეორია, რაც საშუალება იძლევა გათვალისწინებულ იქნას მიწისპირა ფენაში თერმული სტრატეფიკაციის სხვადასხვა რეჟიმის გავლენა ტურბულენტური სიბლანტისა და დიფუზიის კოეფიციენტების პროფილების ფორმირებაზე.



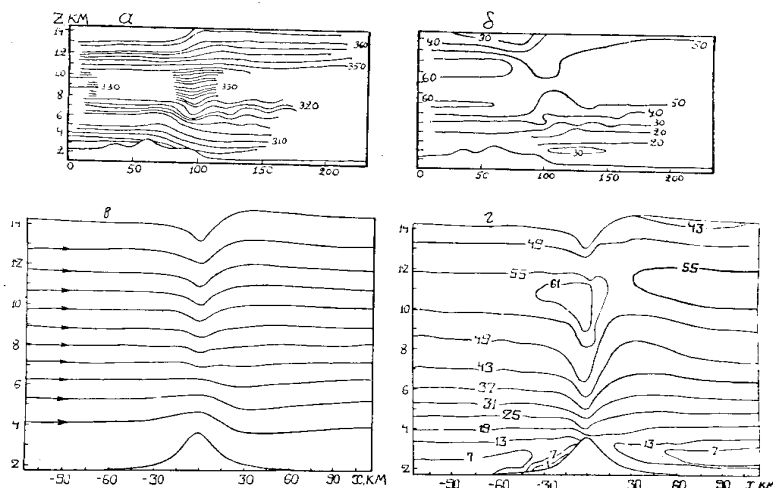
ნახ. 5. დინების ველი და ქარის სიჩქარის იზოწირები კლდოვანი მთების ზემოთ 1972 წლის 11 იანვარს ქ. ბოულდერთან (აშშ). დაკვირვების მონაცემები (ზედა სურათები) და მოდელირების შედეგები (ქვედა სურათები).

აღნიშნული მოდელის შემადგენელი კომპონენტი – ატმოსფეროს სასაზღვრო ფენა – ნიადაგის არასტაციონარული კვაზიერთგანზომილებიანი მოდელი [27], ასევე მოდელის ორი და სამგანზომილებიანი ვერსიები გარკვეული დაშვების ფარგლებში რეალიზებული იყო ავტორის მიერ გასულ წლებში [28-30]. აქ მოვიყვანოთ მოდელის ორგანზომილებიანი ვერსიის ვალიდაციის შედეგებს “მშრალი” ატმოსფეროს პირობებში, რაც განხორციელდა მოდელური შედეგების შედარების გზით [31-34]–ში აღწერილ დაკვირვების მონაცემებთან ოროგრაფიულად შემოფარებული ჰაერის დინების ორ შემთხვევაში კლდოვანი მთების ზემოთ ქ. ბოულდერის (აშშ) მახლობლობაში. ეს ორი შემთხვევა შეესაბამებოდა 1972 წლის 11 იანვარს და 1970 წლის 17 თებერვალს, როდესაც დაიკვირვებოდა სრულიად განსხვავებული დინებები – პირველ შემთხვევაში ადგილი ქონდა მძლავრი ჰიდრაულიკური ნახტომის ფორმირებას მთის ქარზურგა ფერდობის ზემოთ თავისუფალ ატმოსფეროში (ნახ. 5), ხოლო 1970 წლის 17 თებერვალს დინებას მშვიდი ხასიათი ქონდა, როდესაც ოროგრაფიულ ტალღათა ამპლიტუდა გაცილებით მცირე იყო (ნახ. 6). დინებათა სურათები და ქარის სიჩქარის იზოწირები აგებული იყო თვითმფრინავით ზონდირების საშუალებით მიღებული შედეგების საფუძველზე.

ნახ. 5-ზე მაჩვენებია კლდოვანი მთების ზემოთ 1972 წლის 11 იანვარს დაკვირვებისა (სურათები ზემოთ) და მოდელირების (სურათები ქვემოთ) შედეგად მიღებული დინებისა და სიჩქარის იზოწირების სურათები. ნახაზიდან ნათლად ჩანს, რომ მოდელი კარგად აღწერს ამ დღეს რეალური დინების ძირითად თავისებურებებს: გამოთვლილ დინებას ისეთივე ხასიათი აქვს თავისუფალ ატმოსფეროში ქარზურგა მხარეს, რაც ბუნებაში დაიკვირვებოდა, მიღებულია დინება მძლავრი ჰიდრაულიკური ნახტომით, დინების ჭავლური გაძლიერება ქვედა ფენებში ქარზურგა ფერდობთან სიახლოვეს, შედარებით სუსტი დინების არე თავისუფალ ატმოსფეროში. ჩვენს გამოთვლებში ქარპირა ფერდობთან ფორმირდება ჩაკეტილი ცირკულაცია, რაც დაკვირვების შედეგად არ აღინიშნება. ამის მიზეზი შესაძლებელია იყოს ის ფაქტი, რომ მოდელში არ არის გათვალისწინებული მიწისპირა ფენის პროცესები, გარდა ამისა რეალური რელიეფი მიახლოებითაა გათვალისწინებული.

სრულიად განსხვავებული ხასიათის დინებას ქონდა ადგილი კლდოვანი მთების ზემოთ 1970 წლის 17 თებერვალს, რომლის შესაბამისი დინებისა და სიჩქარის სურათები ნაჩვენებია ნახ. 6-ზე (ზედა სურათებზე - დაკვირვების შედეგები, ქვედაზე - მოდელირების შედეგები).

ნახაზიდან ცხადად ჩანს, რომ მოდელირების შედეგად მიღებულია დინების ისეთივე წყნარი სურათი, როგორც ეს დაიკვირვებოდა ამ დღეს რეალურად. ასეთივე კარგი დამთხვევაა დაკვირვებულ და გამოთვლილ ქარის სიჩქარეებს შორის. აღვნიშნოთ, რომ დინებათა ასეთი განსხვავებული სურათები, რომლებსაც ადგილი ქონდა 1972 წლის 11 იანვარს და 1970 წლის 17 თებერვალს აიხსნება იმ ფაქტით, რომ შეუშფოთებელი დინების დამახასიათებელი პარამეტრები - ქარის სიჩქარე და ვერტიკალური გრადიენტი, ასევე თერმული სტრატეფიკაცია ამ ორ შემთხვევაში სრულიად განსხვავდებოდა ერთმანეთისაგან.



