

ISSN 1512-1135

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
Mikheil Nodia Institute of Geophysics

ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. ИВ. ДЖАВАХИШВИЛИ
Институт геофизики им. М. З. Нодиа

შრომების კრებული

ტ. LXIX

TRANSACTIONS

vol. LXIX

СБОРНИК ТРУДОВ

т. LXIX

ედგნება მ. ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის 85 წლისთავს
Dedicated to the 85th anniversary of the foundation of M. Nodia Institute of Geophysics
Посвящается 85-летию основания Института геофизики им. М. Нодиа



უნივერსიტეტის
გამომცემლობა

მთავარი რედაქტორი: აბაშიძე ვ.

Editor-in-Chief: Abashidze V.

Главный редактор: Абашидзе В.Г.

სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭო:

ადამია შ., ამირანაშვილი ა. (მდივანი), აჯიევი ა. (ყაზარდო-ბალკარეთის რესპუბლიკა, რუსეთი), ბენდერევი ა. (ბულგარეთი), ბოლაშვილი ნ., გამყრელიძე ე., გველესიანი ა., გვენცაძე თ., გოგიჩაიშვილი ა. (მექსიკა), დარახველიძე ლ. (მთავარი რედაქტორის მოადგილე), დემეტრაშვილი დ., დემეტრაშვილი დ., ელიზბარაშვილი ე., ვარამაშვილი ნ., ზაალიშვილი ვ. (რესპუბლიკა ჩრდილოეთ ოსეთი-ალანია, რუსეთი), თავართქილაძე კ., კვინიკაძე მ., კერესელიძე ზ., მამაძლი ტ. (აზერბაიჯანი), მელიქაძე გ., მეტრეველი გ., მინდელი პ., ნიკოლაიშვილი მ., პეტროსიანი ჰრ. (სომხეთი), პოვოლოცკაია ნ. (რუსეთი), ჟოვინსკი ე. (უკრაინა), სენიკი ი. (რუსეთი), ტატიშვილი მ., ქირია თ., ქირია ჯ., ლლონტი ნ., ჩაგელიშვილი გ., ჭელიძე თ., ხარშილაძე ო., ხვედელიძე ზ.

THE EDITORIAL AND PUBLISHING BOARD:

Adamia Sh., Adjiev A. (Kabardino-Balkar Republic, Russia), Amiranashvili A. (secretary), Benderev A. (Bulgaria), Bolashvili N., Chagelishvili G., Chelidze T., Darakhvelidze L. (Associate Editor), Demetrashvili D., Elizbarashvili E., Gankrelidze I., Ghlonti N., Gogichaishvili A. (Mexico), Gvelesiani A., Gventsadze T., Kereselidze Z., Kharshiladze O., Khvedelidze Z., Kiria J., Kiria T., Mammadli T. (Azerbaijan), Kvinikadze M., Melikadze, G., Metreveli G., Mindeli P., Nikolaishvili M., Petrosyan Hr. (Armenia), Povolotskaia N. (Russia), Senik I. (Russia), Tatishvili M., Tavartkiladze K., Varamashvili N., Zaalishvili V. (Republic of North Ossetia-Alania, Russia), Zhovinsky E. (Ukraine).

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ:

Адамия Ш.А., Аджиев А.Х. (Кабардино-Балкарская Республика, Россия), Амиранашвили А.Г. (секретарь), Бендерев А.Д. (Болгария), Болашвили Н.Р., Варамашвили Н.Д., Гамкрелидзе И.П., Гвелесиани А.Г., Гвенцадзе Т.Г., Глонти Н.Я., Гогичаишвили А.Т. (Мексика), Дарახвелидзе Л.К. (заместитель главного редактора), Деметрашвили Д.И., Жовинский Э.Я. (Украина), Заалишвили В.Б. (Республика Северная Осетия-Алания, Россия), Квиникадзе М.С., Кереселидзе З.А., Кириа Дж. К., Кириа Т.В., Маммадли Т. (Азербайджан), Меликадзе Г.И., Метревели Г.С., Миндели П.Ш., Николайшвили М.М., Петросян Г.М. (Армения), Поволоцкая Н.П. (Россия), Сеник И.А. (Россия), Таварткиладзе К.А., Татишвили М.Р., Харшиладзе О.А., Хведелидзе З.В., Чагелишвили Г.Д., Челидзе Т.Л., Элизбарашвили Э.Ш.

კრებული გამოდის 1936 წლიდან და მოიცავს გეოფიზიკის ყველა მიმართულებას. კრებულში იბეჭდება სამეცნიერო სტატიები, მონოგრაფიები, მიმოხილვები, მოკლეინფორმაციები, დისკუსიები, წიგნების მიმოხილვები, განცხადებები სამ – ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენაზე. პუბლიკაციები უფასოა. კრებული არის საერთაშორისორეფერირებადი, რეცენზირებადი და ციტირებადი გამოცემა; ჩართულია საერთაშორისოელექტრონულ საბიბლიოთეკო მონაცემთა ბაზა *DSpace* – ში. მისი ინდექსირება ხდება *Google Scholar* და *Publish or Perish* – ში. გამოდის, როგორც წესი, წელიწადში ერთხელ, სტატიების დაგროვების მიხედვით. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია წელიწადში რამდენიმე კრებულის გამოცემა.

The Transactions include all branches of the Geophysics. It is published since 1936. Types of contributions are: research papers, monographs, reviews, short communications, discussions, book reviews, and announcements on any of three languages – Georgian, English, Russian. Publications are free of charge. Transactions are international referred, peer-reviewed and cited edition; they are included in the international electronic library data base *DSpace*, indexed in *Google Scholar* and *Publish or Perish*. The Transactions published in proportion to the accumulation of articles, usually once per annum. If necessary several publications per annum are possible.

Сборник охватывает все направления геофизики. Издается с 1936 года. В сборнике публикуются научные статьи, монографии, обзрения, краткие информации, дискуссии, обзрения книг, объявления на любом из трех языков – грузинский, английский, русский. Публикации бесплатные. Сборник является международным реферируемым, рецензируемым и цитируемым изданием; включен в международную электронную библиотечную базу данных *DSpace*. Индексируется в *Google Scholar* и *Publish or Perish*. Издается по мере накопления статей, обычно раз в год. При необходимости возможно несколько изданий в год.

სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭოს მისამართი:

საქართველო, 0160, თბილისი, ალექსიძის ქ. 1, მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
Tel.: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com;
geophysics.transactions@tsu.ge

Address of The Editorial and Publishing Board:

M. Nodia Institute of Geophysics, 1 Alexidze Str., 0160 Tbilisi, Georgia
Tel.: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com;
geophysics.transactions@tsu.ge

Адрес редакционно-издательского совета:

Грузия, 0160, Тбилиси, ул. Алексидзе, 1. Институт геофизики им. М. З. Нодиа
Тел: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com;
geophysics.transactions@tsu.ge

ელექტრონული ვერსიის მისამართი

The address of electronic version

Адрес электронной версии

<https://scholar.google.com/citations?user=EdMkYoYAAAAJ&hl=en>

<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>

© ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2019

Publish Hous of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University, 2019

Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 2019

ISSN 1512-1135

ОСНОВАТЕЛИ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ им. М.З. НОДИА

Дарахвелидзе Л.К.

Институт геофизики им М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили

Статья посвящается выдающимся ученым – основателям Института геофизики Грузии и принявшим большую роль в его развитии. Институт геофизики – один из старейших в системе Академии наук Грузии, в текущем 2018 году ему исполняется 85 лет. В соответствии с постановлением заседания Президиума Закавказского филиала и Грузинского Отделения АН СССР от 26 октября 1933 года, основанном на решении Президиума АН СССР, с 1 ноября 1933 года был создан Геофизический институт Грузинского Отделения Закавказского филиала АН СССР. Ныне это Институт геофизики им. М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили. В организации института ведущую роль сыграли первый его директор, директор Сейсмологического института (СИ) АН СССР, член-корреспондент АН СССР, проф. П. М. Никифоров, акад. Н.И. Мухелишвили и проф. М.З. Нодиа, назначенные заместителями директора, кандидат физ.-мат. наук А.Д. Цхакая, – первый ученый секретарь Института, прошедший большую организационную работу в момент основания Института и заведующий Тбилисской сейсмической станцией, заслуженный деятель науки проф. Е.И. Бюс. Необходимо отметить также участие в организационной работе аспирантов – краткосрочников СИ АН СССР А.В. Бухникашвили, Б.К. Балавадзе, Г.К. Твалтвадзе и В.В. Кебуладзе, которые во вновь организованном Геофизическом институте руководили научными секциями и сыграли в последующие годы огромную роль в становлении Института, как одной из ведущих научных организаций СССР.



Академик НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ МУСХЕЛИШВИЛИ – (16.02.1891 – 16.07.1976) – выдающийся математик и механик. Имя Н.И. Мухелишвили известно широкому кругу ученых и специалистов во всем мире. Один из основоположников прославленной советской школы теории упругости, признанный глава механиков нашей страны, создатель крупного математического центра в Грузии и его идейный руководитель, первый и бессменный свыше тридцати лет президент Академии наук республики, основанной при его же непосредственном участии, Николай Иванович оказал огромное влияние на развитие отечественной науки.

Н.И. Мухелишвили родился в г. Тбилиси, в семье военного инженера. Учился во второй классической гимназии. В 1914 г. окончил физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета по специальности «Прикладная математика». В 1917-1920 годах ассистент Электрического института и Петроградского университета, читает лекции в разных высших учебных заведениях Петрограда. В 1920 году переехал в Тбилиси. С этого времени Н.И. Мухелишвили доцент, затем профессор Тбилисского государственного университета,

доцент и профессор, затем проректор по учебной части Государственного политехнического института. В 1933 г. избран членом-корреспондентом Академии наук СССР. В 1933-1935 годах одновременно директор Института математики и механики Тбилисского государственного университета и заместитель директора и заведующий Отделом теоретической математической геофизики в Институте геофизики Грузинского филиала АН СССР. За первые несколько лет своего существования в Отделе под руководством Н.И. Мухелишвили разрабатывались вопросы теоретической геофизики. Они касались в основном проблемы распространения упругих волн, имеющей большое значение для познания природы сейсмических явлений; решения некоторых задач теории упругости, имеющих значение для сейсмостойкого строительства, теории механических колебаний и изучения распространения упругих волн в верхних слоях земной коры. С 1939 года, в связи со слиянием теоретического Отдела с математическим институтом, проблемы теоретической геофизики были временно исключены из тематики Института геофизики. Н.И. Мухелишвили в 1933 г. был избран членом-корреспондентом АН СССР, а в 1939 г. – действительным членом АН СССР. В 1934 г. ему была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации. В 1933-1936 гг. – декан физ.-мат. факультета ТГУ; старший научный специалист Математического института АН СССР (Ленинград); в 1941 г. – избран действительным членом АН Грузинской ССР; 1941-1976 гг. – директор Математического института АН Грузинской ССР; 1946 г. – заслуженный деятель науки Грузинской ССР; 1972-1976 гг. – Почетный президент Академии наук Грузинской ССР. Н.И. Мухелишвили являлся иностранным членом многих Академий наук, лауреатом Государственных премий, имел четыре ордена Ленина и другие государственные награды. Академия наук Грузии учредила премию имени Н.И. Мухелишвили в области механики и математики. Имя акад. Н.И. Мухелишвили присуждено Институту Вычислительной математики АН ГССР, Тбилисской средней школе №55. Из выступления директора Института гидрометеорологии Грузии, чл.-корр. АН СССР Г.Г. Сванидзе на конференции, посвященной 150-летию Тбилисской магнитно-гидрометеорологической обсерватории: «Мы гордимся тем, что здесь творили наши славные ученые – президенты Академии наук Грузии – Н.И. Мухелишвили, И.Н. Векуа, Е.К. Харадзе». Монография «Некоторые основные задачи математической теории упругости» (Изд-во АН СССР. 1935.- 453с.) является настольной книгой ученых-математиков и механиков как в нашей стране, так и за рубежом. Академик Николай Иванович Мухелишвили похоронен в пантеоне писателей и общественных деятелей на Мтацминда.



Профессор МИХАИЛ ЗОСИМОВИЧ НОДИА – (15.08.1891 – 04.08.1975) – большой ученый и педагог, классик грузинской геофизики, заслуженный деятель науки Грузии (1944), доктор физико-математических наук, орденосец, представитель блестящей плеяды-ученых, основоположников науки нашей страны. Сегодня его имя заслуженно носит Институт геофизики, учреждена Академическая премия им. М.З. Нодиа. Общеизвестно, что в Институте геофизики геомагнитные исследования имеют самые продолжительные традиции,

именно в эти исследования неоценимый вклад внесен Михаилом Зосимовичем. В 30-х годах при активном участии М.З. Нодиа довольно детально было построено первое магнитное поле Кавказа и была дана его геолого-геофизическая интерпретация – впервые были установлены

глубокие структуры Кавказа на основе геофизического материала. Основные научные исследования М.З. Нодиа касаются проблем земного магнетизма. По постановлению правительства Советского Союза в 1931-1935 гг. была проведена Генеральная магнитная съемка всей территории Советского Союза. Проведение этих работ на территории Закавказья было поручено М.З. Нодиа, оно успешно было завершено досрочно в 1937 году.

Проф. М.З. Нодиа родился в селении Абаша в семье служащего. В доме была большая библиотека, где наряду с книгами на грузинском языке были различные учебники на русском, старославянском, древнегреческом, латинском и французском языках, а также множество словарей, что дало возможность юному М.З.Нодиа с детства выработать навык самостоятельной работы над книгами. Необходимо отметить что он хорошо знал латинский язык и настолько хорошо, что при сравнении латинского подлинника работы Гаусса и его немецкого перевода, изданного в Лейпциге, М.З. Нодиа обнаружил множество пропущенных и неправильно переведенных мест. Этому была посвящена его работа «Некоторые замечания к работе Гаусса «Интенсивность магнитного поля Земли, приведенная к абсолютному размеру», которая была опубликована в 1962 году в немецком геофизическом журнале. Здесь же можно отметить, что М.З. Нодиа также хорошо владел и немецким и французским языками.

М.З. Нодиа в 1910 г. с серебрянной медалью закончил Кутаисскую классическую гимназию, в 1912-1916 гг. учился на физико-математическом факультете Одесского университета, в 1916-1917 гг. служил в Российской армии во время Первой мировой войны, в 1919 году сдал экзамены в Тбилисском государственном университете и становится сотрудником кафедры физики, на которой руководит лабораторными работами и читает лекции по физике. После стажировки в Ленинграде в Главной физической обсерватории М.З. Нодиа в 1924 году возглавил один из основных отделов Тбилисской геофизической обсерватории – Карсанскую магнитную обсерваторию, которая в период гражданской войны потеряла весь квалифицированный персонал и вышла из строя. М.З.Нодиа в 1925-1926 годах возобновил прерванное регулярное производство абсолютных наблюдений, обработал материал проведенных в 1917-1924 годах вариационных наблюдений. Директор Института земного магнетизма, профессор Ленинградского университета и Морской академии Н.В. Розе тогда писал, что «Только энергичная и компетентная деятельность М.З. Нодиа спасла научное достояние одной из старейших обсерваторий Советского Союза, каковой является Тбилисская обсерватория и являющаяся ее наследницей, обсерватория в Карсани». В 1925-1933 годах М.З. Нодиа возглавлял Тбилисскую геофизическую обсерваторию. Во вновь организованном Геофизическом институте руководил отделом экспериментальной геофизики со секциями электрометрии, гравиметрии и сейсмометрии. Секциями руководили молодые ученые, окончившие краткосрочную аспирантуру в Ленинграде А.В. Бухникашвили, Б.К. Балавадзе и Г.К. Твалтвадзе. В 1938-1943 годах М.З. Нодиа был директором Геофизического института, а затем Института физики и геофизики АН Грузии, в Геофизическом институте организовал отдел атмосферы и гидросферы, при институте организовал бюро антисейсмического строительства совместно с проф. К.С. Завриевым, которое с 1941 года вошло в состав Института строительного дела АН ГССР. В 1933 году в Тбилисском государственном университете при физико-математическом факультете организовал геофизическую кафедру и руководил ею до 1975 года. В разные годы проф. М.З. Нодиа работал профессором в Закавказском горно-металлургическом институте, зав. кафедрой физики в Грузинском политехническом институте, заведующим отделом земного магнетизма в Институте геофизики, являлся членом ученых советов нескольких институтов, читал лекции по физике и геофизике. М.З. Нодиа автор пяти учебников по геофизике и физике. Он был эрудитом во многих областях науки.

Интересны отзывы акад. Н.И. Мухелишвили и проф. П.М. Никифорова о научной деятельности проф. М.З. Нодиа: «М.З. Нодиа организатор значительных геофизических работ большого масштаба. ... Он встал во главе ... Института геофизики и на своих плечах перенес всю тяжесть его создания. Особенно много сделал в деле подготовки национальных кадров по геофизике» Проф.П.М. Никифоров : «М.З. Нодиа всякое дело доводит до конца, при этом он стремится результаты научных исследований связать с потребностями социалистического строительства. Проф. М.З. Нодиа является одним из инициаторов и организаторов учреждения Геофизического института».

Проф. Михаил Зосимович скончался 4 августа 1975 года. Газета «Комунисти» писала, что проф. М.З. Нодиа был представителем той части научной интеллигенции, которая олицетворяла высшую благородность, честность и прямолинейность».



Профессор ПАВЕЛ МИХАЙЛОВИЧ НИКИФОРОВ – (5(17).06.1884 – 02.11.1944) – геофизик, сейсмолог, член-корреспондент АН СССР (1932), директор Сейсмологического института АН СССР, ученик одного из блестящих представителей русской науки, основоположника современной (20-30 гг. XX века) сейсмологии, академика Бориса Борисовича Голицына и достойный продолжатель его дела. Более 35 лет научной деятельности проф. П.М. Никифорова совпали с периодом быстрого развития некоторых основных разделов геофизики тех времен, в частности сейсмологии и гравиметрии и, особенно, прикладных ветвей геофизики. Деятельное и плодотворное развитие геофизики в Советском Союзе неразрывно связано с именем Павла Михайловича Никифорова.

Проф. Павел Михайлович Никифоров родился в семье служащего Санкт-Петербургских Императорских театров, главным образом Мариинского театра. После смерти отца, мать была принята в театр на должность супруга. Несмотря на трудности, мать старалась дать детям хорошее образование. Павел Михайлович успешно окончил в 1902 году классическую гимназию и поступил в Императорский Санкт-Петербургский университет на естественное отделение, а в 1905 году был зачислен на математическое отделение физико-математического факультета. Участь одновременно на двух отделениях, П.М. Никифоров проявил свои способности и увлечение естественными науками – физикой и математикой. По окончании Университета в 1908 г был оставлен при нем для подготовки к профессорскому званию по кафедре физической химии, но в том же 1908 г. академик Б.Б. Голицын привлек его в физическую лабораторию Академии наук для научной работы в качестве ассистента. В 1908 – 1921 гг. П.М. Никифоров работал в Физическом кабинете и Сейсмической комиссии Академии наук. В 1909 г. избирается на должность ученого секретаря Сейсмической комиссии, в 1916 г. – членом этой комиссии, а с 1924 г. на него возлагается заведывание сейсмическим отделом Физико-математического института и сейсмической сетью Академии наук. В 1923-1929 гг. работал в Институте прикладной геофизики; 1926-1934 гг.- заведующий кафедрой геофизики Ленинградского государственного университета, 1933-1934 гг. – профессор Горного института в Ленинграде. В 1928 году П.М. Никифоров избирается на должность директора вновь учрежденного по его инициативе Сейсмологического института АН СССР. С тех пор до самой смерти П.М. Никифоров состоял бессменным руководителем этого учреждения. В состав Института привлекал кроме уже испытанных работников, новых, вполне сложившихся крупных ученых, а также талантливую молодежь. Глубоко владея аппаратом математической физики, Павел Михайлович уделял особое внимание его углубленному применению к исследованиям вопросов теоретической сейсмологии, для этой цели в институте был создан соответствующий отдел. Надо

сказать также, что этот Институт со своей мощной Механической мастерской, рассчитанной на построение точнейших приборов, где культура приборостроения достигала высокого уровня, оказался одним из лучших среди немногих зарубежных институтов этого рода. Размещение и оборудование Сейсмологического института ставили его в разряд лучших учреждений АН СССР. Доминирующей целью, определившей главное направление деятельности П.М. Никифорова, являлось исследование земной коры, для чего с самого начала основным явилась организация наблюдений над близкими землетрясениями, т.е. изучение сейсмичности территории страны. Подходящих прецедентов в этом деле не имелось. Превосходные сейсмографы Голицына были созданы для регистрации удаленных землетрясений. П.М. Никифоров создает новый тип сейсмографа с высокой чувствительностью и точностью показаний, и с незначительной массой, дающий достаточное увеличение. Создав инструмент, П.М. Никифоров принимается за организацию сети региональных сейсмических станций. Он организовал систематические наблюдения за сейсмичностью на территории СССР, для чего им была создана постоянно действующая сеть региональных сейсмических станций в Крыму, на Кавказе и в Средней Азии. Результатом этой работы стала первая карта сейсмичности территории СССР (1935). Кроме того, на основе анализа данных наблюдений удалось выявить зоны скопления очагов землетрясений и установить некоторые детали их группировки по глубине. Материалы сейсмической сети позволили начать изучение глубинной геологической структуры территорий Крыма, Кавказа, Средней Азии. Академик А.Ф. Иоффе в 1944 году писал: «Если попытаться дать оценку деятельности региональной сейсмической сети в целом, сопоставив ее с деятельностью зарубежных сейсмических сетей аналогичного значения, то придется признать несомненное преимущество нашей сети благодаря единству методического руководства, целесообразному размещению самих станций по стране и совершенству применяемой аппаратуры. За осуществление этого цикла работ мы должны быть особенно благодарны Павлу Михайловичу Никифорову». В целях детального исследования глубинного строения земной коры и для выявления нефтеносных структур П.М. Никифоров разработал сейсмические методы наблюдения за упругими волнами, возбуждаемыми мощными взрывами. Это позволяло, при надлежащей организации наблюдений, получить в высшей степени надежный материал, из которого могут быть сделаны выводы о расслоении и некоторых физических особенностях земной коры на глубину нескольких десятков километров. Параллельно с изучением глубинного строения земной коры Павел Михайлович в 1926 году одним из первых в Союзе начал проводить и сейсморазведочные работы. Им разрабатывается методика наблюдений, конструируется аппаратура, подбираются и воспитываются первые кадры сейсморазведчиков и проводятся соответствующие экспедиции. В 1921 году П.М. Никифоровым были предприняты работы в области гравиметрических методов разведки. Он первый в СССР в 1921 г. произвел систематические наблюдения с гравитационным вариометром Этвеша в районе Курской магнитной аномалии и опубликовал первое в русской научной литературе исследование, посвященное этому методу. Не мало сил употребил П.М. Никифоров и на развитие инженерной сейсмологии и инженерного строительства, успешное развитие которых у нас в Грузии, по мнению проф. М.З. Нодиа, весьма многим обязано лично Павлу Михайловичу.