ნახ. 6. დინების ველი და ქარის სიჩქარის იზოლიითი კლდოვანი თიების ზემოთ 1970 წლის 17 თებერვალს ქ. ბოულდერთან (აშშ). დაკვირვების მონაცემები (ზედა სურათები) და მოდელირების შედეგები (ქვედა სურათები).

[26]-ში ფორმულირებული ამოცანის შემდგომი სრულყოფა და განვითარება დაკავშირებულია ისეთი ფაქტორების გათვალისწინებასთან, როგორებიცაა ატმოსფერული ნალექები, რადიაციული და კონვექციური პროცესები და სხვ.

ლიტერატურა-LITERATURA-REFERENCES

1. Saito K., Ishida J., Aranami K., Hara T., Segawa T., Narita M., Honda Y. Nonhydrostatic atmospheric models and operational development at JMA. Journal of Meteorological Society of Japan, 2007, v.85B, pp.271-304.
2. Brozkova R., Derkova M., Bellus M., Farda A. Atmospheric forcing by ALADIN/MFSTEP and MFSTEP oriented tunings. Ocean Science, 2006, № 2, pp.113-121, <http://www.ocean-sci.net/2/113/2006>
3. ტატიშვილი მ., დემეტრაშვილი დ., მკურნალიძე ი. ამინდის საპროგნოზო მოდელირება საქართველოში. აკადემიკოს ივერი ფრანგიშვილის დაბადების 85-ე წლისთავისადმი მიძღვნილი საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის “საინფორმაციო და კომპიუტერული ტექნოლოგიები, მოდელირება, მართვა“ შრომები. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2015, გვ.28-432.
4. Белоусов С. Л., Беркович Л. В., Лосев В. М. Развитие гидродинамических методов краткосрочного прогноза погоды. В кн.: 70 лет Гидрометцентра России. Гидрометеоиздат, 1999. с.3-16.
5. Skamarock W. C., Klemp J. B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D. M., Duda M. G., Huang X. Y., Wang W., Powers J. G. A description of the Advanced Research WRF Version 3. National Center for Atmospheric Research. Boulder, Colorado, USA, 2008, 113 p. <https://pdfs.semanticscholar.org/ace5/4d4d1d6c9914997ad8f4e410044fdeb95b9d.pdf>.
6. Davitashvili T., Kvatadze R., Kutaladze N. Weather prediction over Caucasus region using WRF-ARW model. Proceedings of the 34th International Convection, 2011, Print ISBN: 978-1-4577-0996-8, Opatija, Croatia, pp.326-330.
7. Davitashvili T., Kutaladze N., Kvatadze R., Mikushadze G., Modebadze Z., Samkharadze I. Precipitation prediction by different physics of WRF model. International Journal of Environmental Science. 2016, v.1, pp.294-299. <http://iaras.org/iaras/journals/ijes>
8. Крохин В. В., Ламаш Б. Е. Использование численной модели высокого разрешения HWRF для прогноза траектории и эволюции тайфунов северо-западной части Тихого океана. Вестник ДВО РАН, 2012, №3, с.42-48.
9. Кижнер Л. И., Нахтигалова Д. П., Барт А. А. Использование прогностической модели WRF для использования погоды Томской области. Вестник Томского государственного университета. 2012, №358, с.219-224.

10. Ефимов В. В., Барабанов В. С. Моделирование Черноморской боры. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2013, т.49, № 6, с.688-698.
11. Tudor M., Ivatek-Sahdan S., Stanesic A., Horvath K., Bajic A. Numerical weather in Croatia using ALADIN numerical weather prediction model. 2013, <http://dx.doi.org/10.5772/55698>
12. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeev V. L., Demyshev S. G., Kubryakov A. I., Ratner Yu. B. Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. Ocean Science, 2011, 7, pp.629-649. doi: 10.5194/os-7-629-2011/.
13. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. L., Ratner Y. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. Ocean Science, 2012, 8, pp.183-196.
14. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP, Ocean Science, 2011, 7, pp.793-803.
15. Kordzadze A., Demetrashvili D., Kukhalashvili V. Easternmost Black Sea regional forecasting system. In: Proceedings of the 12th International Conference on the Mediterranean Coastal Environment-MEDCOAST 2015, 6-10 October, Varna, Bulgaria, pp.769-780.
16. Kordzadze A., Demetrashvili D. Operational forecasting for the eastern Black Sea. In: Proceedings of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation. MEDCOAST 2017, 31 October-04 November, Mellieha, Malta, pp.1215-1224.
17. კორძაძე ა., დემეტრაშვილი დ. შავი ზღვის ოკეანოგრაფია წარსულში და თანამედროვე ეტაპზე. ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, თბილისი, 1987, 187 გვ.
18. Нозадзе Р. И. Гидродинамический краткосрочный прогноз температуры атмосферы с учетом влияния рельефа. Тр. ЗакНИГМИ, 1971, вып.43(49), с.2-20.
19. Хведелидзе З. В. Исследование атмосферных движений в поле силы Кориолиса при наличии гор. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1982, т.18, № 3, с.227-232.
20. Микашавидзе Б. А. Расчет вертикальных токов на разных уровнях атмосферы с учетом влияния орорафии. Труды ЗакНИГМИ, 1967, вып. 24 (30), Ленинград, с.67-87.
21. დავითაშვილი თ. ატმოსფეროს ფიზიკის ზოგიერთი ამოცანის რიცხვითი მოდელირება მთიანი რეგიონებისათვის. ავტორეფერატი ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორის სამეცნიერო ხარისხის მოსაპოვებლად. თბილისი, 1997, 41 გვ.
22. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background eastern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 1999, v.4b, pp.61-72.
23. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background northern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 1999, v.4b, pp.48-60.
24. Surmava A. A. The numerical investigation of air motion over Caucasian region in case of background southern wind. J. Georgian Geoph. Soc., 2000, v.5b, pp.39-50.
25. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния Кавказского рельефа на распределение гидрометеорологических полей. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2007, т.43, № 6, с.783-791.
26. დემეტრაშვილი დ. ლოკალური ატმოსფერული პროცესების ჰიდროდინამიკური მოდელირების შესახებ. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, 2010, ტ. 114, გვ. 119-125.
27. Деметрашвили Д. И. Нестационарная квазиодномерная модель планетарного пограничного слоя.- Тр. ЗакиИИ, Москва, Гидрометеоздат, 1989, вып. 91 (98). с.84-93.
28. Деметрашвили Д. И. Нестационарная задача о мезомасштабных процессах в свободной атмосфере над орографически неоднородной поверхностью Земли. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1979, т.17, № 7, с.699-709.
29. Деметрашвили Д. И. Численное моделирование реальных течений над горным хребтом в свободной атмосфере. Тр. ЗакиИИ, Москва, Гидрометеоздат, 1984, Вып. 81(88), с. 65-73.
30. Demetrashvili D., Davitashvili T. A modeling study of meso-scale air flow over the mountainous relief with variable in time large-scale background flow. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, 2013, t.7, N 2, pp.57-65.
31. Lilly D. K., Zipser E. J. The front range windstorm of 11 January 1972. A meteorological narrative. Weatherwise, 1972, v.25, №1, pp.56-63.
32. Lilly D. K., Kennedy P. J. Observational of stationary mountain wave and its associated mountain flux and energy dissipation. J. Atm. Sci., 1973, v.30, № 6, pp.1135-1152.
33. Klemp J. B., Lilly D. K., Numerical simulation of hydrostatic mountain waves. J. Atm. Sci., 1978, v.35, № 1, pp.78-107.
34. Lilly D. K. A severe downslope windstorm and aircraft turbulence event induced by a mountain wave. J. Atm. Sci., 1978, v.35, № 1, pp. 59-77.

ამინდის პროგნოზის რიცხვითი მოდელები შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის. /დ. დემეტრაშვილი/სტუის ჰმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.90-98 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

სტატიაში მოკლედ მიმოიხილება ამინდის პროგნოზის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები შემოსაზღვრული ტერიტორიისათვის, რომლებიც ამჟამად ფართოდ გამოიყენება მრავალი ქვეყნის ამინდის ოპერატიულ სამსახურში და კვლევითი მიზნებისთვის (ALADIN, WRF, MM5 და სხვ.). ერთ-ერთი ასეთი მოდელის შედეგებს იყენებს საქართველოს ამინდის ოპერატიული სამსახური. ხაზგასმულია აღნიშნული მოდელების საერთო და განმასხვავებელი თავისებურებანი. ამინდის პროგნოზის თანამედროვე რიცხვითი მოდელები ხასიათდებიან მაღალი სივრცითი გარჩევისუნარიანობით, რაც ატმოსფერულ მოძრაობათა მეტად ფართო სპექტრის აღწერის საშუალებას იძლევა, დაწყბულს ათეული კილომეტრის რიგიდან სინოპტიკური მასშტაბის პროცესებამდე. აღნიშნულია საქართველოში წარმოებული სამუშაოები მეზომასშტაბური ატმოსფერული პროცესების მოდელირებასა და მის შემდგომ განვითარებასთან დაკავშირებით. მოყვანილია მეზომასშტაბური დინების მოდელის ორგანზომილებიანი ვერსიის საფუძველზე კვლევანი მთების ზემოთ (აშშ) ჰაერის რეალური დინების მოდელირების შედეგები, რომლებიც შედარებულია დაკვირვების მონაცემებთან.

Numerical Weather Forecasting Models For Limited Areal./D. Demetrasvili/ Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.90-98. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

The article presents an overview of the modern numerical weather prediction models for a limited area, which are widely used in operational weather service of many countries and for research purposes (ALADIN, WRF, MM5, etc.). The operational weather service of Georgia uses the results of one of these models. The general and distinctive features of such models are noted. Modern numerical weather forecasting models are characterized by high spatial resolution, which makes it possible to reproduce a wide range of atmospheric movements from scales of the order of 10 km to synoptic scale processes. The research works on modeling of mesoscale atmospheric processes carried out in Georgia and the prospects for their further development are noted. The results of modeling real currents over the Rocky Mountains (USA) are presented on the basis of a two-dimensional version of the mesoscale flow model and comparison with observational data.

Модели численного прогноза погоды для ограниченной территории./Д.Деметрашвили/ Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.90-98. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

В статье дается краткий обзор современных моделей численного прогноза погоды для ограниченной территории, которые широко используются в оперативной службе погоды многих стран и в исследовательских целях (ALADIN, WRF, MM5 и др.). Оперативная служба погоды Грузии использует результаты одного из таких моделей. Отмечается общие и отличительные особенности таких моделей. Современные численные модели прогноза погоды характеризуются высокой пространственной разрешающей способностью, что дает возможность воспроизводить широкий спектр атмосферных движений начиная с масштабов порядка 10 км до процессов синоптического масштаба. Отмечается научно-исследовательские работы по моделированию мезомасштабных атмосферных процессов, проводимые в Грузии и перспективы их дальнейшего развития. Приведены результаты моделирования реальных течений над Скалистыми горами (США) на основе двумерной версии модели мезомасштабного течения и сопоставление с данными наблюдений.

უაკ 551.513.511.509

**ჰაერის მიკროციკულაციური პროცესები და კლიმატური თავისებურებანი
 თბილისის ტერიტორიაზე**

ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., ზოტიკიშვილი ნ., სამხარაძე ი.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი,

კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების ჩასახვა-განვითარება ბუნებრივია მიმდინარეობს კონკრეტულ, ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში. ამიტომ არსებითი და ზოგჯერ გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს რეგიონალურ-ლოკალური კლიმატის თავისებურებებს. პირველ რიგში, მიკროციკულაციურ პროცესებს [1-6], ვინაიდან ლოკალური პირობები მოქმედებს ჰაერის ნაკადის არა მარტო დინამიკურ მახასიათებლებზე, არამედ მიდამოს ტემპერატურასა, ტენიანობასა, ამინდის პირობებსა და ეკოლოგიურ სიტუაციაზე. კლიმატწარმომქმნელი ფაქტორების ჩასახვა-განვითარება ბუნებრივია მიმდინარეობს კონკრეტულ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში. ამიტომ არსებითი და ზოგჯერ გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს რეგიონალურ-ლოკალური კლიმატის თავისებურებებს. პირველ რიგში მიკროციკულაციურ პროცესებს [1-9], ვინაიდან ლოკალური პირობები მოქმედებს ჰაერის ნაკადის არა მარტო დინამიკურ მახასიათებლებზე, არამედ მიდამოს ტემპერატურასა, ტენიანობასა, ამინდის პირობებსა და ეკოლოგიურ სიტუაციაზე. ყოველივე ეს მკაფიოდ მიუთითებს ლოკალური პროცესების თეორიული და მოდელური შესწავლის აუცილებლობაზე.