П.М. Никифоров придавал очень большое значение подготовке кадров и, особенно, в стенах самой Академии наук, существенно содействовал развитию науки и в национальных республиках Союза.

Из статьи проф. М.З. Нодиа «Павел Михайлович Никифоров»: «..Президиум АН СССР на своем заседании от 15 декабря 1933 г. постановил в системе Грузинского Отделения Заффилиала АН СССР организовать Тбилисский геофизический институт, директором которого на этом же заседании был утвержден проф. П.М. Никифоров. Но, прежде, чем возможно стало вынести это важное постановление, различными организациями и лицами как в Ленинграде, так и в

Тбилиси под непосредственным руководством П.М.Никифорова была проведена большая подготовительная работа, которую надо было начинать с подготовки кадров, и вот по инициативе П.М. Никифорова Комитетом кадров АН СССР были из Тбилиси в Ленинград вытребованы соответствующие кандидаты для поступления в аспирантуру по геофизике из лиц, окончивших ВУЗ-ы в Тбилиси. По прибытии в Ленинград будущие аспиранты по геофизике непосредственно попадали в заботливые и опытные руки Павла Михайловича, который сам лично делал все, что было необходимо для обеспечения нормальных занятий молодых людей. Изучив всесторонне каждого из аспирантов, он сам намечал ему тот или другой раздел геофизики, в котором он должен был специализироваться, подыскивая для них соответствующих руководителей из числа выдающихся ученых Ленинграда (где тогда и находилась АН СССР), не говоря уж о том, что в основном все аспирантские занятия протекали в его же Институте и под его непосредственным руководством и надзором. Таким образом, под руководством П.М. Никифорова закончили аспирантуру и защитили диссертации А.В. Бухникашвили, Г.К. Твалтвадзе, М.С. Абакелиа, Б.К. Балавадзе, А.Д. Цхакая, В.В. Кебуладзе и Г.М. Прангишвили». Параллельно с подготовкой кадров П.М. Никифоров провел большую работу по обеспечению Института геофизической аппаратурой. Все разделы геофизики гравиметрия, сейсмометрия, электрометрия и магнитометрия были обеспечены необходимой аппаратурой, позволившей бесперебойное проведение первых же экспедиционных работ Геофизического института летом 1934 года. Проф. П.М. Никифоров выехал в Тбилиси и лично руководил не только подготовкой экспедиций, но и их проведением и обработкой экспедиционных работ. Необходимо отметить, что П.М. Никифоров принимал меры по изучению и использованию тех возможностей, которые имелись и в самом Тбилиси для организации Геофизического института, а именно в самом Тбилиси можно было найти геофизиков, известных своими работами, а главное, в Тбилиси существовала одна из старейших и хорошо оборудованных сейсмических станций с необходимым штатом научных работников во главе с известным сейсмологом Е.И. Бюсом. Тбилисская сейсмическая станция была включена в состав Геофизического института. Существует Постановление ЦИК и СНК ССР Грузии от 5 ноября 1933 г., опубликованное в газете «Тифлисский рабочий» от 11 ноября 1933 года о передаче Тифлисской сейсмической станции Геофизической обсерватории в ведение грузинского отделения закавказского филиала АН СССР. Итак все необходимые предпосылки для организации Геофизического института были созданы. Выше было отмечено, что все экспедиционные работы 1934 г были выполнены. П. М. Никифоровым также было намечено расширение сети региональных сейсмических станций, расширение работ самой тбилисской сейсмической станции, опубликование сейсмических бюллетеней и т.д.

Проф. П.М. Никифоров в первый год существования Института показал, что Геофизический институт может продуктивно работать, выявил богатейшие возможности для развития его деятельности в дальнейшем. Из-за перегруженности работами в Сейсмологическом институте, П.М. Никифоров не находил времени для руководства деятельностью Геофизического института. В 1938 году на этом посту сменил его проф. М.З. Нодиа, но Институт опытом и помощью П.М. Никифорова в качестве консультанта еще долго пользовался и он до конца жизни интересовался всем тем, что могло иметь положительное значение для Геофизического института.

Несколько слов о научно-общественной деятельности Павла Михайловича. Он активно участвовал в работе общественных организаций АН СССР. В 1929 г. был избран первым председателем только что организованного тогда Локального бюро Секции научных работников при АН СССР и неизменно избирался на эту должность в последующие годы, принимая деятельное участие в перестройке Академии. Большие заслуги принадлежат П.М. Никифорову в представительстве советской науки за границей. Участвовал на различных международных конгрессах.

рессах: геологическом в Мадриде в 1920 г., геодезическом и геофизическом в Праге в 1927 г., затем в Стокгольме в 1930 г. и др. Выступал с докладами как о своих работах, так и о достижениях советской науки, входил в состав различных комиссий и т.д. П.М. Никифоров был избран членом следующих научных обществ: Международного геофизического бюро в Мадриде (1926 г.), Американского сейсмологического Союза (1927 г.), Международной сейсмологической комиссии в Страсбурге (1927 г.), Немецкого физического (1927 г.). В день своего 60-летия был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

Павел Михайлович Никифоров скончался от тяжелой болезни на 60-ом году жизни.



Доцент АЛЕКСАНДР ДАВИДОВИЧ ЦХАКАЯ – (22.10.1902-21.12.1970) – грузинский сейсмолог, кандидат физико-математических наук, личность с большой эрудицией и культуры, благородный, скромный, но принципиальный. В развитии отечественной сейсмологии А.Д. Цхакая сыграл выразительную и яркую роль. Он был предан сейсмологии и старался приобщить к ней других.

А.Д. Цхакая родился в селе Коки Зугдидского района в семье сельского учителя. Первоначальное образование получил там же. В 1922 году окончил Кутаисскую классическую гимназию. В 1922-1923 гг. работал учителем физики и математики в восьмилетней школе села Коки. В 1928 г. окончил физико-математический факультет Тбилисского государственного университета. С 1927 года Александр Давидович работал в сейсмическом отделе Геофизической обсерватории Грузии сначала наблюдателем, а затем на должности адъюнкта, с 1929 года на должности физика. Одновременно вел курс математики в Институте энергетики и в Железнодорожном транспортном институте. В 1932 году обсерватория поддержала инициативу проф. М.З. Нодиа и директора Сейсмологического института проф. П.М. Никифорова и из числа своих сотрудников командировала в Ленинград группу молодых ученых для прохождения краткосрочной аспирантуры в Сейсмологическом институте. Еще раньше в этот институт был направлен А.Д. Цхакая, так как подготовка первого потока специалистов, протекавшая под руководством проф. П.М. Никифорова имела важное значение при решении вопросов об организации Геофизического института. После окончания аспирантуры А.Д. Цхакая занимался сейсмологией вместе с проф. Е.И. Бюсом на Тбилисской Центральной сейсмической станции. В 1932-1933 гг. А.Д. Цхакая в Закавказье руководил Транскавказской сейсмической экспедицией, организованной проф. П.М. Никифоровым в целях выявления отдельных сейсмических очагов региона. Были открыты временные региональные сейсмические станции. Экспедиция успешно завершила работу в мае 1933 года. Далее А.Д. Цхакая принимал участие в работах по открытию Геофизического института. А.Д. Цхакая присутствовал на всех заседаниях Президиума Закавказского филиала и Грузинского Отделения АН СССР, на которых рассматривались вопросы организации Института. На заседании от 26.10.1933 г. слушали доклад проф. П.М. Никифорова об организации работ Геофизического института, тогда же было подчеркнуто, что значительную помощь академии оказывает молодой ученый энтузиаст А.Д. Цхакая. На этом же заседании А.Д. Цхакая был назначен на должности ученого секретаря Института. С 1936 по 1951 год он работал в отделе сейсмологии, в 1941 году он защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Годограф S-P по наблюдениям Тбилисской сейсмической станции». С 1951 года до конца жизни А.Д. Цхакая был заведующим лабораторией региональной сейсмологии (затем отделом). В течение сорока лет он верно служил весьма нужному для науки и народного хозяйства делу – развитию сейсмо-

лоических исследований в Грузии и на Кавказе в целом. Благодаря его заботам, вместе с проф. Е.И. Бюсом, Тбилисская центральная сейсмическая станция «Тбилиси» фактически становится центром сейсмических исследований на Кавказе. Огромны заслуги А.Д. Цхакая в деле расширения сети региональных сейсмических станций Грузии. Много внимания уделял он макросейсмическим обследованиям сильных землетрясений, происшедших на территории Кавказа и почти все были обследованы с его непосредственным участием. А.Д. Цхакая интенсивно занимался обработкой и анализом сейсмологических наблюдений. В отделе региональной сейсмологии им была создана группа из профессионалов, которая занималась только обработкой сейсмологических наблюдений. Составленный в Отделе региональной сейсмологии каталог кавказских землетрясений по праву считается одним из лучших и наиболее полных региональных каталогов. В этом, конечно, большая заслуга А.Д. Цхакая. Продолжая славные традиции, заложенные еще Б.Б. Голицыным, А.Д. Цхакая огромное внимание уделял организации инструментальных наблюдений не только в Грузии, но и в масштабе всего СССР в целом. Он являлся одним из основных организаторов Единой Системы Сейсмических Наблюдений СССР (ЕССН), созданной в 1956 году Постановлением Президиума АН СССР от 15 января. Трудно переоценить огромный вклад, который внес А.Д.Цхакая в подготовку Устава ЕССН, учитывающего интересы многонациональной сейсмологической семьи. Являясь многие годы руководителем Зонального Кавказского центра ЕССН, он осуществлял координацию работ всех сейсмологических учреждений Кавказа независимо от республиканских границ, участвовал в составлении «Атласа сейсмичности СССР» (1962 г.) и ежегодников «Землетрясения в СССР» с 1962 г. по 1969 г. Лауреат Государственной премии Туркменистана, сотрудник Института сейсмологии АН Туркменистана Г.Л. Голинский вспоминает об А.Д. Цхакая: «Много сил и времени отдал Александр Давидович изучению Ашхабадского землетрясения 5/6 октября 1948 г. Он объездил и исходил пешком многие районы Туркменистана, выявляя степень осязаемости землетрясения в далеких аулах, что не было сделано другими исследователями. Собрал богатейший материал, который пока не был им опубликован. Узнав о моем серьезном «увлечении» Ашхабадским землетрясением, он решил передать мне свои материалы, пригласив приехать за ними в Тбилиси. В ходе беседы я был поражен глубокими познаниями Александра Давидовича в вопросах теоретической и экспериментальной сейсмологии, той легкостью, с которой он оперировал сложными формулами геофизики..... Вскоре я встретился с ним в Тбилиси.Передавая результаты личного обследования последствий Ашхабадского землетрясения, он сказал в заключение: – Это мой дар ашхабадцам, он Вам пригодится. – Эти сведения значительно дополнили и обогатили содержание карты для многих районов Туркменистана, его данные стали неотъемлемой частью этой карты».

Благодаря широкой эрудиции, высокому профессионализму, дружелюбности, чуткому отношению к молодым, начинающим сейсмологам А.Д. Цхакая всегда и везде был желанным гостем. Общеизвестна среди геофизиков его долголетняя дружба с чл.-корр. АН СССР, председателем Совета по сейсмологии Евгением Федоровичем Саваренским, который внес весомый вклад в развитие сейсмологии в Грузии, на протяжении всей своей научной деятельности подготовил научные кадры для Института. Проф. Н.В. Кондорская вспоминает как в 1957 г. на Генеральной Ассамблее Международного союза по геодезии и геофизике в Торонто А.Д. Цхакая активно участвовал в работе Ассамблеи, общался с классиками сейсмологии Г. Джеффрисом, Б. Гутенбергом и многими другими, с которыми были общие дискуссии и с которыми установились дружеские отношения. При всей своей большой человечности и покладистости характера, А.Д. Цхакая никогда не поступался принципиальностью и не боялся отстаивать свое мнение. Общеизвестно, что проект строительства уникальной плотины Ингури ГЭС был рассчитан в расчете на 8 баллов. Александр Давидович, учитывая результаты детальных сейсмологических исследований, внес корректировку, настаивал за уникальность

добавить один балл, что в два раза удорожало строительство. После многих дискуссий и споров было утверждено предложение А.Д. Цхакая. Плотина построена в расчете на 9 баллов. Вот таким был Александр Давидович. Вечная память таким людям, с годами их остается все меньше и меньше.



Профессор ЕВГЕНИЙ ИВАНОВИЧ БЮС – (20.05.1885-05.06.1969) – видный ученый сейсмолог, доктор физико-математических наук, заслуженный деятель науки Грузии, заведующий Тбилисской Центральной телесеismicкой станцией, орденоносец.

Проф. Е.И. Бюс родился в г. Юрьеве (Дерпт, Тарту, Эстония). После окончания гимназии он поступил на физико-математический факультет знаменитого Юрьевского университета. Способный и трудолюбивый юноша еще со студенческих лет приобщился к научным исследованиям. На начальном пути своей деятельности Е.И. Бюса привлекали преимущественно проблемы астрономии. После завершения им с отличием университетского курса, в 1911 году ему было предложено остаться при университетской обсерватории в должности ассистента по астрономии и сейсмологии. Наряду с астрономическими исследованиями в обязанности Е.И. Бюса входили производство наблюдений и обработка данных Юрьевской сейсмологической станции. В Юрьевском университете фактически завершилось его формирование как ученого. В 1911 году Е.И. Бюс представил диссертационную работу; в ноябре того же года ему была присуждена ученая степень кандидата физико-математических наук. Молодой талантливый научный работник привлек к себе внимание выдающегося русского ученого, основоположника научной сейсмологии, академика Б.Б. Голицына, предложившего Е.И. Бюсу переехать в Баку и возглавить работу сейсмологической станции. В 1912 году он переехал в Баку. Начиная с этого периода Евгений Иванович Бюс полностью отдался сейсмологии и остался верным ей на своем долгом пути научной деятельности. Он значительно обогатил сейсмологию первоклассными пионерскими исследованиями в области сейсмичности и сейсмического режима Кавказа. Е.И. Бюс за короткий срок смог полностью реорганизовать бакинскую станцию, значительно расширил инструментальные наблюдения и организовал публикацию еженедельных сейсмических бюллетеней (1912-1916 гг.). Исследования сейсмических явлений по особым характерным для Баку микросейсмическим движениям, выполненные Евгением Ивановичем нашли отражение в одной из последних работ акад Б.Б. Голицына.

В Баку Е.И. Бюс познакомился с будущей своей женой, выпускницей Московских женских высших историко-филологических курсов. В 1921 году молодая семья переехала в Тбилиси. Грузия стала для Е.И. Бюса второй родиной. В Тбилиси он бывал в 1913 году, являясь делегатом XIII съезда русских естествоиспытателей и врачей. Е.И. Бюс начинает работу в Тифлисской физической обсерватории в должности заведующего сейсмическим отделом. Одновременно, по инициативе проф. А.Г. Бенашвили, профессорский совет Тбилисского государственного университета пригласил Евгения Ивановича ассистентом факультета естествознания и математики, где ему было поручено чтение курсов по общей астрономии и практической астрономии. С этого времени до конца своей жизни он верно служил делу развития сейсмологических исследований в Грузии и на Кавказе. Ему было суждено заниматься восстановлением расстроенных в годы гражданской войны сейсмологических наблюдений и, благодаря его стараниям, тбилисская телесеismicкая станция за короткое время выдвигается на одно из первых мест среди сейсмических станций СССР, а вскоре Тбилиси фактически становится центром сейсмологических исследований на Кавказе. Несмотря на высокую репутацию Тифлисской телесеismicкой станции Е.И. Бюс понимал, что в рамках физической обсерва-

тории возможности сейсмических наблюдений ограничены и, только система инструментальных наблюдений может обеспечить требуемый прогресс в сейсмологических исследованиях и, что всестороннее развитие сейсмологии возможно только в тесном контакте с Академией наук. Свою позицию по этому вопросу он письменно сообщил проф. П.М. Никифорову. Представляет интерес ответное письмо П.М. Никифорова Е.И. Бюсу: «Что касается Вашего желания возобновить научную связь и сотрудничество с Академией, то это можно только искренне приветствовать и если эти старинные связи Тифлисской станции с Академией были порваны, то произошло это по причинам, к науке никакого отношения не имеющим». В 1933 году, со дня организации Геофизического института была утверждена структура института из трех отделов. Руководство Сейсмической службой было возложено на Е.И. Бюса. С этого периода сейсмические исследования получили невиданный размах как в области производства инструментальных и макросейсмических наблюдений, так и по части обработки и научного анализа сейсмической информации.

Известно, что макросейсмические данные оставались тогда более представительным видом сейсмологической информации. Наиболее значительные сейсмологические исследования в первой половине 20-го столетия проведены на базе макросейсмической информации. Зная научную ценность этой информации Е. И. Бюс со свойственными ему научной скрупулезностью и энтузиазмом собирал и систематизировал макросейсмическую информацию с целью составления возможно полного каталога землетрясений. В результате упорного многолетнего труда была составлена хронология землетрясений, которая охватывает всю территорию Закавказья и включает сведения об ощутимых землетрясениях (с 450 г. н. э. по 1951 г.), описанных в старых летописях и в разных периодических изданиях. В 1963 году Е.И. Бюсу была присуждена ученая степень доктора физико-математических наук без защиты диссертации, по ходатайству за монографию «Сейсмические условия Закавказья» в трех частях, изданная АН Грузии. (1948 г., 1952 г., 1955 г.). Этот труд, объединяющий хронологии Кавказских землетрясений и результаты их пространственно-временного анализа, по настоящее время является весьма ценным источником для любого исследователя, занимающегося вопросами сейсмичности и сейсмического режима Кавказа.

Пятидесятые годы 20-го столетия характеризуются высокими темпами развития сейсмологии в стране. В виде широко развернутой системы инструментальных сейсмических наблюдений была создана экспериментальная база для перехода от сейсмогеографии к количественной сейсмологии. Е.И. Бюс с завидной энергией взялся за освоение и внедрение новых способов регистрации сейсмических волн и методов обработки наблюдений; в начале шестидесятых годов выполнил ряд интересных исследований по оценке параметров сейсмичности территории Кавказа. Особо следует отметить исследования, которые легли в основу построения карты сейсмического районирования территории Закавказья. Большое значение имеют эти работы с точки зрения установления норм антисейсмического строительства.

Благодаря широкой эрудиции и высокому профессионализму Е.И. Бюс привлекал всеобщее внимание сейсмологов, считался желанным гостем каждого научного учреждения сейсмического профиля. Е.И. Бюс был неутомимым популяризатором научных знаний, выступал с научно-популярными статьями, читал популярные лекции в различных учреждениях. В Институте геофизики он занял должность заведующего отделом сейсмологии, а затем отделом физики землетрясений. Ему не приходилось применять административные меры для соблюдения трудовой дисциплины. Он влиял своим авторитетом и собственным примером редкой пунктуальности, трудолюбия, высокой образованности. В Институте ему одному из первых в 1946 году было присвоено звание заслуженного деятеля науки Грузии, был награжден орденом Ленина, Почетной грамотой Президиума Верховного совета Грузии. Проф. Е.И. Бюс до конца своей жизни смог сохранить завидную трудоспособность, ясность мышления, любовь к сейсмологии. И еще хотим сообщить, что его рабочий кабинет находился в западном крыле истори-

ческого здания Тифлисской геофизической обсерватории. Ведь в 1933 г. Сейсмическая станция была передана в ведение грузинского отделения закавказского филиала АН СССР со всем имуществом, оборудованием, инвентарем, кадрами и помещением. Е.И. Бюс остался в этом кабинете, это было его рабочим местом на все своих должностях до конца жизни. Да и в последний путь Евгения Ивановича провожали оттуда.

Спасибо этим ученым, что они были на нашей планете – Земле. Забывать их нельзя. Память о них будет передаваться из поколения в поколение.

Литература

- Балавадзе Б.К., Гоцадзе О.Д. Евгений Иванович Бюс. (к 100-летию со дня рождения).- Мецниереба, 1987, 29 с.
- Бухникашвили А.В. Геофизика в Грузии. К 40-ой годовщине Великого Октября. Труды Ин-та геофизики, Т. 16, 1957, с. 3-31.
- Иоффе А.Ф. Павел Михайлович Никифоров (Некролог). Вестник АН СССР, № 11-12, 1944, с. 102-105.
- Нодиа М.З.. Павел Михайлович Никифоров. Труды Ин-та геофизики, Т. 10, 1947, с.V-IX.
- Николай Иванович Мухелишвили. Библиографическая серия «Грузинские ученые». 2011, 200 с.
- ალექსანდრე ცხაკაია-90. მეცნიერება.-1992.-33 გვ. (Александр Давидович Цхакая. Мецნიереба. 1992)
- Никифоров Павел Михайлович. https://ru.wikipedia.org/wiki/Никифоров,_Павел_Михайлович

მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის დამაარსებლები

დარახველიძე ლ.

რეზიუმე

სტატიაში წარმოდგენილია ინფორმაცია მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის დამაარსებლების სამეცნიერო მოღვაწეობის შესახებ.

Основатели Института геофизики им. М.З. Нодиа

Даракхвелидзе Л.К.

Реферат

Представлена информация о научной деятельности основателей Института геофизики им. М.З. Нодиа.

The Founders of M. Nodia Institute Geophysics

Darakhvelidze L.

Abstract

The paper considers the information about the scientific activity of the founders of M.Nodia Institute of Geophysics.

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ В.Г. АБАШИДЗЕ С 90 ЛЕТИЕМ

Дарахвелидзе Л.К.

Институт геофизики им М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили



- В 2018 году исполнилось 90 лет известному грузинскому геофизику, доктору физико-математических наук, лауреату Государственной премии Грузии и премии имени академика М.А. Алексидзе, главному научному сотруднику Сектора прикладной и экспериментальной геофизики, профессору Вахтангу Григорьевичу Абашидзе. Бесценен научный вклад В.Г. Абашидзе в сокровищницу грузинской геофизической науки. Это ученый, полный внутренней силы и преданный своей профессии, в Институте геофизики прошел славный путь 60-летнего служения грузинской геофизике.

В 1952-1958 годах, после окончания высшего образования, В.Г. Абашидзе работал на кафедре геофизики физического факультета Тбилисского государственного университета (ТГУ), там же в 1955-1959 гг. прошел курс аспирантуры в качестве соискателя, с 1958 года он уже сотрудник отдела гравиметрии Института геофизики АН Грузии. В 1963 году на аттестационном совете физического факультета ТГУ защитил кандидатскую диссертацию. В 1964-1966 гг. в ТГУ в должности старшего преподавателя читал лекции по курсу разведочной геофизики. В 1970-2005 годах в Институте геофизики он руководил отделом динамики земной коры, в котором проводились гравиметрические измерения на территории Грузии и наклономерно-деформографические стационарные наблюдения в районе строящейся плотины Ингури ГЭС, которые продолжаются и ныне в расширенном масштабе. В частности с 1998 года наклономерные наблюдения ведутся и в теле плотины. В настоящее время Вахтанг Григорьевич продолжает руководство геодинамическим мониторингом этого крупного гидротехнического сооружения Ингури ГЭС, что он и блестяще выполняет. В 1995 году В.Г. Абашидзе успешно защитил докторскую диссертацию на тему: «Геофизический мониторинг современных геодинамических процессов». Научным консультантом диссертации был академик Б.К. Балавадзе – учитель В.Г. Абашидзе, по инициативе которого и были начаты геофизические наблюдения по изучению современных тектонических и техногенных движений земной коры, связанных со строительством плотины Ингури ГЭС, дающих бесценную информацию о движениях разделенных блоков, залегающих в основании плотины. На основе этих исследований в 1996 году в Тбилиси основан Европейский Центр «Геодинамический риск высотных плотин». Центр внедряет прогрессивные технологии Ингурского полигона в аналогичные объекты других стран. В.Г. Абашидзе является заместителем директора Центра акад. Т.Л. Челидзе. 45 лет посвятил В.Г. Абашидзе исследованиям деформационных процессов земной коры и тела плотины на Ингурском полигоне, что он осуществляет и в настоящее время с завидным энтузиазмом и

целеустремленностью. В Институте геофизики под руководством В.Г. Абашидзе выполнены две кандидатские диссертации и три дипломные работы в ТГУ.

Проф. В.Г. Абашидзе с 1988 года ведет педагогическую деятельность в Тбилиском политехническом университете, где читает курс по геодезической гравиметрии и геодезической астрономии. Для студентов университета им изданы учебники «Лабораторный практикум по геодезической гравиметрии» и «Краткий курс геодезической гравиметрии». Под научным руководством проф. В.Г. Абашидзе в Политехническом университете защищены две докторские и три магистрантские степени.

Проф. В.Г. Абашидзе – автор около 150 научных работ, в том числе двух монографий, изданных на русском и английском языках. Он – кавалер ордена Чести Грузии, академик энергетики Грузии, почетный гражданин родного города Харагаули.

Весь коллектив Института геофизики выражает свое почтение и безграничное уважение и желает Вахтангу Григорьевичу долгих лет жизни, бодрости и успехов, крепкого здоровья и еще раз – здоровья.

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРОВ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ С 70 ЛЕТИЕМ

Дарахвелидзе Л.К.

Институт геофизики им М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили

В 2018 году исполняется 70 лет со дня рождения ведущим ученым, ветеранам Института геофизики, докт. физ.-мат. наук А.Г. Амиранашвили, докт. физ.-мат. наук Д.И. Деметрашвили, докт. физ.-мат. наук З.А. Кереселидзе, академическому докт. геологических наук С.А. Гогмачадзе. Пожелаем им всех благ, здоровья, счастья и блестящего будущего их детям и внукам, долгих лет жизни, бодрости научной мысли, больших успехов в геофизической науке, служению которой они посвятили свою долгую плодотворную жизнь.



Автандил Георгиевич Амиранашвили – доктор физико-математических наук, руководитель Сектора физики атмосферы. Сфера исследований: физика атмосферы (облака, осадки, туманы, атмосферное электричество, грозы, аэрозоли, озон, радон и другие источники радиации); активные воздействия на атмосферные процессы, в частности на градовые явления и разработка средств и методов воздействия на них; изменение климата; естественные катастрофы; экология; мониторинг окружающей среды и оценка рисков; комплексные геофизические исследования; биоклиматология; развитие курортов и туризма.

А.Г. Амиранашвили в 1966 году окончил с серебрянной медалью среднюю школу №4 в г. Сочи, а в 1971 году – физический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Геофизика». В Институте геофизики работает с 1972 года, в 1974-77 годах аспирант института. В 1978 году успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование естественной радиоактивности кучевых облаков», а в 2006 году – докторскую: «Исследование грозо-градовых процессов в Грузии и их связей с аэрозольным загрязнением атмосферы». А.Г. Амиранашвили в 1982 году руководил научно-техническим отделом атмосферных исследований, далее лабораторией грозового электричества, в 1989 году он уже заведующий отделом физики облаков, а с 2001 года – отделом физики атмосферы, с 2005 г. сектором физики атмосферы. За опубликованные в последние годы научные работы в области изменения климата Грузии А.Г. Амиранашвили присвоено звание лауреата Национальной премии Грузии и он награжден серебрянной медалью. Им опубликовано свыше 330 работ, в том числе 6 монографий, часть из которых опубликована в международных журналах с высоким рейтингом. Под научным руководством А.Г. Амиранашвили защищено 7 кандидатских диссертаций, он со-руководитель одной докторской диссертации и руководитель четырех докторантов. А.Г. Амиранашвили с 2014 года научный консультант государственного военного научно-технического центра «Дельта», с 2016 года член академического совета Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили.



Демури Ильич Деметрашвили – доктор физико-математических наук, лауреат Академической премии им. М.З. Нодиа, заведующий сектором математического моделирования динамики моря и атмосферы. Им разработан ряд математических моделей – баротронные и бароклинные модели динамики Черного моря. Бароклинная модель в дальнейшем была адаптирована к восточной части Черного моря с одновременным повышением разрешающей способности и стала базовой для разработки региональной системы прогноза для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории.

Д.И. Деметрашвили в 1965 году окончил Горийскую первую среднюю школу с серебряной медалью, а в 1970 году – физический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Теоретическая физика». В 1974-1977 гг. он аспирант Гидрометцентра СССР. Научная работа аспиранта практически проходила в Вычислительном центре СО АН СССР (г. Новосибирск), где и защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Численное моделирование нестационарных мезомасштабных процессов в свободной атмосфере, обусловленных орографической неоднородностью подстилающей поверхности Земли». В разные годы Д.И. Деметрашвили работал в Закавказском гидрометеорологическом институте, начальником управления гидрометеорологии и анализа окружающей среды. С 1989 года он ведущий научный сотрудник в отделе динамики моря в Институте геофизики. В 2005 году Д.И. Деметрашвили успешно защитил докторскую диссертацию на тему: «Математическое моделирование гидротермодинамических и экологических процессов в системе Черное море-атмосфера». В 2011 году Д.И. Деметрашвили был избран действительным членом экологической Академии наук Грузии, в 2018 году Д.И. Деметрашвили включен в состав редакционной коллегии известного научного журнала «Морской гидрофизический журнал» Российской АН. Д.И. Деметрашвили автор более 160 научных работ (включая монографию в соавторстве с А.А. Кордзадзе) в области моделирования динамических процессов в Черном море и атмосфере, распространения примесей в морской среде.



Зураб Автандилович Кереселидзе – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Сектора сейсмологии, сейсмической опасности и риска катастроф. Специалист по физике близлежащего космического пространства Земли.

З.А. Кереселидзе в 1960 году с серебряной медалью окончил Первую железнодорожную среднюю школу в г. Тбилиси, а в 1970 году – физический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Теоретическая физика». В 1970-1973 годах он аспирант ТГУ по специальности «Теоретическая физика». З.А. Кереселидзе в Институте геофизики с 1974 года сотрудник отдела геомагнетизма, а с 1979 года сотрудник лаборатории ионосферы. В 1979-1988 годах он ассоциированный научный сотрудник лаборатории физики магнитосферы в Ленинградском государственном университете.

З.А. Кереселидзе в 1977 году в ТГУ защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Некоторые задачи магнитогидродинамических пограничных слоев», а в 1989 году в Ленинградском государственном университете с большим успехом защитил докторскую диссертацию «Магнитогидродинамические (МГД) эффекты взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли». С 1985 года он ведущий научный сотрудник лаборатории ионосферы, в 1990-2006 годах – заведующий отделом геомагнетизма, в 2006-2013 годах главный научный сотрудник Центра космических исследований института, с 2013 года главный научный сотрудник

Сектора сейсмологии и сейсмической опасности. Под научным руководством З.А. Кереселидзе защищено семь кандидатских диссертаций, он был научным консультантом двух докторских диссертаций. Он автор 142 научных работ, в том числе двух монографий. Все научные работы опубликованы в международных журналах с высоким рейтингом, а 16 работ опубликованы в журналах, имеющих рейтинг импакт-фактора. З.А. Кереселидзе в 1992-1999 годах – главный специалист аппарата Парламента Грузии, в в 1999-2001 годах – начальник Службы ядерной и радиационной безопасности Министерства охраны окружающей среды и природных ресурсов.



Серго Акакиевич Гогмачадзе – академический доктор геологических наук. В 1965 году с отличием окончил среднюю школу в селе Мерия (Озургетский район). В 1965-70 годах он студент факультета автоматики и телемеханики Грузинского политехнического института. В 1972 году окончил географо-геологический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Геоморфология». Работал в Институте строительной механики и сейсмостойкости и, там же в 1977-1980 годах прошел курс аспирантуры. В 1993 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Влияние инженерно-геологических

условий на проявление интенсивности землетрясений». До 2010 года С.А. Гогмачадзе руководитель лаборатории инженерной сейсмологии и геотехнических исследований. С 2012 года С.А. Гогмачадзе старший научный сотрудник Сектора сейсмологии, сейсмической опасности и риска катастроф Института геофизики. Занимается инженерно-геологическими исследованиями, в частности сферу его научных интересов представляют: инженерная сейсмология, геофизика, геология, инженерная геология, гидрология, механика грунтов, основы-фундаменты, гляциология и экология. С.А. Гогмачадзе – член Грузинской инженерной академии, член Национальной академии, член Национальной академии «Фазиси». С 2012 года профессор Грузинско – Американского университета (GAU). Он автор 181 научной работы, в том числе автор 9 монографий.

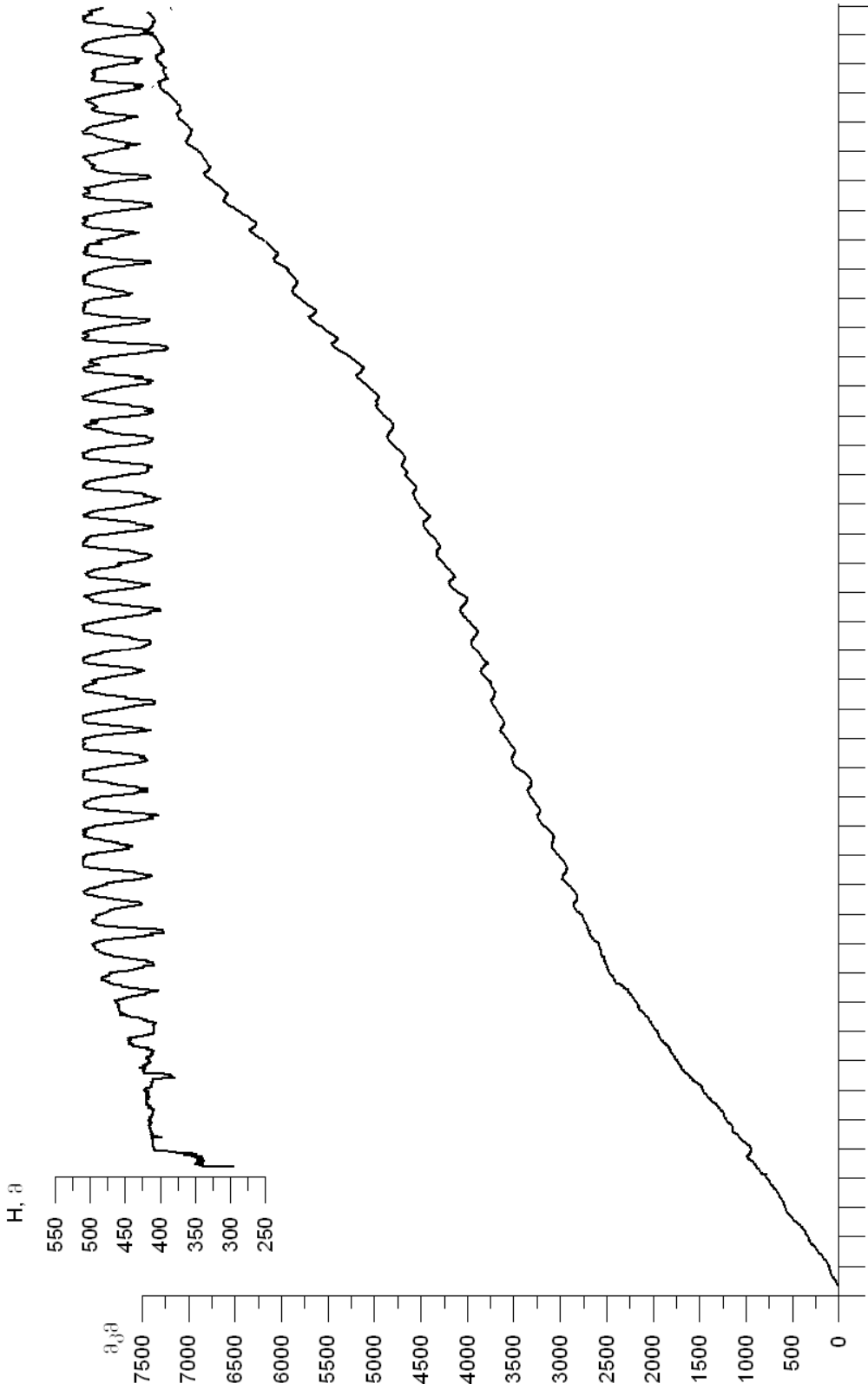
ენგურის თაღოვანი კაშხლის ტანის და მის ფუძეში გამავალი რღვევის ბლოკების დინამიკა სტაციონარული გეოფიზიკური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით

აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ.

*ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას
სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, 0160, თბილისი, მ. ალექსიძის ქ. № 1,
abash_geo@hotmail.com*

როგორც ცნობილია მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის მიერ ენგურის მაღლივი კაშხლის ფუძეში გამავალ რღვევის ბლოკების ყოფაქცევის შესასწავლად 1974 წლიდან ფუნქციონირებს მაღალი სიზუსტის ოპტიკური ექსტენზომეტრი (დეფორმოგრაფი). ბოლო წლებში, კერძოდ 2014 წლის თებერვლის თვიდან ამავე ექსტენზომეტრზე დაყენებულ იქნა ლაზერი, რომელიც აფიქსირებს, ისე როგორც ოპტიკური ექსტენზომეტრი, ბლოკების მოძრაობას რღვევის გავრცელების მართობულად. აღსანიშნავია აგრეთვე, რომ 2016 წლის თებერვლიდან მეზობელ გვირაბ № 183-ში რღვევაზე დაყენებულია ახალი ლაზერი, რომელიც აფიქსირებს ბლოკების შესაძლო მოძრაობას რღვევის გავრცელების მიმართულებით და ასევე ვერტიკალური მიმართულებით. აქვე აღვნიშნავთ, რომ ჯერჯერობით ამ ლაზერიდან მიღებული დაკვირვებული მასალის მიხედვით რღვევის ბორტების გადაადგილება მისი გავრცელების მიმართულებით არ ფიქსირდება, რაც მეტად სასურველი შედეგია. დაკვირვებები გრძელდება. ნახ.1 წარმოდგენილია მდ. ენგურის მარჯვენა სანაპიროს A და B ბლოკების რღვევის გავრცელების მართობულად ფარდობითი გადაადგილებების მნიშვნელობების გრაფიკი 1974-2017 წლების განმავლობაში ოპტიკური ექსტენზომეტრის მონაცემებით.

როგორც წარმოდგენილ გრაფიკიდან ჩანს 1974-1986 წლებში ვიდრე წყალსაცავი სრულად შეივსებოდა და მისი დონის ყოველწლიური რეგულირება დაიწყებოდა რღვევაზე დაფიქსირდა ბლოკებს შორის გაწევითი მოძრაობა, რომელიც იმ წლებში 2.5-2.7 მმ განისაზღვრა. შემდეგ წლებში წყალსაცავის მაქსიმალურ დონემდე შევსებამ და მისმა ყოველწლიურმა რეგულირებამ ბლოკების ეს მოძრაობა შეამცირა, ვინაიდან ამ პროცესს მოჰყვა ბლოკების დაახლოება-დაცილება, რამაც შეასუსტა ეს პროცესი. თუმცა ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ როგორც წარმოდგენილ გრაფიკიდან ჩანს წყალსაცავის რეგულირების სხვადასხვა ეტაპზე ბლოკების მოძრაობის ეს პროცესი არათანაბარია. 1987 წლიდან დაწყებული, როდესაც პირველად აივსო წყალსაცავი 510 მ. დონემდე, 2005 წლის ბოლომდე რღვევაზე ბლოკების დაახლოება-დაცილების პროცესი უფრო ნელი ტემპით მიმდინარეობდა, ვიდრე 2006-2013 წლების დროს. შემდეგ 2014-2017 წლებში კვლავ ეტყობა ამ პროცესს შენელება.



74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 წ.