ცალკეული რეგიონის გეოლოგიურ-გეოგრაფიული პირობები, განაპირობებს კლიმატის იმ ლოკალურ „ფენომენურ“ თავისებურებებს, რომლითაც გამოირჩევა საქართველოს ტერიტორიის რამდენიმე ქალაქი თუ მხარე, განსაკუთრებით კი ქვაბურები.

შრომის მიზანია ატმოსფეროს მიწისპირა-სასახლდრო ფენის გამოკვლევა და მათში მიმდინარე ცირკულაციური პროცესების შესწავლა, საქართველოს ცალკეულ ლოკალურ ადგილებზე, კერძოდ თბილისის ტერიტორიაზე. თეორიულად ახსნილი და სტატისტიკურად დასაბუთებული იქნება მითითებულ რეგიონებში შემჩნეული მკვეთრი კლიმატური თავისებურებანი.

საკითხის თეორიული მხარის გაშუქებისათვის ვსარგებლობთ ჰიდროდინამიკაში აღიარებული ა. ფრიდმანის გამარტივებული განტოლებით, ქარის Ω სიჩქარის გრიგალის ვერტიკალური მდგენელისათვის, შემდეგი სახით [1.2.3.4.5.6]:

$$\frac{\partial \Omega}{\partial t} + u \frac{\partial (\Omega + l)}{\partial x} + v \frac{\partial (\Omega + l)}{\partial y} = -lD \quad (1),$$

სადაც მთა-გორიან ტერიტორიისათვის გეოსტროფიულ მიახლოებაში Ω ასე წარმოდგება

$$\Omega = \frac{1}{\eta} [\Delta \Psi - (a\Psi_x + b\Psi_y)] \quad (2).$$

აქ Ψ - დენის ფუნქციაა, u და v არის სიჩქარის ჰორიზონტალური მდგენელები.

$\eta = \frac{p_z}{p_0}$ - აგეოსტროფიულობის პარამეტრი, p_z - წნევა მთის სიმაღლეზე, p_0 - წნევის სტანდარტული მნიშვნელობა, Δ ლაპლასის ბრტყელი ოპერატორი, $a = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial x}$; $b = -\frac{\partial \ln \eta}{\partial y}$ - მთის

გაგლეხის მახასიათებელი პარამეტრები შესაბამისად, პარალელის და მერიდიანის მიმართულებით, Ψ_x და Ψ_y დენის ფუნქციის წარმოებულნი, შესაბამისად ox და oy ღერძების მიმართ, D - ნაკადის სიჩქარის ბრტყელი დივერგენცია, l კორიოლისის პარამეტრი. (2)-ის (1)-ში ჩასმით, მეტეოროლოგიური სიდიდეების და მათი წარმოებულების რიგის შეფასების გათვალისწინებით [2.3.5.6] მიიღება ძირითადი სამუშაო განტოლება:

$$\left(\frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y}\right)(\Delta \Psi + a\Psi_x + b\Psi_y) = l\eta(b\Psi_x - a\Psi_y) \quad (3)$$

ამ განტოლების ამოხსნა ვეძებთ შემდეგი ბრტყელი ტალღის სახით [6. 7].

$$\Psi = \Psi_0 e^{i(mx+ny-\sigma t)} \quad (4),$$

სადაც m და n შესაბამისი ტალღური რიცხვებია, σ კი ფაზური სიხშირე, Ψ_0 დენის ფუნქციის ამპლიტუდური მნიშვნელობა. (3) -ში (4)-ის ჩასმით ფაზური სიხშირისათვის მიიღება დამოკიდებულება:

$$\sigma = \frac{\rho^2 [l_1(am+bn) - \beta_1 m]}{m[\rho^2 + (am+bn)^2]} + i \frac{(am+bn)[l_1(am+bn) - \beta_1 m]}{m[\rho^2 + (am+bn)^2]} \quad (5).$$

ლოკალური ცირკულაციური პროცესები, როგორც წესი მიისწრაფიან სტაციონალური მდგომარეობისაკენ, რომელსაც შეესაბამება $\sigma = 0$ პირობა. ატმოსფერული მოვლენების რეალობიდან გამომდინარე, ფაზური სიხშირისათვის აღებული უნდა იქნას მხოლოდ ნამდვილი ნაწილი. ამ მოთხოვნას უზრუნველყოფს პირობა [4-6]:

$$am + bn = 0 \quad (6).$$

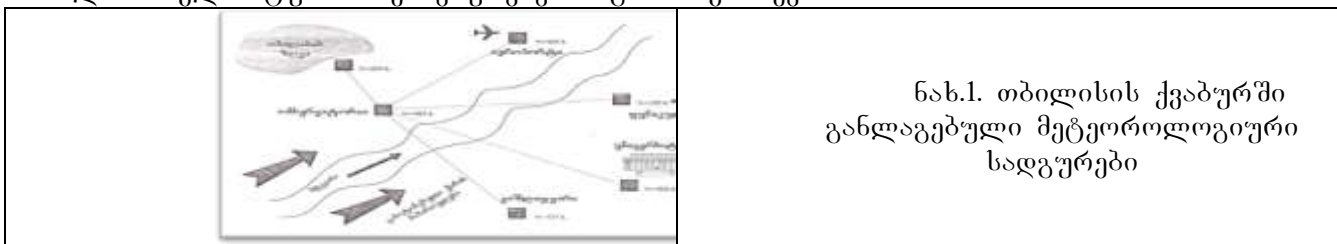
ეს დამოკიდებულება თეორიულად ადასტურებს სინოპტიკურ პრაქტიკაში შემჩნეულ და აღიარებულ რეგიონალურ პრობლემას, კერძოდ იმას, რომ ატმოსფერული პროცესები ამიერკავკასიაზე, ძირითადად ვრცელდება პარალელის მიმართულებით, მთაგრეხილების გასწვრივ [4].

ეს შედეგი სამართლიანია ადგილობრივი ლოკალური ტერიტორიისათვისაც, სადაც მთის მასივი შეიძლება აპროქსირებული იქნას გეომეტრიული ფიგურის სახით და გათვლილი იქნას სათანადო მახასიათებელი პარამეტრები ამრიგად, ნებისმიერ შერჩეულ ლოკალურ პოლიგონზე ჰაერის ნაკადზე მოქმედებს, რელიეფის გავლენით წარმოქმნილი აღმავალ-დაღმავალი დინებები, რომელთა გათვალისწინებაც აუცილებელია. სწორედ ეს დინებები არსებითად განსაზღვრავს ადგილობრივი ცირკულაციის ბუნებას და მთელ რიგ თავისებურებებს ლოკალურ ქვაბურებში. ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარის W_0 განსაზღვრისათვის კი გამოვიყენოთ [5.9] შრომაში, ჩვენს მიერ მიღებული გამოსახულება:

$$W_0 = \frac{1}{l\rho\eta} (p, \ln \eta) H \quad (7),$$

სადაც H არის ატმოსფერული ფენის სიმაღლე. W_0 გამოხატავს სწორედ, ოროგრაფიული ფაქტორის გავლენით წარმოქმნილ აღმავალი დინების სიჩქარეს.

მოყვანილი თეორიის საფუძველზე ახსნილი იქნება ქობილისის ქვაბურში დაკვირვებული „ფენომენური“ მოვლენები. თბილისი მდებარეობს მდინარე მტკვრის ხეობაში, სამხრეთ-აღმოსავლეთით მთაწმინდის (760 მ) და ჩრდილო-დასავლეთით მახათის (520 მ) მთას შორის. მტკვრის მიმართულებით ქალაქის სიგრძე 30 კმ-ია, სიგანე 10-15კმ. თბილისის ქვაბურში შერჩეულ იქნა ექვს სხვადასხვა ადგილზე განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგური (ნახ.1). აქ მოპოვებული მრავალწლიური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით, მოხდა თბილისის კლიმატური თავისებურებების გამოაშკარავება.



ნახ.1. თბილისის ქვაბურში განლაგებული მეტეოროლოგიური სადგურები

ძირითადი მეტეოროლოგიური სიდიდეების მრავალწლიური მნიშვნელობები მოყვანილია ცხრილში 1.

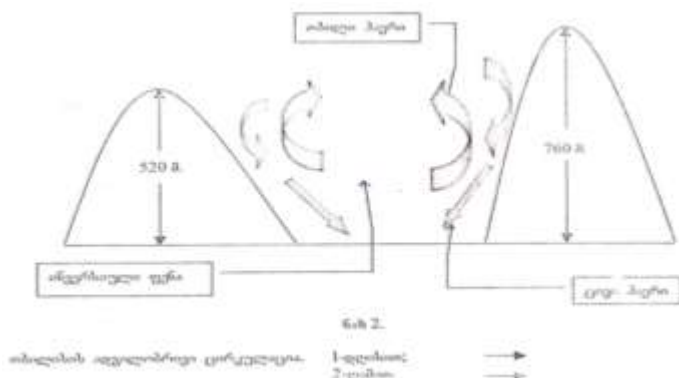
ცხრ. 1. მეტეოროლოგიური სიდიდეების მრავალწლიური მნიშვნელობები

სადგურები	ფუნიკულიორი 1946-1955 წწ	აეროპორტი 1946-1955 წწ	დიღომი // ვაშლიჯვარი 1966-1975 წწ	სასოფლო ინსტიტუტი 1960-1967წწ
ატმოსფერული წნევა (მბ)	955,5	920	966,7	841,7
ჰაერის ტემპერატურა °C	12,6	10,8	12,9	13,5
ფარდობითი სინოტივე (%)	65	68	66	64
ქარის სიჩქარე (მ/წმ)	5,9	3,4	-	2,5

ქვემოთ მოყვანილია სადგურების მონაცემები წლების მიხედვით:

წლები	მკერატურა (°C)	ფარდობითი ტენიანობა (%)	წნევა (მმ)	ქარის სიჩქარე (მ/წმ)	წლები	მკერატურა (°C)	ფარდობითი ტენიანობა (%)	წნევა (მმ)	ქარის სიჩქარე (მ/წმ)
ფუნიკულიორი (1938-1957 წწ.)					დიღომი (გამლიჯვარი)* (1966-1985 წწ.)				
1938	13.4	64	-	3.1	1966	14.8	66	966.1	14.3
1939	11.1	70	-	3.2	1967	12.5	67	965.6	16
1940	11.5	70	695	3.5	1968	13	66	966.2	15.3
1941	11.4	62	805	5.2	1969	12	67	967.1	16.2
1942	10.4	70	-	4.7	1970	13.4	65	966.4	19.8
1943	10.4	72	920	4.2	1971	13,3	63	966,3	19,7
1944	11.1	69	920	3.7	1972	12,2	66	968	23,1
1945	10.9	65	920	3.5	1973	12,2	64	966,8	დღ. 2
1946	10.6	66	920	3	1974	12,3	69	967,6	დღ. 1,3
1947	11.6	68	920	5	1975	12,9	65	966,8	დღ. 1,3
1948	10.7	67	920	3.5	1976	11,8	69	966,8	დღ. 1,6
1949	9.2	69	920	3.2	1977	12,6	67	966,8	დღ. 1,4
1950	10.8	66	920	3.8	1978	12,8	66	1017,1	დღ. 1,3
1951	10.2	66	920	3.2	1979	13,7	66	1017,6	დღ. 1,0
1952	11.4	67	920	3.1	1980	13,1	66	1016,8	დღ. 1,1
1953	10.6	67	920	3.4	1981	13,5	69	1016,0	დღ. 0,9
1954	11.2	69	920	2.6	1982	12,2	70	1017,6	დღ. 0,7
1955	10.9	72	920	3.1	1983	12,8	70	1016,8	დღ. 0,7
1956	9.8	68	920	3.3	1984	11,4	71	1018	დღ. 0,6
1957	12.0	66	-	2.9	1985	13	65	1016,3	დღ. 0,8
აეროპორტი (1945-1964 წწ.)					ს/ს ინსტიტუტი (1960-1967 წწ.)				
1945	11.7	66	959.1	5.9	1960	13	66	722	2,7
1946	12	66	959.5	5.4	1961	13,5	61	721,6	2,6
1947	13.1	66	959.0	5.5	1962	14,3	60	721,8	2,5
1948	12.4	67	958.8	6.3	1963	13	69	821	2,1
1949	11.8	68	918.3	5.6	1964	12,4	63	962,2	2,7
1950	12.3	62	959.3	6.8	1965	12,8	61	961,7	2,6
1951	12.9	61	959.7	5.0	1966	15	63	962	2,2
1952	12.8	63	959.5	6	1967	13,6	66	961,1	2,3
1953	12.4	63	960	6.9					
1954	12.8	65	959.4	5.2					
1955	13.2	69	958.6	5.5					
1956	11.3	66	959.4	6.8					
1957	13.7	63	959.9	5.7					
1958	12.6	64	959.1	7.3					
1959	11.5	68	959.1	6.4					
1960	12.6	69	959.5	5.4					
1961	13.1	65	958.5	6.8					
1962	13.9	63	960	5.2					
1963	12.3	73	960.5	5.2					
1964	11.6	71	961.4	6.0					