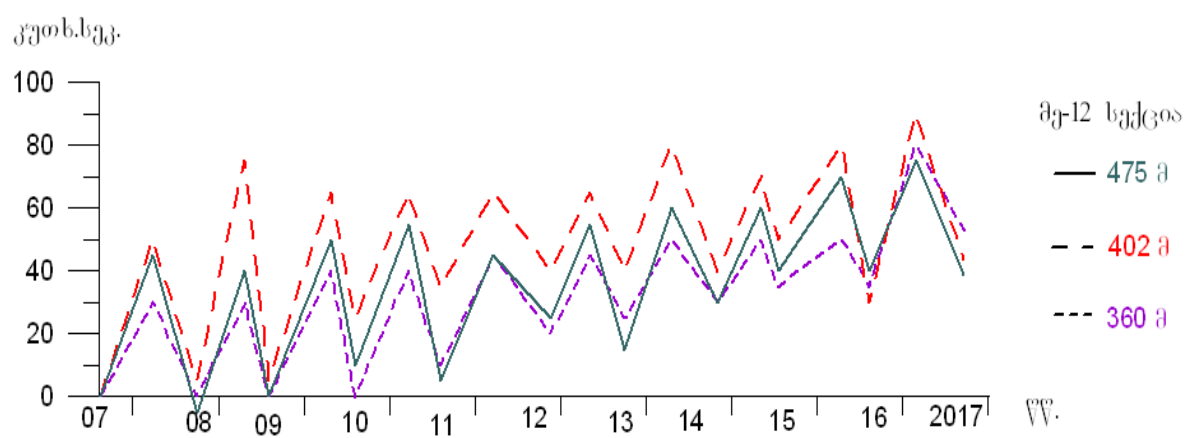
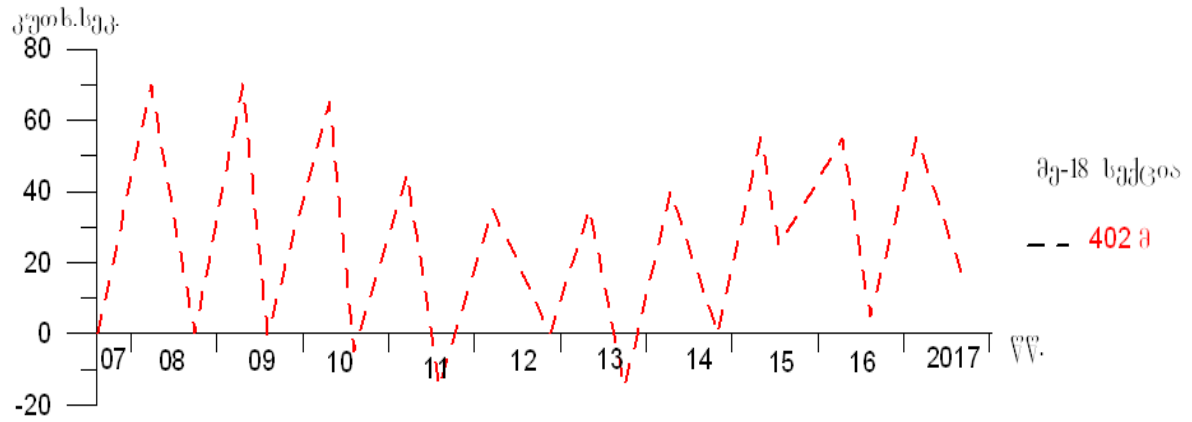
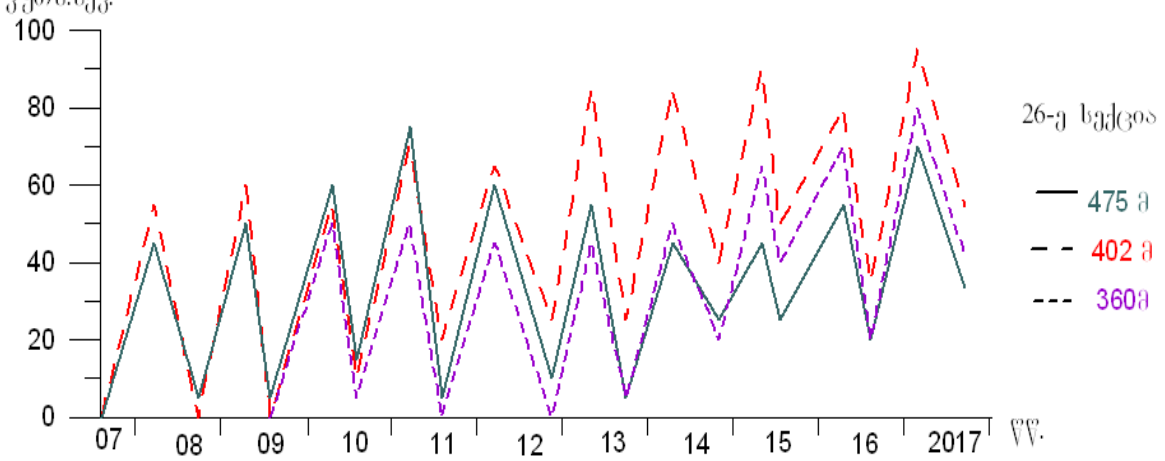
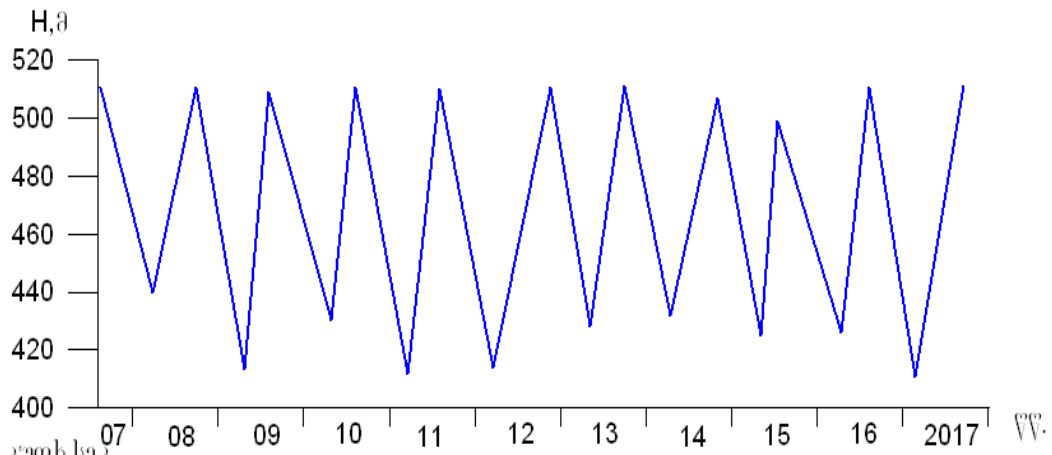
ნახ. 1 მდ. კნეკურის მარჯვენა სანაპიროს რეკვეის A და B ბლოკების ფარდობითი პირიპირისპირი გადამდებები თბობენი კონსტრუქციის მოწყობით და წყლის რეკლამირების გრაფიკები 1974-2017 წლების განმავლობაში

ცხრ. 1

ენგურის თაღოვანი კაშხლის დახრების დინამიკა მისი ლერძის მიმართულებით 2007-2017წწ. განმავლობაში დახრისმზომითი

სადგურების მონაცემების მიხედვით კუთხულ სეკუნდებში (")

№	თარიღი	წყალსაცავი წყლის დონე ცვალბადობა მ	დონეთა სხვაობა მ	კაშხლის დახრების მიმართულება	მე-12 სექცია			მე-18 სექცია	26-ე სექცია		
					360 მ	402 მ	475 მ		402 მ	360 მ	402 მ
1	09.08.07-20.03.08	510.43-439.79	-70.64	ფ.ბ.	30"	50"	45"	70"	55"	45"	45"
2	20.03.08-23.09.08	439.79-510.77	+70.28	ქ.ბ.	30	45	50	70	55	40	40
3	23.09.08-16.04.09	510.77-413.44	-87.38	ფ.ბ.	30	70	45	70	60	45	45
4	16.04.09-29.07.09	413.44-509.35	+95.91	ქ.ბ.	30	70	40	70	60	45	45
5	29.07.09-19.04.10	509.35-430.33	-79.02	ფ.ბ.	40	60	50	65	55	55	55
6	19.04.10-01.08.10	430.33-510.71	+80.38	ქ.ბ.	40	40	40	70	45	45	45
7	01.08.10-16.03.11	510.71-411.82	-98.89	ფ.ბ.	40	40	45	50	45	60	60
8	16.03.11-31.07.11	411.82-510.18	+98.36	ქ.ბ.	30	30	50	60	50	70	70
9	31.07.11-13.03.12	510.18-413.73	-96.45	ფ.ბ.	35	30	40	50	45	55	55
10	13.03.12-12.11.12	413.73-510.93	+97.20	ქ.ბ.	25	25	20	35	45	50	50
11	12.11.12-29.04.13	510.93-428.25	-83.68	ფ.ბ.	25	25	30	35	45	45	45
12	29.04.13-25.09.13	428.25-511.01	+82.76	ქ.ბ.	20	25	40	50	40	60	50
13	25.09.13-10.04.14	511.01-432.11	-78.90	ფ.ბ.	25	40	45	55	45	60	40
14	10.04.14-27.10.14	432.11-507.21	+75.11	ქ.ბ.	20	40	30	40	30	45	20
15	27.10.14-28.04.15	507.21-424.90	-82.31	ფ.ბ.	20	30	30	55	45	50	20
16	28.04.15-12.07.15	424.90-498.98	+74.08	ქ.ბ.	15	20	20	30	25	40	20
17	12.07.15-8.04.16	498.98-426.09	-72.89	ფ.ბ.	15	30	30	30	30	30	30
18	8.04.16-4.08.16	426.09-510.75	+84.66	ქ.ბ.	15	50	30	50	50	45	35
19	4.08.16-19.02.17	510.75-410.73	-100.02	ფ.ბ.	40	60	35	45	60	60	50
20	19.02.17-10.09.2017	410.73-510.81	+100.08	ქ.ბ.	27	46	36	40	38	40	36
2007-2017წწ. კაშხლის დახრების საშუალო მნიშვნელობები				ზედა ბიეფისაკენ ქვედა ბიეფისაკენ	30.0	43.5	39.5	53.0	45.6	47.5	44.5
					25.0	39.1	35.6	52.0	40.4	40.4	41.7



ნახ.2 ენგურის თაღოვანი კაშხლის დასრუბის დინამიკა მისი ღერძის მიმართულებით 2007-2017 წწ. განმავლობაში დასრისმზომითი სადგურების მონაცემების მიხედვით.

ამასთან დაკავშირებით ჩვენ ბოლო 2007-2017 წლების განმავლობაში დეტალურად გაავანალიზეთ ენგურის თაღოვანი კაშხლის დახრების დინამიკა მისი ღერძის მიმართულეებით დახრისმზომითი სადგურების მონაცემების საფუძველზე წყალსაცავში წყლის დონის ცვლილებასთან ერთად. როგორც ცნობილია, კაშხლის მე-12-ე და 26-ე სექციებში დახრისმზომითი სადგურები დაყენებულია 3 სხვადასხვა 360 მ, 402 მ და 475 მ ნიშნულზე, ხოლო მე-18 სექციაში მხოლოდ 402 მ ნიშნულზე. როგორც ცხრ. 1-დან ჩანს წყალსაცავის რეგულირების დროს წყლის მაქსიმალური დონე უფრო დაცულია და მერყეობს 500-510 მ შორის, ვიდრე წყლის დამუშავების დროს დაბალი დონეები, რომლებიც მერყეობენ 410 მეტრიდან 440 მეტრამდე. ვფიქრობთ, კაშხლის დახრის კუთხეების ცვალებადობა სწორედ ამ პროცესთანაა დაკავშირებული. ცხრ. 1-ში წარმოდგენილი მასალის ანალიზიდან ირკვევა, რომ წყალსაცავში წყლის დამუშავების დროს კაშხლის მარჯვენა და მარცხენა ფრთები უფრო მეტად იხრებიან ზედა ბიეფისაკენ, ვიდრე ავსების დროს ქვედა ბიეფისაკენ. ამავე დროს ცენტრალურ ნაწილში მე-18 სექციის მონაცემებით კაშხლის გადახრები ორივე მიმართულებით შედარებით თანაბარია. გარდა ამისა თუ დავაკვირდებით კაშხლის დახრების რიცხვით მნიშვნელობებს კუთხურ სეკუნდებში შევამჩნევთ, რომ ეს მნიშვნელობები 2007-2011 წწ. შედარებით მეტია 2012-2016 წლებში კაშხლის დახრების რიცხვით მნიშვნელობებთან. შეიძლება ეს იყოს მიზეზი იმისა, რომ დაწყებული 2012 წლიდან, განსაკუთრებით კაშხლის მარჯვენა და მარცხენა ფრთების დახრები მე-12 და 26-ე სექციებში არსებული დახრისმზომების მონაცემებით ზემოთ იწვევენ აბსცისთა ღერძიდან. საინტერესოა, რომ იგივე პროცესი ცენტრალურ მე-18 სექციაში არ დაიკვირვება (ნახ.2). შეიძლება ეს იმის გამო ხდება, რომ აქ ამ სექციაში წლების განმავლობაში კაშხლის დახრის კუთხეების ცვალებადობაც შედარებით არ შეიმჩნევა.

ცხრ. 2

#	წლები	წყალსაცავში წყლის დონის გაჩერება და დაწევა	თვეების რაოდენობა	წელი	წყალსაცავში წყლის დონის აწევა	თვეების რაოდენობა
1	2010-2011	აგვისტო-აპრილი	9	2011	მაისი-ივლისი	3
2	2011-2012	აგვისტო-მარტი	8	2012	აპრილი-ივნისი	3
3	2012-2013	ივლისი-აპრილი	10	2013	მაისი-სექტემბერი	4
4	2013-2014	ოქტომბერი-10 აპრილი	6	2014	10 აპრილი-10 ივლისი	3
5	2014-2015	10 ივლისი-15 მაისი	10	2015	15 მაისი-10 ივლისი	2
6	2015-2016	12 ივლისი-8 აპრილი	9	2016	8 აპრილი-10 ივლისი	3
			52			18

დაკვირვების წლები(წწ.)	წყალსაცავში წყლის დონის ცვალებადობა (მ.) max-min-max	დრო, რომლის განმავლობაში ხდება წყლის დონის ცვალებადობა max-min, min-max (დღე-ღამე, თვე)	წყლის დამუშავებისა და აწევის დროს საშუალო სიჩქარეები (მ/დღეღამეში)	ბლოკების დაცილება და დაახლოება (მმ)	ნარჩენი დაცილება (მმ)
1	2	3	4	5	6
2000-2001	509.61→400.00→510.28	217(7.2) 140(4.7)	0.51 0.80	0.215 0.045	0.170
2001-2002	510.28→412.15→510.31	261(8.7) 136(4.5)	0.38 0.72	0.200 0.050	0.150
2002-2003	510.31→410.04→508.90	222(7.4) 166(5.3)	0.45 0.60	0.192 0.058	0.134
2003-2004	508.90→410.12→510.61	170(5.6) 168(5.6)	0.58 0.59	0.194 0.074	0.120
2004-2005	510.61→410.39→509.78	228(7.6) 142(4.7)	0.44 0.70	0.271 0.045	0.226
2005-2006	509.78→389.23→510.84	229(7.6) 105(3.5)	0.53 1.16	0.285 0.070	0.215
2006-2007	510.84→414.72→510.41	246(8.2) 103(3.4)	0.39 0.93	0.324 0.090	0.234
2007-2008	510.41→439.79→510.77	222(7.4) 132(4.4)	0.32 0.54	0.262 0.070	0.198
2008-2009	510.17→413.44→509.35	218(7.7) 104(3.5)	0.44 0.92	0.325 0.055	0.270
2009-2010	509.35→430.33→510.71	264(8.8) 103(3.4)	0.30 0.78	0.350 0.080	0.270
2010-2011	510.71→412.81→510.18	228(7.6) 106(3.5)	0.43 0.82	0.355 0.050	0.305
2011-2012	510.18→413.73→510.93	215(7.2) 244(8.0)	0.45 0.40	0.250 0.060	0.190
2012-2013	510.95→ 428.25→511.01	167(5.6) 153(5.0)	0.50 0.54	0.251 0.070	0.181
2013-2014	511.01→432.11→507.21	197(6.5) 200(6.5)	0.40 0.38	0.162 0.040	0.122
2014-2015	507.21→424.90→498.98	183(6.0) 75(2.5)	0.45 0.99	0.240 0.102	0.138
2015-2016	498.98→426.09→510.75	271(9.0) 118(4.0)	0.27 0.72	0.184 0.087	0.097
2016-2017	510.75→410.73→ 510.81	119(4.0) 203(6.5)	0.84 0.50	0.215 0.080	0.135
2000-2017					3.155

ჩვენ გავანალიზეთ 2010-2017 წლებში წყალსაცავში წყლის რეგულირების პროცესი და გამოირკვა, რომ A და B ბლოკების დაახლოება მიმდინარეობს მაშინ, როცა წყალსაცავში წყლის აწევა ხდება და ბლოკებზე, განსაკუთრებით კი B ბლოკზე დატვირთვა მატულობს. დანარჩენ დროს, კერძოდ წყალსაცავში წყლის დონის, განსაკუთრებით მაღალ დონეებზე გაჩერებისა და შემდეგ დაწევის შემთხვევაში მიმდინარეობს ბლოკების დაცილება. აქედან გამომდინარე გამოდის, რომ განხილული წლების განმავლობაში დროის 2/3-ში წყალსაცავში წყლის დონე გაჩერებული იყო ან დაწევა მიმდინარეობდა (52 თვე იხ. ცხრ. 2), რის გამო დაიკვირება ბლოკების დაცილება. მხოლოდ 18 თვის განმავლობაში, ანუ დროის 1/3-ში მიმდინარეობდა წყლის დონის აწევა და ბლოკების დაახლოება (18 თვე იხ. ცხრ. 2). სწორედ ამიტომ ყოველ წელიწადს რღვევაზე ბლოკების დაცილება სჭარბობს ბლოკების დაახლოებას.

ჩვენ გავანალიზეთ აგრეთვე ოპტიკურ დეფორმოგრაფზე 2000-2017 წლებში მიღებული შედარებით სრულყოფილი, რამდენჯერმე შემოწმებული დანაკვირვები მასალა (ცხრ. 3). გამოდის, რომ ზემოაღნიშნულის გამო, ვინაიდან ბლიკების დაცილება სჭარბობს მათ დაახლოებას, 2000-2017 წლების განმავლობაში რღვევაზე ბლოკების დაცილებამ 3.16 მმ შეადგინა. როგორც ვხედავთ 18 წლის მანძილზე ეს არც ისე დიდი რიცხვია, მაგრამ სასურველია მისი შემცირება. როგორც დანაკვირვები მასალის ანალიზიდან ირკვევა პირველ რიგში ამ სიდიდის მნიშვნელობა დიდაა დამოკიდებული წყალსაცავში წყლის რეგულირების რეჟიმზე. აქედან გამომდინარე ბლოკების დაცილების შემცირება შესაძლებელი იქნება თუ წყალსაცავის დამუშავების ქვედა ზღვარს შევამცირებთ, ვთქვათ 440 მეტრამდე, რაც თავის დროზე პროექტითაც იყო გათვალისწინებული. ასევე ბლოკების დაცილების შემცირება შეიძლება თუ წყალსაცავის ავსების დროს ცოტათი მაინც თუ გავზრდით, რითაც მაღალ დონეებზე გაჩერების დროც შემცირდება, რომლის დროს როგორც ვიცით ბლოკების დაცილება მიმდინარეობს. ყოველივე ეს უნდა ჩატარდეს ისე, რომ ელექტროენერჯის გამომუშავება არ შემცირდეს

ლიტერატურა

1. Абашидзе В.Г., Челидзе Т. Л., Цагурия Т. А., Кобахидзе Т. В., Чиаурели. Г. Г. Результаты деформографических наблюдений в зоне правобережного разлома на территории арочной плотины Ингурской ГЭС. Тр. Ин-та геофизики М. 3. Нодиа, Т. LX, Тб., 2008, с. 54-59.
2. აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლის მარჯვენა ფრთის ქვეშ გამავალ რღვევაზე დაყენებული უკუმვეულებისა და დეფორმოგრაფის მონაცემების ერთობლივი ანალიზი. "ენერჯია" №1(69), თბ., 2014, გვ. 44-49.
3. აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., დოვგალი, ნ. დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლის მარჯვენა ფრთის ქვეშ გამავალ რღვევაზე დაყენებული უკუმვეულებისა და კაშხლის მე-12 სექციაში მუდმივ რეჟიმში მომუშავე დახრისმზომითი სადგურების მონაცემების ერთობლივი ანალიზი
4. აბაშიძე ვ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლისა და ფუძის გეოფიზიკური კვლევები-სტაციონარული დაკვირვებები კაშხლის ტანში და ფუძეში გადაადგილებებსა და დეფორმაციებზე დახრისმზომითი და დეფორმოგრაფიულ-ექსტენზომეტრიული მეთოდების გამოყენებით. "ენერჯია" №2(78), თბ., 2016, გვ. 23-28.
5. 2017 წლის სამეცნიერო-ტექნიკური ანგარიში 25 გვ. გადაცემულია შპს ენგურჰესის და მალღვი კაშხლის დირექციებში და ინახება გეოფიზიკის ინსტიტუტის ფონდებში.

ენგურის თაღოვანი კაშხლის ტანის და მის ფუძეში გამავალი რღვევის ბლოკების დინამიკა სტაციონარული გეოფიზიკური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით

აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ.