თბილისის ქვაბურში აღიარებული „ფენომენური“ თავისებურება შემდეგია: ზამთარში მზიან წყნარ ანტიციკლონურ ამინდში, ხშირად არის დღეები, როცა მთაწმინდის ფერდობზე ტემპერატურა $6-9^{\circ}\text{C}$ -ით აღემატება ობსერვატორიის (459 მ) ტემპერატურას. მთიდან ჩამონახური ჰაერი მდ. მტკვრის ხეობაში გამოსხივების გამო, კიდევ უფრო ცივდება და ცუდი გამტარიანობის გამო ტაფობში „დაგუბებას“ განიცდის. ეს არის ერთ-ერთი მიზეზი იმისა, რომ თბილისში ღამის ტემპერატურა საგრძნობლად დაბალია და დღელამური ამპლიტუდა იზრდება. თითქმის პარადოქსი -ფენომენია, მაგრამ ფაქტია, რომ მთაწმინდაზე ზამთარში მთელი დღის განმავლობაში უფრო თბილა, ვიდრე ქალაქის ცენტრში. ზაფხულში კი უფრო გრილა, ცენტრში ჰაერის ტენიანობაც იზრდება, ბურუსია, (ხილვადობა 500-700 მეტრზე ნაკლები), თითქმის მუდმივად არის აეროზოლური სმოგ-ღრუბელი [10]; მიკროცირკულაცია ხელს უწყობს ქალაქის ცენტრში ტემპერატურის მატებას, გარე უბნებთან შედარებით. იანვრის და ივლისის ტემპერატურა თბილისის ცენტრში (0,6-2) გრადუსით აღემატება დიდმისა და სამგორის ტემპერატურას. ქალაქის ცენტრში ქარის სიჩქარეც სუსტია (იანვარში 2,2 მ/წმ, ივლისში - 2,1 მ/წმ), გარე უბნებთან შედარებით (შესაბამის თვეებში დიღომში 3.7 მ/წმ და 5.2 მ/წმ, აეროპორტში კი 5.4 მ/წმ და 7.2 მ/წმ). ჰაერის უშუალოდ ვერტიკალური შერევა მცირეა [5,8,9], ქრის მხოლოდ ფერდობების ქარი (ნახ. 2), რის გამოც ადგილი აქვს ჰაერის ინვერსიული ფენის წარმოშობას, მტკვრისა დასხვა მინარევების დაგროვებას, რაც ზრდის ჰაერის გაჭუჭყიანებას. შესაბამისად იზრდება მზის გრძელტალღოვანი გამოსხივების ინტენსივობა, ხოლო ულტრაიისფერისა მცირდება. მიწისპირა ფენაში ხდება ულტრაიისფერი სხივების დაგროვება, რაც ზრდის მიწისპირა ოზონის კონცენტრაციას. ეს უკანასკნელი კი იწვევს სიცოცხლეზე არასასურველ ზემოქმედებას. ასევე კლიმატური თავისებურებაა თბილისში აეროზოლური ღრუბელის ხანგრძლივი არსებობა დილის საათებში (რაც კარგად დაიკვირვება მაღალი შენობების სართულებიდან). ეს ღრუბელი მთელ ქალაქს „აწვეს“ ზემოდან და არ ნიაფდება.

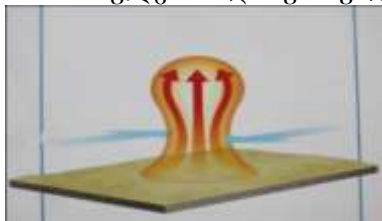


ნახ. 2. მიკროცირკულაცია თბილისის ქვაბურში

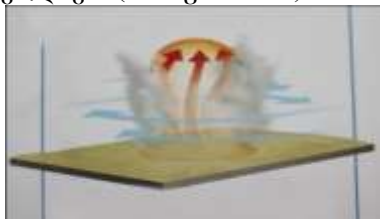
თბილისის ტაფობის აღნიშნული თავისებურებები აიხსნება მოყვანილი თეორიით. ამისათვის მოვახდინოთ რელიეფის გავლენის მახასიათებელი პარამეტრების შეფასება. მთაწმინდისა და მახათის მთა წარმოვადგინოთ სამკუთხა პირამიდის სახით (ნახ. 2), რომელთა მწვერვალებზე ატმოსფერული წნევის საშუალო მრავალწლიური მნიშვნელობა და მათ შორის მანძილი ცნობილია და ქვაბურში ჰაერის ფენის სიმაღლე 1000 მეტრია, ქარის გაბატონებული მიმართულება კი არის ჩრდილო-დასავლეთი.