რეზიუმე

სტატიაში გაანალიზებულია ენგურის თაღოვანი კაშხლის ტანში და მის ფუძეში რღვევაზე დაყენებული მაღალი სიზუსტის ამერიკული წარმოების დახრისმზომებისა და კვარცის ექსტენზომეტრის მრავალწლიანი დაკვირვების მასალა. კერძოდ რღვევაზე გაანალიზებულია ოპტიკური ექსტენზომეტრის 1974-2017 წწ., ხოლო კაშხალზე დახრისმზომების 2007-2017 წწ. მასალა. დადგენილია, რომ რღვევაზე ბლოკების დაახლოება-დაცილების დინამიკა ძირითადად დაკავშირებულია წყალსაცავში წყლის რეგულირების რეჟიმზე.

სტატიაში გამოთქმულია მოსაზრება, თუ როგორ შეიძლება წყალსაცავში წყლის რეგულირების გარკვეული ნორმების დაცვით ბლოკების დაცილების პროცესის შემცირება. კაშხალზე დღემდე ჩატარებული სტაციონალური დახრისმზომითი დაკვირვების მასალის მიხედვით ანომალური დახრები და გადაადგილებები არ დაფიქსირებულა.

Динамика тела Ингурской высотной арочной плотины и разлома, проходящего под плотиной по данным стационарных геофизических наблюдений

Абашидзе В.Г., Челидзе Т.Л., Довгаль Н.Д., Давиташвили Л.А.

Реферат

В работе проанализирован материал многолетних наблюдений высокоточных наклономеров американского производства и кварцевого экстензометра, установленных в теле плотины и в ее основании. В частности на разломе проанализирован материал наблюдений экстензометра за 1974-2017 гг., а на плотине наклономеров за 2007-2017 гг. Установлено, что динамика сближения и расхождения блоков на разломе во многом зависит от процесса регулирования воды в водохранилище. В статье высказано мнение, как можно уменьшить процесс расхождения блоков путем проведения определенных норм регулирования воды в водохранилище. По материалам стационарных наклономерных наблюдений, проведенных на плотине до сегодняшнего дня, аномальные наклоны или смещения не зафиксированы.

The dynamics of the Enguri arch dam body and the fault blocks under its foundation according to the stationary geophysical observation data

Abashidze V., Chelidze T., Dovgal N., Davitashvili L.

Abstract

The work considers the long-term observation data obtained by high precision US-produced tiltmeters and a quartz extensometer installed in the body of the Enguri Arch Dam and on the fault under its foundation, namely, it analyses the 1974-2017 material obtained from the extensometer on the fault and the 2007-2017 data obtained from the tiltmeters in the dam. We determined that the dynamics of the approaching and diverging movements of the fault blocks mainly depend on the water regulation regime in the water reservoir. The article proposes an idea to minimize the divergence of the blocks by certain regulation of the water in the reservoir. According to the materials obtained by stationary tiltmeter observations on the dam any anomalous tilts and deformations have not been recorded so far.

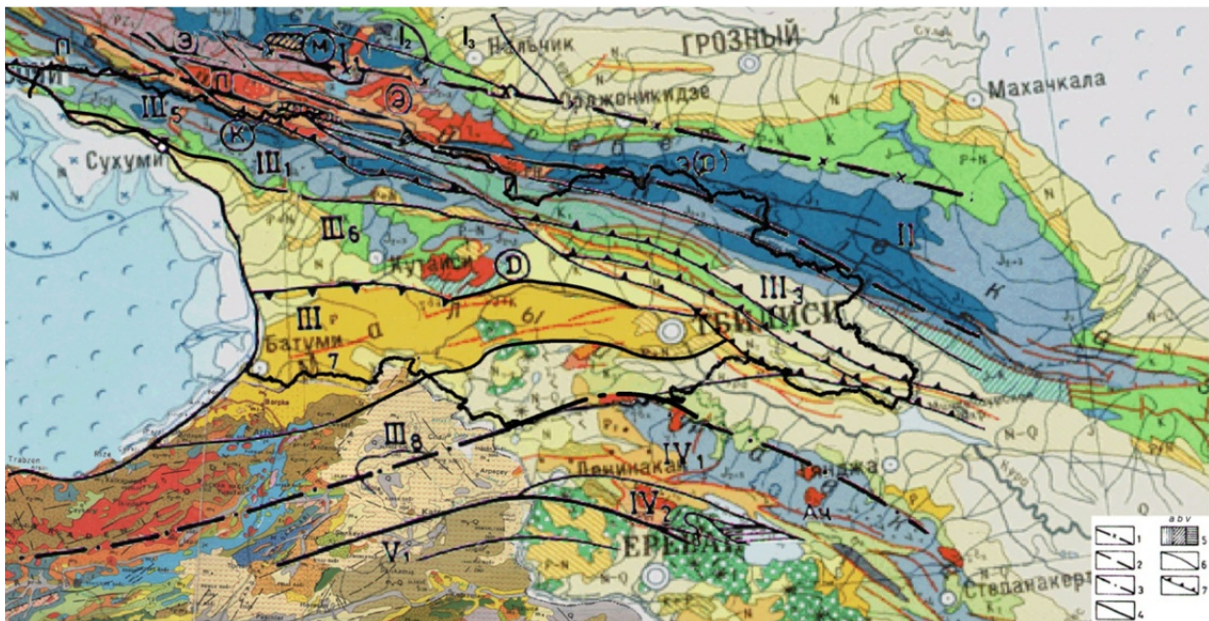
გეოფიზიკური მონაცემებით გეოლოგიის ზოგიერთი პრობლემის გადაწყვეტის შესახებ

მინდელი პ., იავოლოვსკაია ო., გამყრელიძე ნ., ადიკაშვილი ლ., ნიკოლაიშვილი მ.

ი. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახ. უნივერსიტეტის მ. ნოდიაშ სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი, olgayavolovskaya@gmail.com

საქართველოს ტერიტორიის დედამიწის ქერქის სიღრმული აგებულების შესწავლას გეოლოგიურ-გეოფიზიკური მეთოდებით დიდი ხნის ისტორია აქვს. დაგროვილია უნიკალური გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ემპირიული მასალა, რომლის ერთიანი კომპლექსური ინტერპრეტაცია და განზოგადოება არ მომხდარა. ეს უარყოფითად აისახება კავკასიის და საერთოდ ალპურ-ჰიმალაის ტექტონიკური სარტყლის ზოგად შესწავლილობაზე.

ანალოგიური სურათი იკვეთება სიღრმული აგებულების მიმართ გეოფიზიკური მონაცემებით [Балавадзе Б.К., 1956; Сорский, 1966; Твалтვაдзе Г.К., 1970; Мурусидзе Г.Я. 1978, Шенгелая Г.Ш., 1984; Иоселиани М.С., 1969], საკმარისად დამაჯერებელი მოდელი რეგიონის სიღრმული აგებულების შესახებ დღეისათვის ჯერ კიდევ არ არსებობს. იგივე შეიძლება ითქვას ქვემოთ მოყვანილი პრობლემატური საკითხების მიმართ, რომელთა გადაწყვეტა მეტად მნიშვნელოვანია სამეცნერო-კვლევითი და პრაქტიკული გამოყენების თვალსაზრისით (სურ. 1).



სურ. 1 საქართველოს და მის მიმდებარე ტერიტორიის გეოლოგიური რუკა ტექტონიკური ზონალობის დატვირთვით (ე. გამყრელიძის მიხედვით)

მსხვილი ტექტონიკური ერთეულები: I. ჩრდილოკავკასიის კიდურა მასივი, II. კავკასიონის ტერიენი, III შავიზღვის-ცენტრალურამიერკავკასიის ტერიენი, IV. ბეიზურთ-სევანის ტერიენი, V. ირან-ავღანეთის ტერიენი, **აუზის ადგილმდებარეობის სამარკერო ნიშნები:** 1 შუაპალეოზოურის ასაკის, 2. გვიანკიმბრიულამდელის, 3. კემბრიულამდელ-ადრეულმეზოზოურამდელი, 4. მეზოზო-ურადრეულცარცული ასაკის. 5. ოფიოლიტური ტერიენები, 6. სუბტერიენების საზღვრები, 7. ალპიური ტექტონიკური საფარის ფრონტალური საზღვარი.

საქართველოს ტერიტორია, როგორც კავკასიის ცენტრალური შემადგენელი ნაწილი წარმოადგენს რთულ მრავალციკლურ გეოლოგიურ ნაგებობას, რომელიც მოიცავს კავკასიონის და ანტიკავკასიონის ნაოჭამთიან სისტემებს. ეს რეგიონი ყოველმხრივი და განსაკუთრებით გეოლოგიურად შესწავლის მუდმივი ყურადღების ქვეშ იმყოფება, რაც გამოწვეულია მისი ბუნებრივი განსაკუთრებულობით და აგებულების სირთულით, წიაღისეული საბადოების ფართე სპექტრით, ასევე ალპიურ სარტყელში არსებობით, როგორც ამ უკანასკნელის ევროპული და აზიური ნაწილების დამაკავშირებელი კვანძი.

საქართველოს გეოგრაფიულ-გეოლოგიური და ეკონომიკური მდგომარეობა განაპირობებენ საქართველოს მეტალოგენიის და ნავთობგაზიანობის შესწავლის აუცილებლობას და აღნიშნულ წიაღისეულ-საბადოებზე ტერიტორიის პერსპექტიულობის დადგენას. ნავთობგაზიანობა საქართველოში დაბალი ინტენსივობის დანაოჭებულ ტექტონიკურ ზონებს უკავშირდება, როგორც წარმოქმნის და განმარხების რეზერვუარის ხელშემწყობი პირობების მქონე. ასეთ ზონას წარმოადგენს რიონ-მტკვრის დეპრესია შავი ზღვის საქართველოს სექტორის ჩათვლით, ეს ზონა ნავთობგაზიანობის თვალსაზრისით დასავლეთ და აღმოსავლეთ აუზებად იყოფა ძირულის მასივის ამოწევით. ალბათ, პალეოგეოტექტონიკური პირობების გამო, მეტალოგენია და ნავთობგაზიანობა გენეტიკურად გეოსინკლინურ პროცესებთან არის დაკავშირებული. მათ სხვადასხვა ფორმით განიცადეს ერთდროული ტექტონიკური პროცესების ზეგავლენა და თუ კი ეს პროცესები მიმდინარეობდა მობილისტური კონცეფციის თანახმად აღნიშნული გავლენა რეგიონის ნავთობ-გაზიანობის ფორმირების კანონზომიერებაზე, ისევე როგორც მეტალოგენიაზე, უნდა იყოს ასახული და თანამედროვე პირობებშიც უნდა შეინიშნებოდეს. ამ მიმართებით არსებული გეოლოგიურ-გეოფიზიკური მასალების განხილვა დიდ ინტერესს წარმოადგენს.

ეს შეეხება მობილისტური კონცეფციის გათვალისწინებით აღნიშნული წიაღისეული ნედლეულის ძებნა-ძიების საკითხს სიღრმულ აგებულებასთან კავშირში, ეს სიახლეა არამარტო ჩვენთან, არამედ საერთოდ. ფილური ტექტონიკის მობილისტური თეორია მხოლოდ მეტალოგენიის და ნახშირწყალბადების თეორიული მხარის და მათი ძებნა-ძიების მიმართებით აღმოჩნდა ნაკლებად მისადაგებელი, აქედან გამომდინარეობს ამ დარგების კორექტირების საჭიროება მობილისტური თეორიასთან შესაბამისობაში მოსაყვანად. მიგვაჩნია, რომ ასეთი მიდგომით გარკვეულად შეიცვლება წარმოდგენები წიაღისეულ საბადოთა წარმოქმნის და ფორმირების კანონზომიერებაზე და ხელი შეეწყობა ძებნა-ძიების პრობლემების გადაწყვეტას.

აღნიშნული საკითხების განხილვისას გეოფიზიკა არის წინა პლანზე წამოწეული, რადგან აკვატორიის ნაწილი და გაგრძელება აღმოსავლეთით თითქმის მთლიანად დაფარულია თანამედროვე ნალექებით. აქ არამც თუ სიღრმული გეოლოგია, ზედაპირულიც კი ძნელად დაიკვირვება.

გეოფიზიკის წინა პლანზე წამოწევა გამოწვეულია აგრეთვე დიდი კავკასიონის ჩრდილო ზოლში მანტიური ორი სხეულის და მის სამხრეთ ფერდზე დედოფლის წყაროს განედზე ერთი ისეთივე სხეულის არსებობით. ეს სხეულები მანტიიდან დღის ზედაპი-

რამდე 2-5 და 10 კმ-დე ამოდიან, რაც კავკასიის ტექტონიკაში სასწაულებრივი მოვლენაა. ეს სხეულები ახლახან ჩვენ მიერ შესრულებული ვოლგოგრად-ნახიჩევანის სიღრმული სეისმური ზონდირების (სსზ) პროფილის სეისმოტომოგრაფიის ინტერპრეტაციის შედეგად აღმოჩნდა. გარდა ზემოთ აღნიშნული ფაქტისა, იმავე სეისმურ პროფილზე დადგენილ იქნა კონსოლიდირებული ქერქის „ბლოკურ-დანაოჭებული“ სტრუქტურა. ეს ცნება კავკასიის დანაოჭებულ ტექტონიკურ სისტემაში განსაკუთრებული სიახლეა და ჩვენ შემთხვევაში, თუ საყოველთაოდ არა, მოითხოვს ტექტონიკური სისტემატიკის გადასინჯვას და კორექციას. ქერქის სიღრმულ აგებულებასთან ერთად უნდა გადაისინჯოს ნახშირწყალბადების წარმოშობის და საბადოების ფორმირების საკითხები.

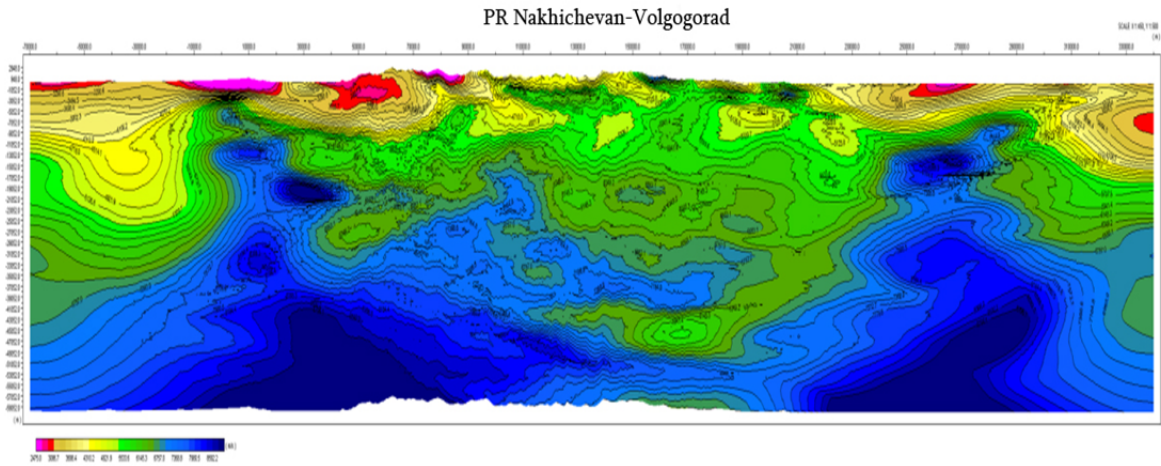
აღნიშნული ტერიტორიის მიმართებაში არ არსებობს ერთიანი შემაჯამებელი განზოგადოებული შრომა, სადაც განხილული იქნებოდა ნახშირწყალბადების წარმოქმნისა და დაგროვების პრობლემატიკაზე ადრეულ წლებში დაგროვილი უნიკალური გეოლოგიურ-გეოფიზიკური კვლევების შედეგები, რაც ნათელს მოფენდა გეოლოგიურ აგებულებას, მეტალოგენიას და ნავთობ-გაზის ძებნა-ძიების პრობლემატიკას.

მობილისტურმა გლობალურმა კონცეფციამ ლითოსფეროს ფილაქნური ტექტონიკის სახით შექმნა დანაოჭებულ სისტემათა ახლებური გაგება. ამ კონცეფციიდან გამომდინარე აღინიშნება, რომ აუზები ოკეანური ქერქით და ფსკერით მოგებული ღრმა ოკეანური ნალექებით, შემდგომ განიცადეს გეოლოგიურ ეპოქალური ევოლუცია და თვისობრივად განსხვავებული გარდაქმნები. ამ გარდაქმნებთან ერთად ყალიბდებოდა დანაოჭებული სისტემები კონტინენტური ქერქით და ოკეანური ქერქის გადმონაშთებით ტექტონიკურ ზონებში ხოლო გეოსინკლინურ ნალექებში მიკრო-კონტინენტების სახით. კავკასიის შემთხვევაში უმთავრესი ნაწილი ოკეანური ქერქისა განადგურებული იქნა ორი ერთმანეთისგან განსხვავებული აფრო-არაბეთის და ევრაზიის კონტინენტების კიდეთა მიახლოებით. აქედან გამომდინარე, წარმოდგენილი იქნა ალპური ხმელთაშუაზღვის სარტყლის რამდენიმე მნიშვნელოვნად განსხვავებული და, ზოგჯერ, პრინციპულად წინააღმდეგობრივი მობილისტური ევოლუციური მოდელები. [Khain, 1974; Гамкрелидзе, 1974, 1976; Adamia, 1975, Хаин; 1975] ეს კონცეფციები მოკლებული არიან ფაქტობრივი მასალებით დასაბუთებას სიღრმული აგებულების შესახებ, რადგან ამ თვალსაზრისით გეოფიზიკურ მონაცემთა ინტერპრეტაცია თანამედროვე კომპიუტერული პროგრამული უზრუნველყოფით ჯერ არ შესრულებულა.

ალპურ-ჰიმალაის ხმელთაშუაზღვის სარტყელში ვარაუდობენ [И. Гамкрелидзе, Д. Шенгелиა, 2005], წარსულ გეოლოგიურ პერიოდში განედური გავრცელების გიგანტური ზონების არსებობას, განლაგებული ერთმანეთისაგან დაშორებით რამოდენიმე ათასი კილომეტრით. ხოლო თანამედროვე პირობებში შეკრული არიან ერთად და ქმნიან ხმელთაშუაზღვის ალპურ დანაოჭებულ სარტყელს. ვარაუდობენ აგრეთვე, რომ წარსულის ოკეანეში, რომელიც დიდად აშორებდა აფრო-არაბეთის ფილაქანს (კონტინენტს) ევრაზიის ფილაქანისაგან (კონტინენტისაგან) შეიცავდა მცირე ზომის ფილაქნებს-ტერეინებს რომელთაც აქვს განსხვავებული გეოდინამიკური ბუნება, ხასიათებიან სპეციფიური ლითოლოგიურ-სტრატოგრაფიული ჭრილით და მაგმური, მეტამორფული და სტრუქტურული განსაკუთრებულობით. აღნიშნული მოსაზრებების უმრავლესობა ჰიპოთეზურ ან ვარაუდის დონეზეა დამყარებული და საჭიროებენ გეოფიზიკური მონაცემებით დასაბუთებას.

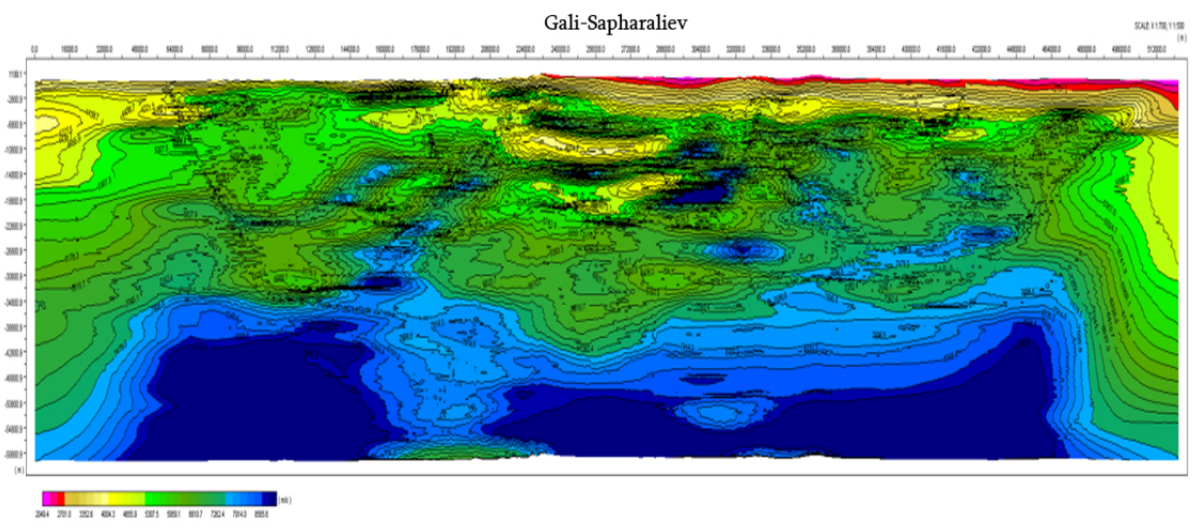
ზემოთ მოყვანილ აზნაცში რამოდენიმე რთული პრობლემაა ასახული. მათი მტკიცებულებისათვის ნაკლებადაა მოხმობილი პალეომაგნიტური მასალა, სრულებით არაა გამოყენებული იზოსტაზიის და სხვა გეოფიზიკური მონაცემები. სიღრმული ინფორმაციის

ფაქტობრივი მასალები მოხმობილი არაა იმის გამო, რომ იგი არაა დამუშავებული მაღალ მეცნიერულ დონეზე და განზოგადოებული აღნიშნული პრობლემების მიმართებით. გეოფიზიკურ მონაცემთა თანამედროვე კომპიუტერული გადამუშავებით კარდინალურად იცვლება ადრინდელი ინტერპრეტაციის შედეგი სტრუქტურულად და გეოლოგიური გაგებით შინაარსობრივად. მაგალითისათვის ქვემოთ მოტანილია, ჩვენს მიერ შესრულებული, სეისმოტომოგრაფიული ჭრილები კავკასიის განივ და გასწვრივ გადაკვეთაზე (სურ. 2 და 3).



სურ. 2. სსზ პროფილი ვოლგოგრად-ნახიჩევანი

აქ და მომდევნო ანალოგიურ ჭრილზე რთული სიჩქარული განაწილების სურათია მოცემული, მყარი ქერქისათვის დამახასიათებელი სიჩქარული სპექტრი დაიკვირვება დაწყებული 2.2 კმ/წ დამთავრებული 8.8 კმ/წ. მათი გეოლოგიური საბოლოო ინტერპრეტაცია სეისმურ ჭრილებთან და სხვა გეოფიზიკურ მონაცემებთან ერთადაა შესაძლებელი. საორიენტაციოდ შეიძლება ითქვას, რომ 2.2-2.4 კმ/წ. სიჩქარის ინტერვალი შეესაბამება მეოთხეულ-პლეისტოცონის წარმონაქმს და ზედა პლიოცენს. 2.5-3.9 კმ/წ ინტერვალის სიჩქარე – მთელი პალეოგენს, შუა ნეოგენს. ხოლო 5.8-6.4 კმ/წ კრისტალური ქერქის ზედა ნაწილის შესატყვისობაში მოდის. 6.5-7.8 კმ/წ. “ზაზალტური” ფენის დანაწევრებულ სურათს გადასახავს, ხოლო 8.2 კმ/წ და მეტი მანტიური შემადგენლობით წარმოიდგინება.

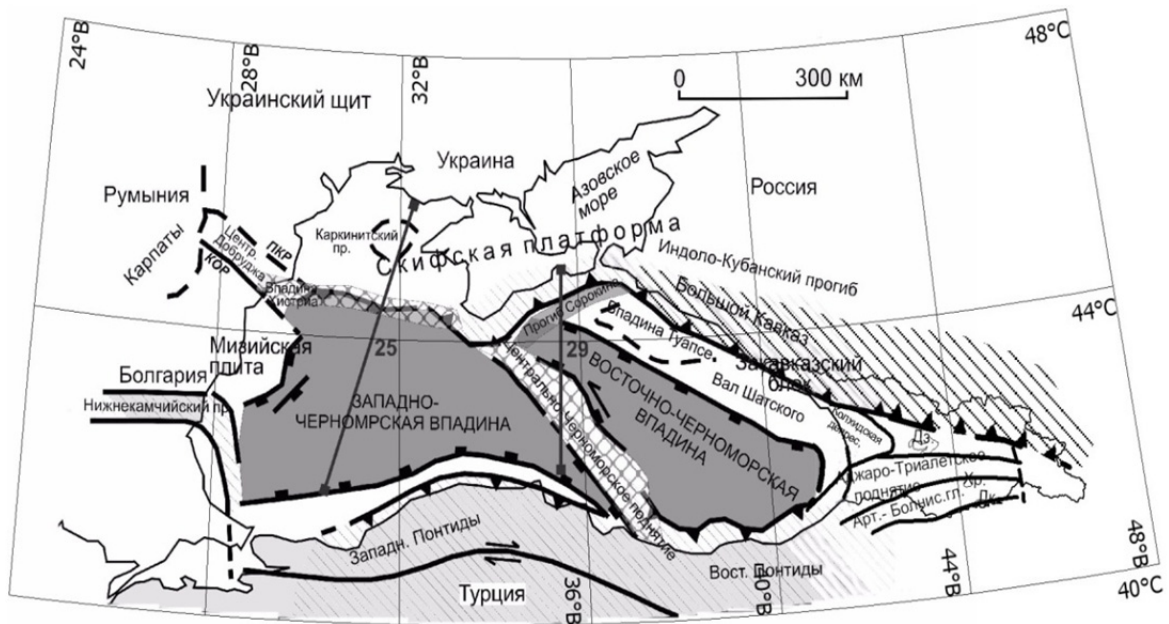


სურ. 3. სსზ პროფილი გალი – საფარალიევი

აქედან გამომდინარე, მყარი ქერქი კავკასიაში – ინტენსიურად დანაოჭებულ სეგმენტში განშრეგებათა მორიგეობით არ არის ერთგვაროვანი. განსაკუთრებით კრისტალური ნაწილი შეიცავს ინვერსიული და ჭარბი სიჩქარით ჩანართებს, რაც გარკვეულად შეუსაბამა იგივე ჭრილების სეისმომეტრიულ (გეომეტრიულ) ჭრილებთან.

ზემოთ დასახელებულ სიღრმულ გეოლოგიურ სახეულებს მნიშვნელოვნად განსხვავებული პეტროლოგიურ-პეტროგრაფიული, სტრუქტურულ-ტექტონიკური აგებულება და განვითარების ისტორია აქვთ. ამრიგად კავკასიას როგორც ჰეტეროგენურ სიღრმულ გეოლოგიურ სახეულს, მათ შორის დიდ კავკასიონს ალპურ-ჰიმალაის ხმელთაშუა ზღვის სარტყლის განვითარების ისტორიაში “ფილური ტექტონიკის” თვალსაზრისით მნიშვნელოვანი და განსაკუთრებული ადგილი უკავია.

აღნიშნული მახასიათებლები კავკასიონზე, ქმნიან უნიკალურ ბუნებრივ ლაბორატორულ გარემოს, სადაც შეიძლება დადგინდეს დანაოჭებათა წარმოშობის მიზეზები და მექანიზმები, აგრეთვე, რაც მნიშვნელოვანია, ტექტონიკური დანაოჭების ფაზების კავშირი ფილური გადაადგილების პერიოდულობასთან, არა მარტო ლოკალური გაგებით, არამედ მთელი ალპური რეგიონის მიმართებითაც.



სურ. 4. შავი ზღვის რეგიონის ტექტონიკური სქემა [ეგოროვა, გობარენკო, 2010] საქართველოს ტერიტორიაზე ჩვენი ჩასწორებით.

უნდა აღვნიშნოთ, რომ “ფილური ტექტონიკის” ნიშნები და კრიტერიუმები დღის ზედაპირზე გეოლოგიურ ჭრილებში ნაკლებად დაიკვირვებიან. ამიტომ მიზეზ-შედეგობრივი კავშირის დადგენა “ფილური ტექტონიკის” კონცეფციის მიხედვით, სიღრმული გეოლოგიურ-გეოფიზიკური აგებულების გარეშე, ცალსახად ძნელად დასადგენია. ეს იქიდანაც ჩანს, რომ სხვადასხვა ავტორი თითქმის ერთიდაიგივე მასალაზე დაყრდნობით ერთიდაიგივე, ეპოქისათვის მკვეთრად განსხვავებულ, პალინსპლასტიკურ რეკონსტრუქციებს იძლევიან (სურ. 4 და სურ. 5). ეს სურათები, ჩვენი აზრით, ზემოთ გამოთქმულ მოსაზრებას კარგად ადასტურებს.



სურ. 5. შავი ზღვის რეგიონის და თურქეთის ტექტონიკური სქემა
[from Okan and Tüysüz, 1999]

გარდა ამისა (სურ. 4,5) იგივე თემაზე ორ ათეულ სურათამდე შეიძლება დასახელდეს იმის მტკიცებულებად, რომ ყველა სპანინპლასტიური სქემა მოკლებულია ფაქტობრივ მასალას და შორსაა რეალობისაგან. არადა გეოფიზიკური შესწავლილობის მასალები ხარისხით და კონდიციით საკმარისი უნდა იყოს ალტერნატიული მტკიცებულებისათვის. ამასთან დაკავშირებით საჭიროა არსებული გეოფიზიკური რეგიონული კვლევების და სასარგებლო წიაღისეულის ძებნითი მასალების გეოლოგიასთან ერთად ერთიანი კონცეპტუალური მიდგომით გადამუშავება და შედეგების გამოყენებითი სახის წარმოდგენა. აუცილებელია ასეთი რამ მოკლე ხანში გაკეთდეს იმის გამოც, რომ გასული წლების მასალებს ყავლი გაზდის და ამოუცნებელი რჩებიან. მეორეც ის, რომ საერთოდ ნადგურდება, ხოლო საველე სამუშაოებით ხელახალ მოპვებაზე, ჯერ-ჯერობით, ფიქრიც კი ზედმეტია.

ამგვარად, შეიძლება ითქვას, რომ საქართველო შავი ზღვის სექტორით გეოფიზიკური მეთოდებით თანამედროვე ტექნიკური შესაძლებლობით და მეთოდოლოგიური მიდგომით საკმარისად მაღალ დონეზეა შესწავლილი. აღნიშნავთ მხოლოდ, რომ საქართველოს ტერიტორია შავი ზღვის სექტორით აერომანტიური მეთოდით სამ სხვადასხვა სიმაღლეზე, მასშტაბში: 1:50000, 1:200000 და 1:2500 000 არის აგემილი. ასეთივე რიგისაა გრავიმეტრიული შესწავლილობა, მხოლოდ იმ განსხვავებით, რომ გაზომვები შესრულებულია დღის ზედაპირზე, სხვადასხვა მასშტაბში. საქართველოს მთათაშუეთის და სამხრეთ საქართველოს ტერიტორიის შესწავლილობა ელექტრომეტრული მეთოდებით, 1:500000 მასშტაბის კონდენციას განეკუთვნება. სიღრმული სეისმური ზონდირების სამუშაოების შესრულება რთულ ტექნიკურ და ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებთანაა დაკავშირებული ამიტომ იგი კავკასიის ოთხ მერიდიანულ გადაკვეთაზე და ერთგანივ პროფილზეა

შესრულებული, აქედან პირველი სამი და ბოლო საქართველოს ტერიტორიაზე გადის. შავ ზღვაზე ამ სახეობის პროფილები 30 აღწევს, მათი საერთო სიგრძე 4000 კმ აღემატება, რომელთაც არათანაბარი განაწილება აქვთ ფართზე, თუმცა საკვანძო სეგმენტები საკმარისი დეტალობითაა შეისწავლილი. გარდატეხილი ტალღების მეთოდით საქართველოს მთათაშუეთი და მისი სამხრეთული რეგიონი აგეგმილია მჭიდრო პროფილური ქსელით. არეკლილი ტალღების სიღრმული საერთო წერტილის მეთოდი დანალექი საფარის სტრუქტურული გადასახვის სრულ სურათს იძლევა მხოლოდ მთათაშუეთის დეპრესიაში.

საქართველოს მეტალოგენური რაიონები სხვადასხვა და რთული ფიზიკურ-გეოლოგიური გარემოებებით არიან წარმოდგენილი, ამდენად განსხვავებული გეოფიზიკური კომპლექსით შეისწავლებოდა-კავკასიონის ქედის სამხრეთის ფერდი. სამხრეთ საქართველოს მეტალოგენური რეგიონი შესწავლილია გაძლიერებული კომპლექსით. საქართველოს ტერიტორია პეტროფიზიკური აგეგმვით მთლიანადაა დაფარული 1:500000 მასშტაბში.

ამრიგად საქართველოს გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ორგანიზაციების და ქართველი გეოფიზიკოსების მიერ ჩატარებული და ნაყოფიერი შრომის შედეგად მთავრდება საქართველოს ტერიტორიის გეოფიზიკური შესწავლილობის გარკვეული ეტაპი, რომლის მეცნიერული და პრაქტიკული გამოყენების ინფორმაციულობა წარმოდგენილია ცალ-ცალკე მეთოდების მიხედვით.

ჩვენი აზრით, აუცილებელია თანამედროვე კომპიუტერული უზრუნველყოფით გეოფიზიკური მასალების შემდგომი მიზანმიმართული ინტერპრეტაცია. აქედან გამომდინარე, შესაძლებელია საქართველოს სიღრმული გეოლოგიურ-გეოფიზიკური აგებულების შესწავლისას დასახელებული იქნას რამდენიმე პრიორიტეტული პირველი რიგის პრობლემატური გეოლოგიურ-გეოფიზიკური ამოცანის გადაწყვეტის აუცილებლობა გეოფიზიკური მეთოდების მონაცემებით. კერძოდ: დანალექი საფარის მსხვილი სტრატиграფიული ერთეულების მორფოსტრუქტურული აგებულება; კონსოლიდირებული ქერქის გეოლოგიურ-გეოფიზიკური აგებულება; ქერქის რღვევითი სტრუქტურების დადგენა და სისტემატიზაცია; ძებნა-ძიების გეოფიზიკური მეთოდების ანალიზი და ეფექტიანობის დადგენა.

ჩამოთვლილი პრობლემებიდან უმრავლესობას შესაძლებელია გეოფიზიკური მეთოდებით გაეცეს პასუხი. აქედან გამომდინარე გეოფიზიკა ვალდებულია კვლევითი სამუშაოები აწარმოოს აღნიშნული პრობლემების გადასაწყვეტად.

ლიტერატურა

1. Абрамович И.И., Клушин И.Г. Геодинамика и металлогения складчатых областей. Недр, 1987, 246с.
2. Гамкрелидзе И.П., Шенгелиа Д. М. Докембрийско-палеозойский региональный метаморфизм, гранитоидный магматизм и геодинамика Кавказа. М., Научный мир, 2005, 458 с.
3. Гамкрелидзе Н.П. Геологическое строение, магматизм и металлогения Юго – Восточной Грузии. Изд. Тбилисского университета, 1991, 340с.
4. Гобаренко В.С., Егорова Т.П. Структура литосферы и геодинамика Западно- и Восточно Черноморской впадин. Физика Земли. 2010, №6. с.49-66.
5. Миндели П. Гравитационная модель литосферы Кавказа и Восточного Средиземноморья. Монография. –Тб.: GCI.-1999.- 133с.

6. Митчелл А., Гарсон М. Г. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений М. Мир 1984, 496 с.
7. Ле Пишон К., Фрашко Ж., Боннин Ж. Тектоника плит. «Мир», М., 1977. 285с.
8. Смирнов В. И. Проблемы эндогенной металлогении. Изд. «наука» М., 1965. 119с.
9. Твалчрелидзе Г.А. Мобилизм или классическая геотектоника. Жур. Рудные месторождения, т.9, М., 1979. 112с.

გეოფიზიკური მონაცემებით გეოლოგიის ზოგიერთი პრობლემის გადაწყვეტის შესახებ

**მინდელი პ., იავოლოვსკაია ო., გამყრელიძე ნ., ადიკაშვილი ლ., ნიკოლაიშვილი მ.
რეზიუმე**

სტატიაში განხილულია საქართველოს ტერიტორიის გეოფიზიკური შესწავლილობის მდგომარეობა პლიტური ტექტონიკის კონცეფციის ასპექტში. ნათქვამია, რომ ტერიტორიის გეოფიზიკური მეთოდებით შესწავლას ნახევარსაუკუნეზე მეტი ისტორია აქვს, დაგროვილია უნიკალური პირველადი გეოფიზიკური მასალა, რომლის ერთიანი დამუშავება და განზოგადოება ჯერაც არ მომხდარა, რაც უარყოფითად აისახება რეგიონის გეოლოგიურ-გეოფიზიკურ შესწავლილობაზე და ალპურ-ჰიმალაის ტექტონიკური სარტყლის რაობაზე, რადგან კავკასია (საქართველო) წარმოადგენს აღნიშნული სარტყლის ცენტრალურ საკვანძო ნაწილს.

საფონდო გეოფიზიკური მასალის ხელახალი ინტერპრეტაცია გამოწვეულია აგრეთვე მობილიტური პლიტური ტექტონიკის თეორიით, რაც მნიშვნელოვნად ცვლის რეგიონის განვითარების ისტორიას და გენეზისს.

მოკლედ გადმოცემულია ტერიტორიის გეოფიზიკური შესწავლილობის დონე და ნახშირწყალბადების ძებნა-ძიების თვალსაზრისით სიღრმული აგებულება. განხილვა გეოლოგიის ზოგიერთი პრობლემის გეოფიზიკური მონაცემებით გადაწყვეტის შესაძლებლობა.

К решению некоторых проблем геологии геофизическими методами

**Миндели П.Ш., Яволовская О.В., Гамкрелидзе Н.П., Адикашвили Л.Н.,
Николайшвили М.М.**

Реферат

В статье рассматривается состояние геофизической изученности территории Грузии в аспекте концепции плиточной тектоники. Отмечено, что история изучения территории геофизическими методами насчитывает более полувека. Собраны уникальные первичные геофизические материалы, которые до сих пор не были обработаны и обобщены, что отрицательно сказывается на геологической-геофизической изученности региона, а также Альпийско-Гималайского тектонического пояса, так как Кавказ (Грузия) является центральной ключевой частью этого пояса.

Новая попытка интерпретации фондовых геофизических материалов вызвана также требованиями теории мобилистической плиточной тектоники, которая позволяет по-новому взглянуть на историю развития региона.

Коротко передан уровень геофизической изученности территории с точки зрения глубинного строения и поиска месторождений металлов и углеводородов. Рассматриваются возможности решения некоторых геологических проблем геофизическими методами.

Solution of some problems of geology by geophysical methods

Mindeli P., Yavolovskaya O., Gamkrelidze N., Adikashvili L., Nikolaishvili M.

Abstract

The article considers the condition of geophysical study of Georgian territory in the aspect of plate tectonic concept. It is noted that the territory has been investigated by geophysical methods for more than half a century. Unique primal geophysical materials were obtained which however have not been processed and generalized up to now. That negatively tells upon geological-geophysical study of the region as well as on Alpine-Himalayan tectonic belt, as far as the Caucasus (Georgia) makes up the central and the key part of this belt.

The interest for a new interpretation of the fund geophysical materials is motivated also by the requirements of the theory of plate tectonic, which allows us to see the history of the development of the region in a different way.

The work briefly describes the level of geophysical study of the territory from the point of deep structure and the search of metallic and hydrocarbon deposits. Possibilities of solving some geological problems by geophysical methods are also considered.

დახრილი ჭაბურღილების ბურღვა გამრუდების პარამეტრების განსაზღვრისა და გეოფიზიკური კვლევების გაუმჯობესებით

ხუნდაძე ნ., ხითარიშვილი ვ., რაზმაძე თ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, 0175, საქართველო,
თბილისი, კოსტავას 77

დახრილი ჭაბურღილების გაყვანა წარმოებს რთული გეოლოგიურ-მეთოდური და ტექნიკური ამოცანების გადასაწყვეტად. ჭაბურღილების გამრუდება შეფასებულია უარყოფითად, როცა ის არასასურველია ან ართულებს ბურღვის პროცესს და დადებითად, როდესაც ჭაბურღილის გამრუდება უზრუნველყოფს დასაძიებელი სასარგებლო წიაღისეულის მარაგების ზრდას, ამაღლებს წყლის, ნავთობის მოდინებას ჭაბურღილში ან დადებითად წყვეტს ბურღვის პროცესებთან დაკავშირებულ საკითხებს ბურღვითი სამუშაოების მოცულობის, საშუალებებისა და მასალის ხარჯის გაზრდის გარეშე.

დახრილი ჭაბურღილის ღერძის სივრცობრივი მდებარეობა ცალკე ან ლულის ნებისმიერ წერტილში განისაზღვრება ჭაბურღილის მთელი რიგი გამრუდების პარამეტრებით [1.3]:

1) ზენიტური კუთხე θ ვერტიკალურ სიბრტყეში; 2) აზიმუტური კუთხე A ჰორიზონტალურ სიბრტყეში; 3) მანძილი L ჭაბურღილის პირიდან კუთხეების გაზომვის წერტილამდე; 4) ჭაბურღილის დახრის კუთხე η ; 5) გამრუდების საერთო კუთხე φ ; 6) ჭაბურღილის ლულის ფენთან შეხვედრის კუთხე μ ; 7) მანძილი ჭაბურღილის პირიდან სანგრევის პროექციამდე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში α ; 8) გამრუდების ინტენსიურობა i ; 9) გამრუდების რადიუსი R .

ამ პარამეტრებიდან, როგორც ცნობილია გამრუდების ინტენსიურობა განისაზღვრება ფორმულით

$$i = \frac{\Delta\theta}{l}, \quad (1)$$

სადაც $\Delta\theta$ არის გამრუდებული ლულის l -ის საწყის და საბოლოო წერტილებში გაზომილი ზენიტური კუთხეების სხვაობა, გრადუსებში; l გამრუდებული ლულის სიგრძე მეტრებში.