ამ რეალური მონაცემებით გათვლილი რელიეფის გავლენის a და b მახასიათებელი პარამეტრები უდრის $a=5,52 \cdot 10^{-6} 1/მ$, $b=23 \cdot 10^{-6} 1/მ$, ვერტიკალური ოროგრაფიული სიჩქარე გათვლილი (7) ფორმულით კი არის $W_0=12,64$ სმ/წმ [6,2.7.8]. ამ მნიშვნელობების გათვალისწინებით, ფორმულა (6)-ის საფუძველზე, მიიღება მეტად მნიშვნელოვანი შედეგი. ვინაიდან რელიეფის გავლენის პარამეტრი b ჩრდილო-სამხრეთ მიმართულებით ოთხჯერ აღემატება პარამეტრს დასავლეთ-აღმოსავლეთის გასწვრივ, ამიტომ ჰაერის მასები ძირითადად, მხოლოდ ერთი მიმართულებით მტკვრის ხეობის გასწვრივ მოძრაობს ($n=4,12$ მ). ქვაბურში წარმოებს მთა-ხეობის ჩაკეტილი ცირკულაციის წარმოშობა (იხ.სურ.2), რომელსაც აძლიერებს ვერტიკალური სიჩქარის სიმცირე (მაქსიმუმ ორი ათეული სმ/წმ). ცხადია ჰაერის ნაკადის ასეთი დინამიკა ასაბუთებს, ქვაბურში ზემოთ მოყვანილ ყველა კლიმატურ „ფენომენურ“ თავისე-

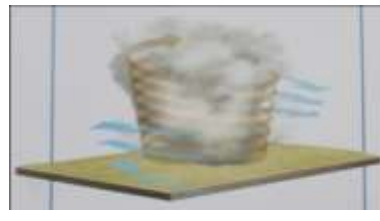
ბურებებს. ვინაიდან ტაფობში მუდმივად არის რელიეფური წარმოშობის აღმავალი დინება, რომელიც ნაკეტილი ცირკულაციის გამო, მთის ზემოთ კი არ ქრება, არამედ იცვლის მიმართულებას და უბრუნდება ქალაქს (იხ.სურ. 1.2.3.).



სურ. 1. ჰაერი სვეტად ადის ზოგჯერ 100-300) მ. სიმაღლეზე, შემდეგ ჰაერი გრილდება და წყვეტს ზესვლას.



სურ.2. მიწის ზედაპირთან ჰაერი დაბალი წნევის არეში მიემართება, შემდეგ გათბობასთან ერთად ბრუნავს და ზესვლას იწყებს.



სურ.3. აღმავალი მბრუნავი ჰაერის სვეტი მტვერსა და ნაგავს იტაცებს, მაგრამ რადგან მიწა სწრაფად გრილდება მტვრის გრივადი იშლება და თანდათანობით ილექება.

სხვადასხვა ეკოლოგიური სიტუაციების ჩასახვა-განვითარებისათვის განსაკუთრებული პაერში მრავალი ზომის მტვრის ნაწილაკების არსებობაც. ძირითადად მასზე ილექება სამრეწველო და სამეურნეო ნარჩენები, რომლებიც იწვევენ ჰაერის დაჭუჭყიანებას, რითაც ზრდიან ეკოლოგიურ რისკს. მტვრის ნაწილაკების ზომაა მკ-დან 10 მმ-მდე ($1\text{მკ}=10^{-3}\text{მმ}$). ამ ნაწილაკებზე მოქმედებს სიმძიმის ძალა და ხახუნით გამოწვეული სტოქსის ძალა $f = 6\pi\eta r v$, სადაც v სიჩქარე, η კი სიბლანტის კოეფიციენტი. ამ ძალების გატოლებით ნაწილაკის დალექვის სიჩქარისათვის მიღებულია ფორმულა: $v = 1,26 \cdot 10^6 \rho r^2$, თუ რადიუსი 0,4 მკ-ია, მაგალითად წყლის ორთქლის წვეთები, მაშინ უქარო ამინდში ეს წვეთები 100 მ. სიმაღლიდან დაილექება 16 დღე-ღამის განმავლობაში, 7 დღე-ღამეში წყნარ ამინდში; როცა რადიუსი დიდია, მაგ. 2,2 მკ, მაშინ ნაწილაკის ვარდნის დრო 90 სთ-ია. აქედან ჩანს მტვრის და სხვა აეროზოლური ნაწილაკების მნიშვნელობა გარემოს დაბინძურებაში, შესაბამისად ეკოლოგიური სიტუაციების გართულებაში. საყურადღებოა, რომ ჩვენს ბინაში 1სმ^2 ფართზე დაახლოებით 20 ათასი მტვრის ნაწილაკია; ოთახში ადამიანი ყოველდღიურად შეისუნთქავს 500 მილიონ მტვრის ნაწილაკს. ჯერ კიდევ მენდელეევემა აჩვენა, რომ 2 გრამ ჰაერში იმყოფება 500 ტკიპა და 700 მილიონი მტვრის ნაწილაკი. სამწუხაროდ ეს რიცხვი იზრდება და იზრდება. რა გვეშველება? ალბათ, ორგანიზმის შეგუების უნარიანობა.

ქალაქ თბილისის ქვაბურის ყოველი კლიმატური თავისებურების ასხნა მოხერხდა და ფიზიკური მოსაზრებებიდან გამომდინარე, ჰიდროთერმოდინამიკური მიდგომით დასაბუთდა. ასეთი მიდგომა განხორციელებულია პირველად. შედეგი გათვალისწინებული უნდა იქნას ქალაქის ახალი უბნების ურბანიზაციის პერსპექტივაში.

საქართველოს მდებარეობა, მისი ფიზიკური და გეოგრაფიული პირობები იძლევა იმის ფართო საშუალებას, რომ ამ ტერიტორიაზე ჩაისახოს და განვითარება ჰპოვოს თვისობრივად განსხვავებულმა მეტეოროლოგიურმა პროცესებმა შესაბამისი თერმულ-ბარიული ველით. ამრიგად, ყოველი ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელი, რომელიც შეძლებს აღწეროს ცალკეულ რეგიონებში განვითარებული პროცესები, თეორიული და პრაქტიკული ღირებულებით არის მნიშვნელოვანი.

ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ხვედელიძე ზ. „დინამიკური მეტეოროლოგია“ თსუ გამომცემლობა, თბილისი, 2002წ. გვ. 535
2. ხელაშვილი ა. „კლასიკური თეორიული მექანიკა“ თსუ. გამომცემლობა, 2005 წ. გვ. 223
3. Khvedelidze Z, Davitashvili T. , Samkharadze I. "Propagation of High Power Perturbation in the Atmosphere over the Mountainous Territory." "Proceedings of the 7th International Conference on Climate Changes, Global Warming, Biological Problems. Series | 40. Recent Advances on Environmental and Life Science. Published by WSEAS Press. www.wseas.org. 2015, Malta, p.95.
4. Holton R. "Dynamic Meteorology" Fourth edition-university of Washington, 2004 p. 533.76
5. Modelling of atmospheric fields world scientific-Theoretical physic, 1996,p.755.

6. Khvedelidze Z., Samkhatagze I., Davitashvili T. "On Pressure Drop Distribution at High Power Perturbation Per Over the Mountainous Territory". Ebullition the Georgian Academy of sciences, 155 №1, 2015 p.62-67.
7. Матеев Л., "Основы общей метеорологии физика атмосферы" гидрометеиздатель. Ленинград, 1965 г. с. 875.
8. Динамическая метеорология - под редакцией Лайхтман Д., Л. Гидрометиздат 1976 г., с. 607.
9. ხვედელიძე ზ., ზოტიკიშვილი ნ. „კლიმატის ლოკალური „ფენომენური“ თავისებურებების დინამიკური ბუნების შესწავლა, ქალაქთბილისის ქვაბურისათვის“. ქესუ „ფიზიკა“, 7 (17), 2017 წ. გვ. 29-37.
10. Лайхтман Д. „Физика пограничного слоя атмосферы“ гидрометиздатель, Л. 1970 г. ст. 341.

ჰაერის მიკროცირკულაციური პროცესები და კლიმატური თავისებურებანი თბილისის ტერიტორიაზე/ხვედელიძე ზ., ტატიშვილი მ., ზოტიკიშვილი ნ., სამხარაძე ი/ სტუ-ის ჰმი-ის შრომათა კრებული. - 2018. - ტ.125. - გვ.99-104 ქართ.; რეზ.: ქართ., ინგლ., რუს.

თანამედროვე გლობალური დათბობის ფონზე განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს ლოკალური რეგიონების კლიმატური თავისებურებების შესწავლას. ამ უბნების ჰავა მკვეთრად განსხვავდება გარემომცველი რეგიონების კლიმატისაგან. განსაკუთრებულობა ძირითადად რელიეფს უკავშირდება. აქედან გამომდინარე, ამ კლიმატური თავისებურებების შესწავლა მეტად აქტუალურია და დიდი პრაქტიკული ღირებულება გააჩნია. საქართველოს ტერიტორიაზე არსებულ ქვაბურებში განვითარებული მიკროცირკულაციური პროცესების ახსნა-დასაბუთებისათვის გამოყენებული იქნა ჰიდროდინამიკური მიდგომა. შეფასებულია შესაბამისი რელიეფის მახასიათებელი პარამეტრები და გათვლილია ოროგრაფიული ვერტიკალური სიჩქარე. დადგენილია ქვაბურების კლიმატური თავისებურებები და ჰაერის ნაკადის დინამიკის ბუნება. შესწავლილ რეგიონებზე მოდელურად შეფასებული პროცესები, რეალურად დაკვირვებული მოვლენების მიმართ 5-7 პროცენტის მიახლოებაშია ახსნილი და დასაბუთებული. ასეთი კვლევა შესრულებულია პირველად და მიღებულ შედეგებს მნიშვნელოვანი თეორიული და პრაქტიკული პერსპექტივა გააჩნია.

Air micro-circular processes and climate peculiarities over Tbilisi territory./Z.Khvedelidze, M.Tatishvili, N.Zotikishvili, I. Samkharadze/Transactions of the IHM at the GTU. - 2018. - vol.125. - pp.99-104. - Georg.; Summ: Georg., Eng., Rus.

On the background of modern global warming, it is especially important to study the climatic features of local regions. The climate of these sites is significantly different from the climate of the surrounding regions. The specialty of feature is mainly related to the relief. Therefore the study of these climatic features is more relevant and of great practical value. A hydrodynamic approach was used to explain and substantiate the development of microcirculation processes in the existing pits on the territory of Georgia. The characteristic parameters of the relevant relief are estimated and the orographic vertical velocity is calculated. The climatic features of foundation pits and the nature of airflow dynamics are defined. Processes that are modally evaluated in the investigated areas in relation to actual observed events (5-7%) are explained and justified in the approximation to the percentage. Such a study was carried out for the first time, and the results obtained have an important theoretical and practical perspective.

Микроциркуляционных процессы воздуха и климатические особенности города Тбилиси / З.Хведелидзе, М. Татишвили, Н.Зотикишвили, И. Самхарадзе/Сб. Трудов ИГМ ГТУ-а. - 2018. - вып.125. - с.99-104. - Груз.; Рез: Груз., Англ., Рус.

На фоне современного глобального потепления особенно важное значение имеет изучение климатических особенностей локальных регионов. Климат этих участков значительно отличается от климата окружающих регионов. Особенность в основном связана с рельефом. Следовательно, изучение этих климатических особенностей более актуально и имеет большую практическую ценность. Для объяснения и обоснования развивающихся микроциркуляционных процессов в существующих на территории Грузии котлованах был использован гидродинамический подход. Оценены характерные параметры соответствующего рельефа и рассчитана орографическая вертикальная скорость. Установлены климатические особенности котлованов и характер динамики воздушного потока. Процессы, модально оцениваемые в исследуемых областях по отношению к фактическим наблюдаемым событиям объясняются и обосновываются в приближении (5-7%) к проценту. Такое исследование было проведено впервые, и полученные результаты имеют важную теоретическую и практическую перспективу.