გამრუდების რადიუსი განისაზღვრება ფორმულით:

$$R = \frac{57.3}{i}. \quad (2)$$

ამ (2) ფორმულიდან ჩანს, რომ

$$i = \frac{57.3}{R} \quad (3)$$

და (3) ფორმულებიდან შეიძლება მივიღოთ გამოსახულება

$$\frac{57.3}{R} = \frac{\Delta\theta}{l}. \quad (4)$$

(4) გამოსახულებიდან პროპორციის თანახმად შეიძლება ცალ-ცალკე განვსაზღვროთ R , l და $\Delta\theta$

$$R = \frac{57.3l}{\Delta\theta}. \quad (5)$$

$$l = \frac{R\Delta\theta}{57.3}. \quad (6)$$

$$\Delta\theta = \frac{57.3l}{R}. \quad (7)$$

სხვადასხვა მახასიათებლებისა და პარამეტრების საშუალებით შეიძლება გამოსახული იქნეს მანძილი α ჭაბურღილის პირიდან სანგრევის პროექციამდე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, რომელიც განისაზღვრება შემდეგი ფორმულით

$$\alpha = \frac{1}{l}(\cos\theta_0 - \cos\theta_1). \quad (8)$$

თუ გამრუდების ინტენსივობის i -ის მაგივრად (8) ფორმულაში შევიტანოთ (1) და (3) გამოსახულებებს, მივიღებთ

$$\alpha = \frac{1}{\frac{\Delta\theta}{l}}(\cos\theta_0 - \cos\theta_1). \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{1}{\frac{57.3}{R}}(\cos\theta_0 - \cos\theta_1). \quad (10)$$

საბოლოოდ (9) და (10) გამოსახულებები მიიღებენ შემდეგ სახეს

$$\alpha = \frac{l}{\Delta\theta}(\cos\theta_0 - \cos\theta_1). \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{R}{57.3}(\cos\theta_0 - \cos\theta_1). \quad (12)$$

(12) ფორმულიდან გამრუდების რადიუსი გამოიანგარიშება

$$R = \frac{(\cos\theta_0 - \cos\theta_1)}{57.3 \alpha}. \quad (14)$$

მიღებული ფორმულები შეიძლება გამოყენებული იქნას დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ჭაბურღილების პროფილების დასაპროექტებლად.

ჭაბურღილის ბურღვისას აუცილებელია ცალკეული ინტერვალების გეოლოგიური ჭრილების შესწავლა, მათი შემადგენელი ქანების ლითოლოგიური აგებულებისა და შედგენილობის დაზუსტება. ამ სამუშაოებს ატარებენ გეოფიზიკური კვლევების საშუა-

ლებით, რომლის ძირითად მეთოდებს წარმოადგენს ელექტრული, რადიოაქტიური, აკუსტიკური, თერმული, გეოქიმიური, ატომურ-მაგნიტური და სხვა სახის კაროტაჟი.

გარდა აღნიშნული მეთოდებისა როგორც ვერტიკალური, ასევე დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ჭაბურღილების გამრუდების გაზომვა ინკლინომეტრით წარმოებს, ჭაბურღილების სიღრმის განსაზღვრულ ინტერვალზე გაიზომება ჭაბურღილის ლულის გადახრის კუთხე ჰორიზონტიდან η (დახრის კუთხე) და ვერტიკალიდან θ (ზენიტური კუთხე), ასევე აზიმუტური კუთხე A .

ნავთობისა და გაზის ჭაბურღილების გამრუდების გაზომვები ხორციელდება დისტანციური ელექტრული გაზომვების ტიპის ინკლინომეტრებით, ხოლო მყარ სასარგებლო წიაღისეულზე ჭაბურღილების ბურღვისას ლულის გამრუდების გაზომვები წარმოებს პიროსკოპული ინკლინომეტრით.

ინკლინომეტრის დახმარებით გაზომილი ზენიტური კუთხის საშუალებით და ზემოთ აღნიშნული ფორმულების გამოყენებით შესაძლებელია განსაზღვრულ იქნეს გამრუდების შემდეგი პარამეტრები: მანძილი α ჭაბურღილის პირიდან კუთხეების გაზომვის წერტილამდე და სანგრევის პროექციამდე ჰორიზონტალურ სიბრტყეში, გამრუდების საერთო კუთხე φ , ჭაბურღილის ლულის ფენთან შეხვედრის კუთხე μ , გამრუდების ინტენსიურობა I და რადიუსი R .

კაროტაჟის ყველა მეთოდის გამოყენებისას გაზომვების შედეგებზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ჭაბურღილის დიამეტრის გაზომვის სიზუსტე, რომელიც განისაზღვრება სპეციალური ხელსაწყოთა კავერნომეტრის საშუალებით. ამ ხელსაწყოებიდან მიღებული კავერნოგრამების დახმარებით უზრუნველყოფილია სხვადასხვა სახის კაროტაჟიდან მიღებული მონაცემების დიდი საიმედოობა. ამ მონაცემების მიხედვით ზუსტდება ჭაბურღილის გეოლოგიური ჭრილი, დგინდება ყველაზე სასურველი და ზუსტი ადგილი ფენების გამომცდელებისა და სამაგრი მილების კოლონების ბუნიკების დასაყენებლად, წარმოებს ჭაბურღილის კედლების მდგომარეობის კონტროლი და განისაზღვრება მიღგარე სივრცის მოცულობა სამაგრი კოლონის დაცემენტებისას [2].

ამჟამად დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ჭაბურღილების ბურღვისას გამოიყენება MWD და LWD ტელემეტრიული სისტემები. აღნიშნულ სისტემებს გააჩნიათ მგრძნობიარე გადამწოდები და სენსორები, რომელთა დახმარებით წარმოებს გეოფიზიკური კვლევითი სამუშაოები, საიდანაც მიღებული მონაცემების საშუალებით განისაზღვრება გამრუდების პარამეტრები. ამ სამუშაოებით ზუსტდება ჭაბურღილის ცალკეული ინტერვალების გეოლოგიური ჭრილების შემადგენელი ქანების აგებულება და შედგენილობა. პრაქტიკაში ფართოდ ინერგება ჭაბურღილების კედლებისა და სანგრევის ფოტოგრაფირების, სატელევიზიო გადაღებების, ვიდეოკამერებისა და კომპიუტერების გამოყენების მეთოდები. ამ ხერხების გამოყენებით წარმოებს ჭაბურღილების კედლების პანორამული გამოსახულების მიღება, რომელთა კვლევა და მონაცემთა დამუშავება საშუალებას იძლევა მივიღოთ ამომწურავი ინფორმაცია ინკლინომეტრიულ და კავერ-ნომეტრიულ მონაცემებზე, ქანების წოლის ელემენტებზე, ნაპრალიანობაზე და ა.შ. [3 4].

ჭაბურღილების დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ბურღვისას ჩატარებული სამუშაოები საშუალებას იძლევა განისაზღვროს ლულის ფაქტიური ტრაექტორ-

რია, სივრცითი მდებარეობა და გამრუდების პარამეტრები. მიღებული მონაცემების დამუშავებით დადგინდება ლულის ტრაექტორიის კოორდინატები, რომლის შემდეგ წარმოებს საბურღი იარაღის ქვედის სივრცითი ტრაექტორიის მართვა, რაც ხორციელდება დისტანციური მართვის შემსრულებელი მექანიზმების (გადამხრელი საშუალებების) გამოყენებით. სპეციალური სენსორები და გადამწოდები ზუსტად ადგენს ჭაბურღილის სიღრმეს ვერტიკალურად და სანგრევის მდებარეობას. მართავს და აკორექტირებს ბურღვაში მყოფი ჭაბურღილის ტრაექტორიას, არეგულირებს ჭაბურღილის ლულის გაყვანის სიზუსტეს, რათა ის განთავსდეს ფენის ყველაზე პროდუქტიულ ნაწილში. ყოველივე ეს კი საგრძნობლად ამადლებს ჭაბურღილების გაყვანის ეფექტურობას და ბურღვის ტექნიკურ მაჩვენებლებს.

ლიტერატურა

1. Калинин А.Г., Григорян Н.А., Султанов Б.З. Бурение наклонных скважин, М., Недра, 1990, 348 с.
2. Итенберг С.С., Дахкильгов Т.Д. Геофизические исследования в скважинах, М., Недра, 1982, 351 с.
3. Шамшев Ф.А. Технология и техника разведочного бурения, М., Недра, 1973, 496 с.
4. Хундадзе Н.Ш., Хитаршвили В.Э., Размадзе Т.Д. Технология применения телеметрических систем MWD и LWD при бурении искривленных и горизонтальных скважин. Труды Института геофизики, т.67,2017, с. 122-128

დახრილი ჭაბურღილების ბურღვა გამრუდების პარამეტრების განსაზღვრისა და გეოფიზიკური კვლევების გაუმჯობესებით

ხუნდაძე ნ., ხითარიშვილი ვ., რაზმაძე თ.

რეზიუმე

განხილულია დახრილ-მიმართული და ჰორიზონტალური ჭაბურღილების ბურღვის საკითხები, კერძოდ გამრუდების პარამეტრების განსაზღვრის სრულყოფა, ახალი ფორმულების მიღება, რომლებიც შეიძლება გამოყენებული იქნას ჭაბურღილების პროფილების დასაპროექტებლად. ასევე გეოფიზიკური კვლევები ჭაბურღილების ცალკეული ინტერვალების გეოლოგიური ჭრილების, ქანების ლითოლოგიური აგებულების და შედგენილობის შესასწავლად. სამუშაოს წარმოებისას ჭაბურღილის დახრის კუთხე და ზენიტური კუთხე განისაზღვრება ინკლინომეტრით, რაც საშუალებას იძლევა დადგინდეს და დაზუსტდეს გამრუდების დანარჩენი პარამეტრები და ლულის ტრაექტორია ბურღვის დროს. ჩატარებული სამუშაოების გათვალისწინებითა და სპეციალური სენსორების და გადამწოდების საშუალებით დგინდება, იმართება და კორექტირდება ბურღვაში მყოფი ჭაბურღილების ტრაექტორია, რათა ისინი განთავსდეს ფენის ყველაზე პროდუქტიულ ნაწილში. ყოველივე ეს საგრძნობლად ამადლებს ჭაბურღილის გაყვანის ეფექტურობას და ბურღვის ტექნიკურ მაჩვენებლებს.

Бурение наклонных скважин с улучшением определения параметров искривления и геофизических исследований

Хундадзе Н.Ш., Хитаршвили В.Э., Размадзе Т.Д.

Реферат

Рассмотрены вопросы бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин, в частности совершенствование определения и получения новых формул параметров искривления. Эти формулы можно применять для проведения проектирования профилей скважин. Проводятся геофизические исследования отдельных интервалов геологических разрезов для изучения литологического строения и состава горных пород. При проведении работ определяется также угол наклона и зенитный угол скважины с помощью инклинометра, что дает возможность установить остальные параметры искривления и траектории ствола при бурении. С учетом проведенных работ и применением специальных сенсоров и датчиков устанавливаются, управляются и корректируются траектории скважин в процессе бурения для того, чтобы они поместились в самой продуктивной части пласта. Все это значительно повышает эффективность проводки скважин и технические показатели бурения.

Drilling of inclined wells by defining curve parameters and improving geophysical surveys

Khundadze N., Khitarishvili V., Razmadze T.

Abstract

The work considers the issues of drilling of inclined and horizontal wells, in particular to the definition of curve parameters, new formulas that can be used to design wells profiles, also geophysical studies to study the geological sections of the individual intervals of the wells, the lithological structure and composition of the rocks. The bore fringe angle and zenith angle is determined by the inclinometer, which allows to determine and specify the rest of the curve and the barrel trajectory during drilling. Taking into account the works carried out by special sensors and transducers, it is managed and adjusted to the drilling wells so that they can be placed in the most productive part of the layer. All of which will significantly improve the efficiency of borehole and drilling techniques indicators.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ТИПА „СЛОИСТЫЙ КЛИН” В ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ ЗАДАЧАХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Одилавадзе Д.Т., Челидзе Т. Л., Глонти Н.Я., Кирия Д.К., Тархнишвили А.Г.

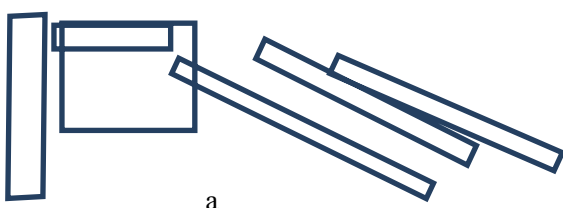
Институт геофизики им. М.З. Нодиа, Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили

В исследовании приповерхностных погребённых объектов особое значение имеет георадиолокационный метод (Gurel L., Sharma P.V, Czaja K, Neal A., Negi J. G./5,6,7,8,/), как позволяющий определить расположение объекта во вмещающей среде при неинвазивном подходе (Odilavadze D.T., Chelidze T.L., Sena D'Anna, Sharma P.V./9,11,13/), что особо важно в археологии и геотехнике. Однако определение габаритов и координат объекта в пространстве, а также распознавание объекта по радиообразу на радарограмме не всегда однозначно. Поэтому в георадиолокации применяют метод физического моделирования (Одилавадзе Д., Челидзе Т./9/) с использованием коэффициентов подобия электромагнитных полей (Bursian V.R./2/). Используя способ физического моделирования в «аналоговой» георадиолокации (Odilavadze D.T, Chelidze T.L., Tskhvediasvili G./10/) можно успешно решать некоторые проблемы определения радиообраза объекта и его пространственной ориентации в среде (Odilavadze D. Chelidze T./9/).

В наших исследованиях мы руководствовались следующей методикой: получив в результате полевых работ радиограмму с аномалией, пытаюсь подобрать решение прямой задачи электродинамики, дающей аналогичный радиообраз и далее, для большей уверенности, проводили физическое моделирование (Odilavadze D. Chelidze. Т./10/).

Исследование проводилось на моделирующей установке физического моделирования электромагнитных полей георадиолокационных частот (Odilavadze D.T, Chelidze T.L./9,10,11/) в лаборатории физического моделирования сектора прикладной и экспериментальной геофизики Института геофизики им. М.З. Нодиа. На фото показан рабочий момент создания слоистой модели клина, который имеет важное значение при интерпретации полевых данных в георадиолокации.

Используя результаты, полученные в работе авторов (Berdichevskiyi M.N., Odilavadze D., Chelidze T./1,10/), можно рассчитать геометрические характеристики для разных используемых частот георадара, что в пересчёте на модельные и натурные габариты и определит (оконтурит) радио образ исследуемого объекта. Также важно определение в радиообразе объекта (Neal A/7/). первично отражённых и преломлённых волн на радарограмме для разных длин дифрагированных волн относительно габаритов слоёв созданной модели клина. Важно отметить существование возможности дифференциации состава слоёв при разных частотах георадара. В данном случае исследовался радиообраз объекта при частотах 2 ГГц и 500 МГц.



а.



б.



с.

Рис. 1. Основные фрагменты модели слева направо и схема профилей снизу вверх (1.2...7).

Рис. 1. а, б, в. (а) Схема расположения фрагментов модели; (б) расположение профилей с нумерацией снизу вверх (1.2...7); (с) фото слоистой модели “клина”, сложенного из базальтовых плит разной толщины (0.06 м-0.03 м) и опирающегося по вертикали на бетонный блок (0.20x0.20x0.40 м.). Плиты расположены под углом 30 градусов и погребены в песочной среде.

При моделировании использовался Георадар „Зонд 12е” с двумя антеннами: 2 ГГц (7 профилей) и экранированной антенной 500 МГц (3 профиля), (Prizm 2.5, a software for Georadar Zond-12 E.) Профили длиной 2.4 м. проводились на лабораторном баке.

При интерпретации радиограмм (Prizm 2.5, a software for Georadar Zond-12 E) как в лабораторных, так и полевых условиях использовались два вида отображения профильных данных: плотностной и волновой., в котором, в кварцевом песке была погребена модель слоистого клина (Рис 1).

Ниже приводим определения плотностного и волнового отображении профилей согласно инструкции Prizm 2.5, (a software for Georadar Zond-12 E. 2011)/3/.

Плотностной профиль – это вид отображения профиля, при котором трассы расположены вертикально, вплотную друг к другу, и рисуются вертикальными линиями. Цвет в каждой точке линии зависит от амплитуды соответствующей выборки трассы согласно выбранной цветовой шкале. Волновой профиль – это вид отображения профиля. при котором трассы расположены вертикально на некотором расстоянии друг от друга. Прорисовка каждой трассы производится кривой линией, отклоняющейся от средней линии трассы влево и вправо в зависимости от значения выборки в каждой точке трассы. При этом положительные полуволны сигналов закрашиваются цветом, соответствующим максимальному положительному уровню выбранной цветовой шкалы(3/).

На Рис. 2 представлена радарограмма профиля 1, удалённого от модели клина.

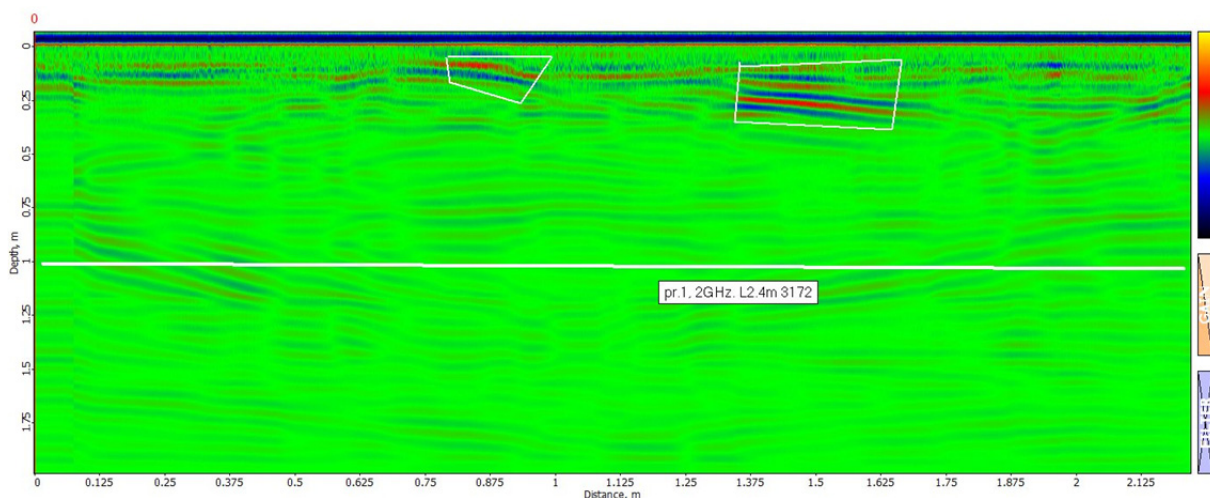


Рис. 2. Радарограмма профиля 1, удалённого от модели клина. Использовалась антенна 2 ГГц.

Горизонтальные размеры погребённой модели 0.7-0.9 м, максимальная высота -0.30 м. Общая длина профиля 2.4 м. Вид отображения профиля – плотностной (/3/).

На радарограмме проф.1 видны слабо проявленные фрагменты радиообраза слоистого клина.

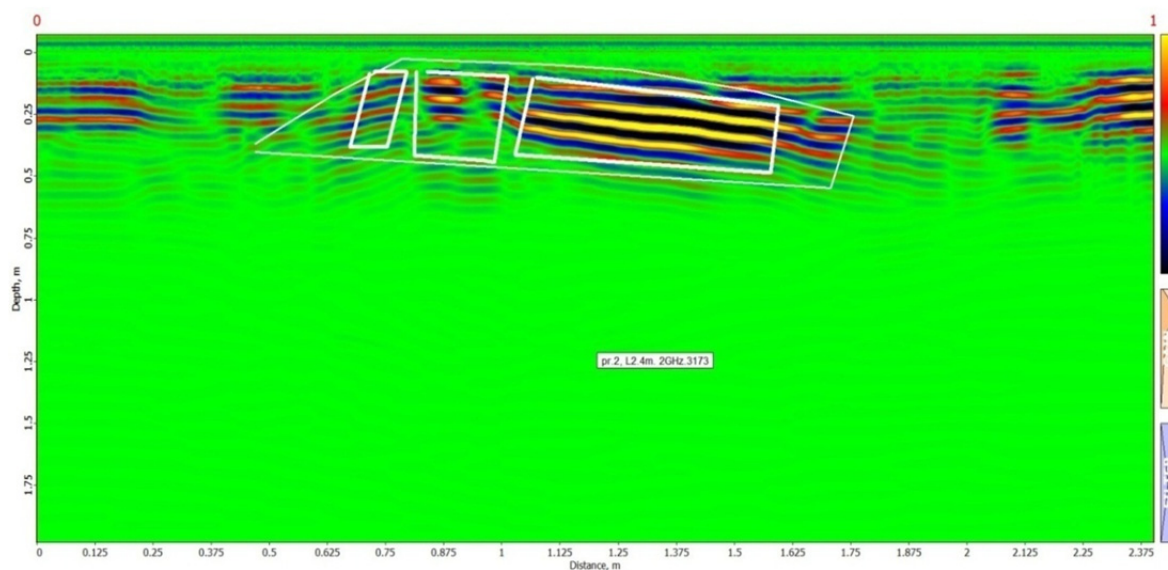


Рис. 3 а. На радарограмме профиля 2 ясно проявились части слоёв сложного слоя модели „клин”.

Вид представления профиля – плотностной. Вырисованные линии синфазности, оконтуренные белыми линиями соответствуют фрагментам, слоям и в целом построенной модели (слева направо вертикально расположенная плита 0.9x0.26 м, толщиной 0,06 м., блок – 0.2x0.2x0.4 м, базальтовые плиты разной толщины и габаритов толщиной 0,025-0.06 м. с лева на право)

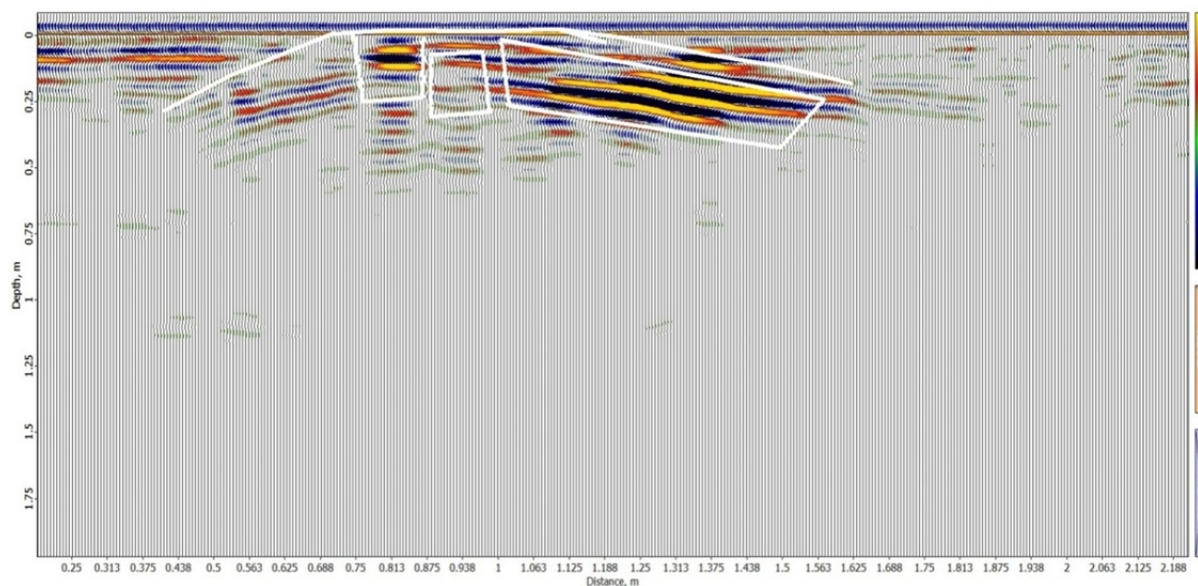


Рис. 3 б. На радарограмме профиля 2 в волновом представлении, проявились те части слоёв сложной слоистой модели „клин”, которые характеризуются высокой отражательной способностью.

Представленные на рис. 3а и 3б радиообразы отличаются по своей выразительности и дополняют друг друга в отображении частей реального объекта.

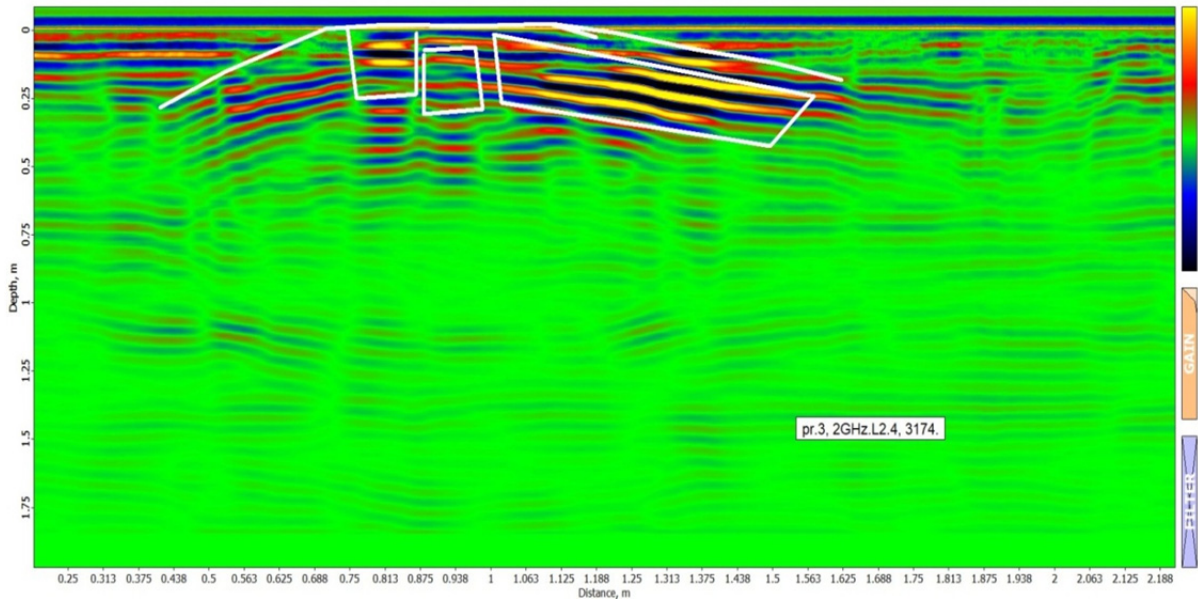


Рис. 4 а. Радарограмма профиля 3 ,наиболее близкая к основной части модели. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что в Рис 1. Вид отображения профиля –плотностной .

В представленном на рис.4 плотностном профиле слабо проявились оси синфазности, соответствующие блочному основанию, на которую опирается наклонная слоистая часть „клина“, что вызвано экранирующим действием перекрывающих блок слоями базальтовых плит.

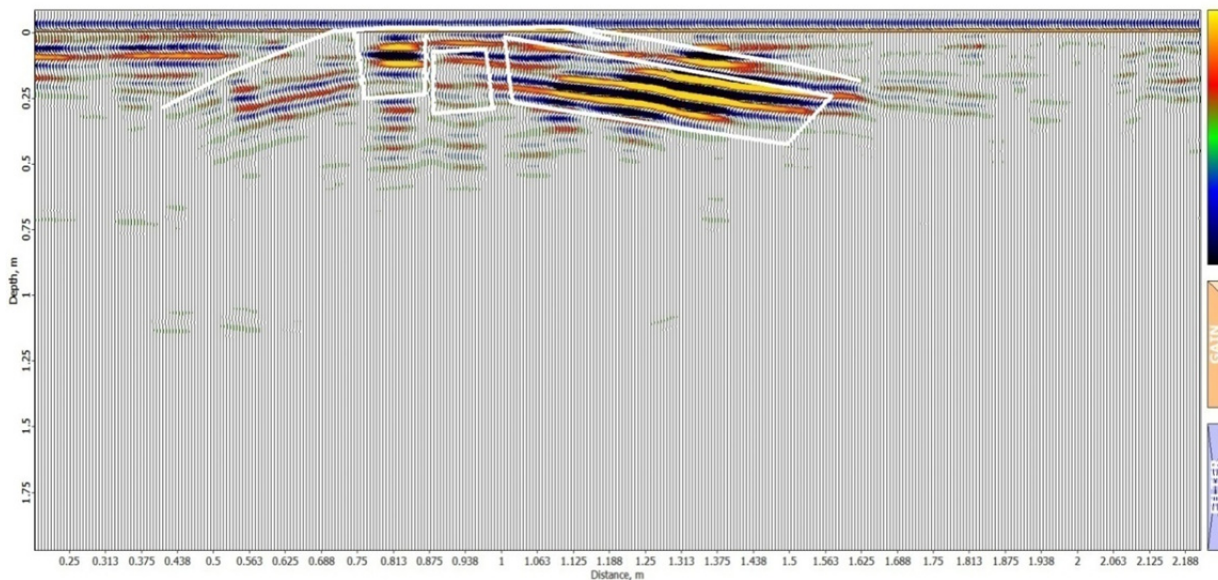


Рис 4 б. В представленном волновом профиле чётко проявились отражающие поверхности слоёв базальтовых плит . Проявились образы перекрытия плиты над блочным основанием, на которую опирается наклонная слоистая часть „клина“.

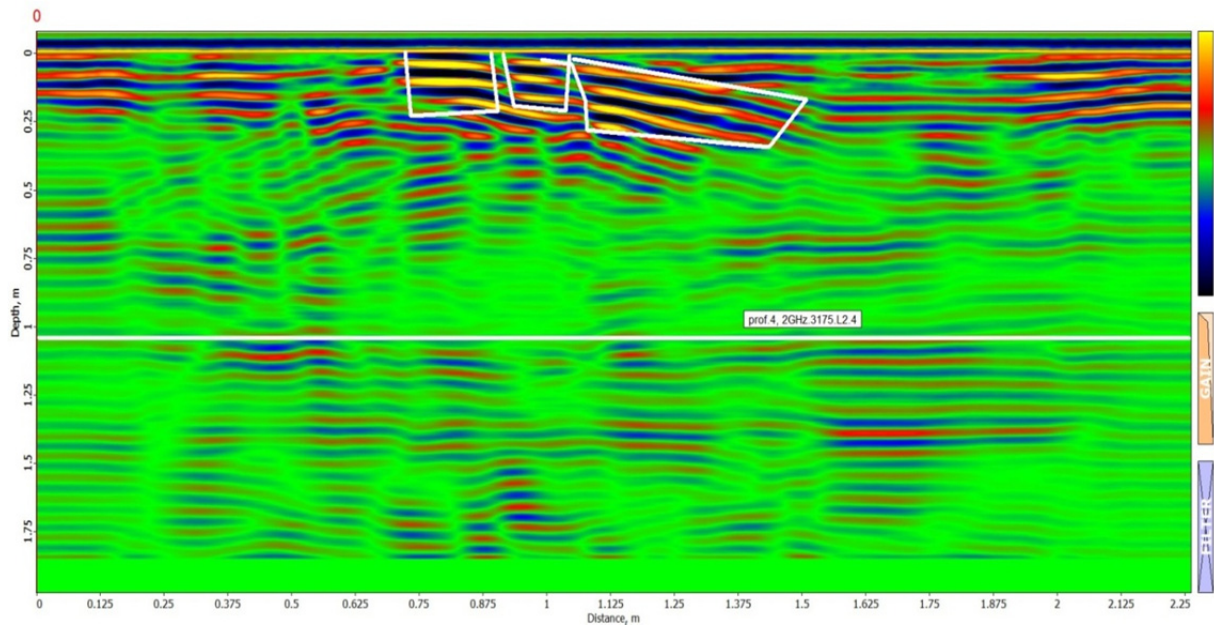


Рис. 5 а. Радарограмма центрального профиля 4, проходящая непосредственно над основной частью модели. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на рис 1. Вид отображения профиля –плотностной.

На плотностном профиле 5 хорошо отображены (окопированы белой линией) основные части слоистой модели клиновидной структуры .

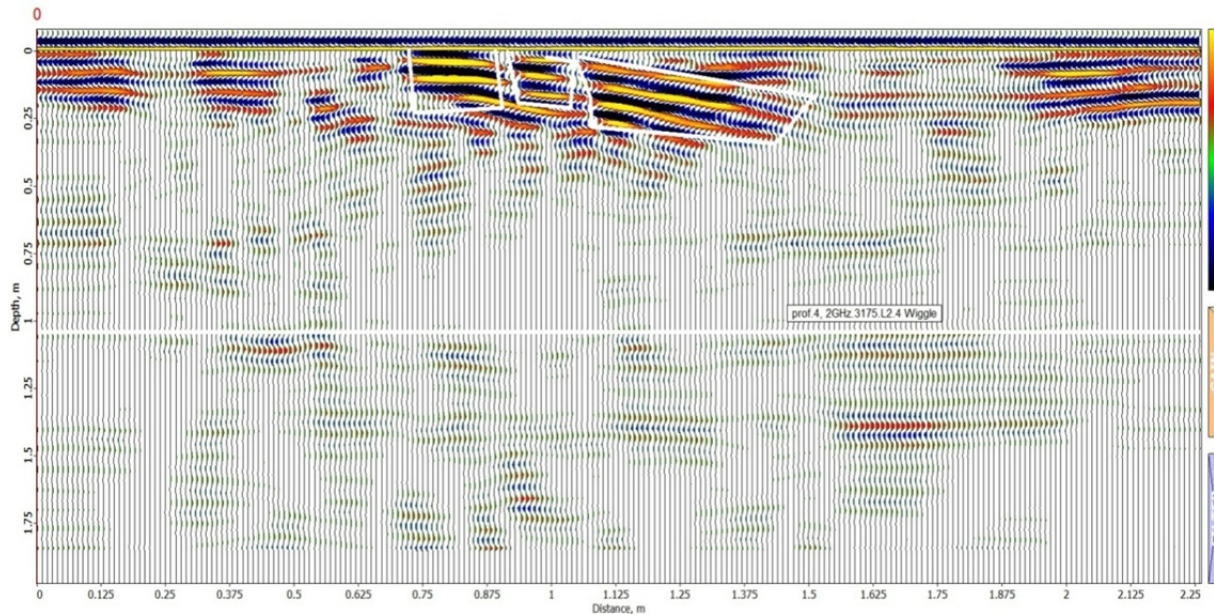


Рис.5 б. Радарограмма центрального профиля 4 ,проходящая над основной частью модели. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –волновой.

На Рис. 5, более чётко, чем на Рис. 5а, представлены оси синфазности, различающие образ перекрытой плиты над блоком и сам блок, более длинные линии синфазности по сравнению с плитой перекрытия.

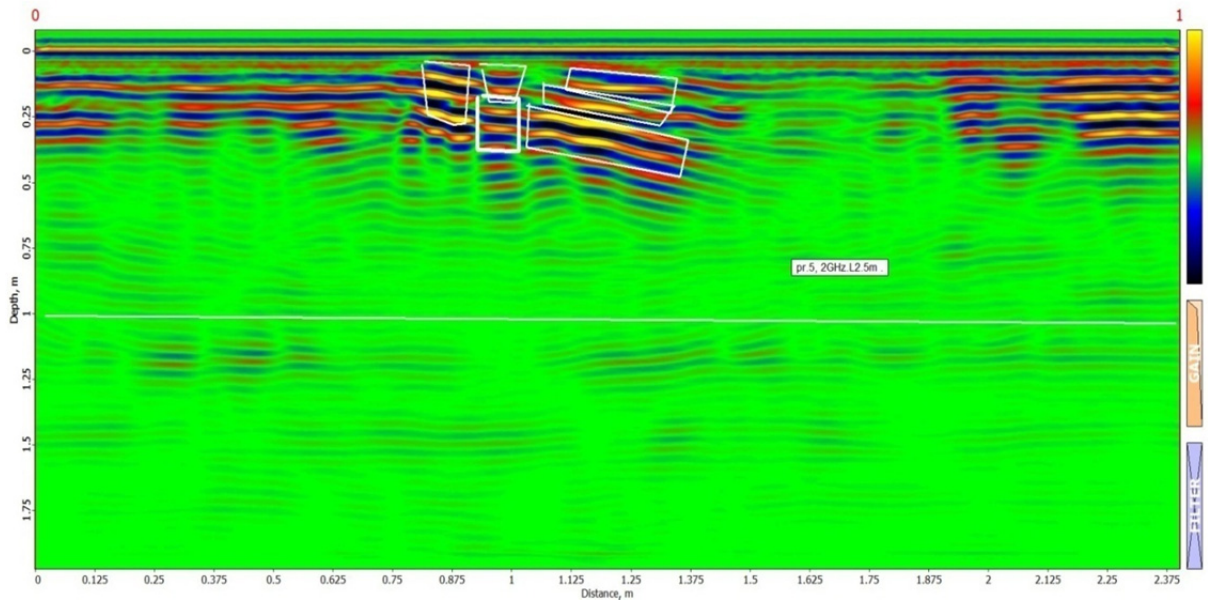


Рис. 6 а. Радарограмма профиля 5, проходящего вблизи центра над моделью. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –плотностной.

На Рис. 6 хорошо проявились все составные части радиообраза слоистой модели клина.

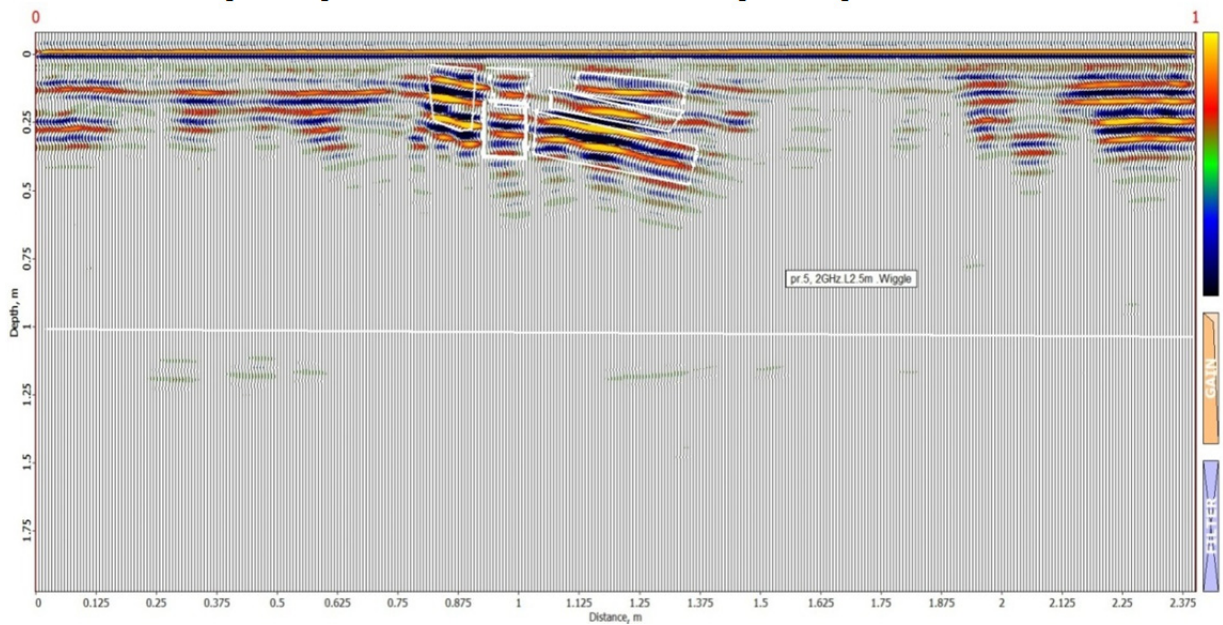


Рис. 6 б. Радарограмма профиля 5, проходящего вблизи центра над моделью. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –волновой.

На Рис. 6 хорошо проявились и выделились все составные части радиообраза слоистой модели клина.

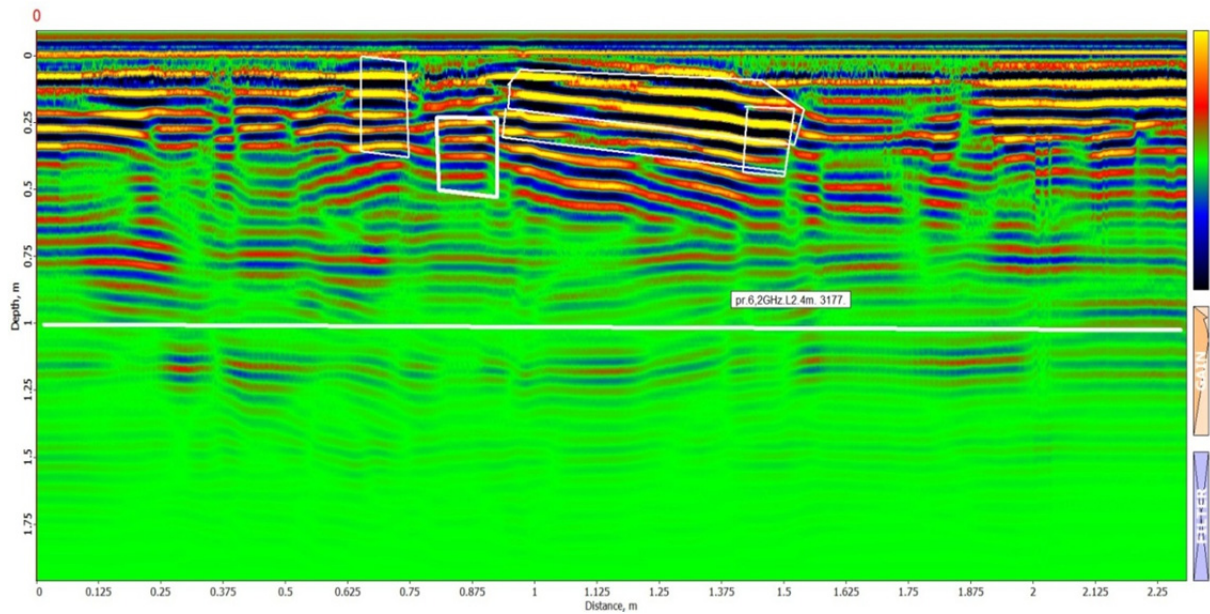


Рис. 7 а. Радарограмма профиля 6. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –плотностной.

На Рис. 7 а проявились и радиообраз погребённого блока и перекрывшие его части базальтовой плиты.

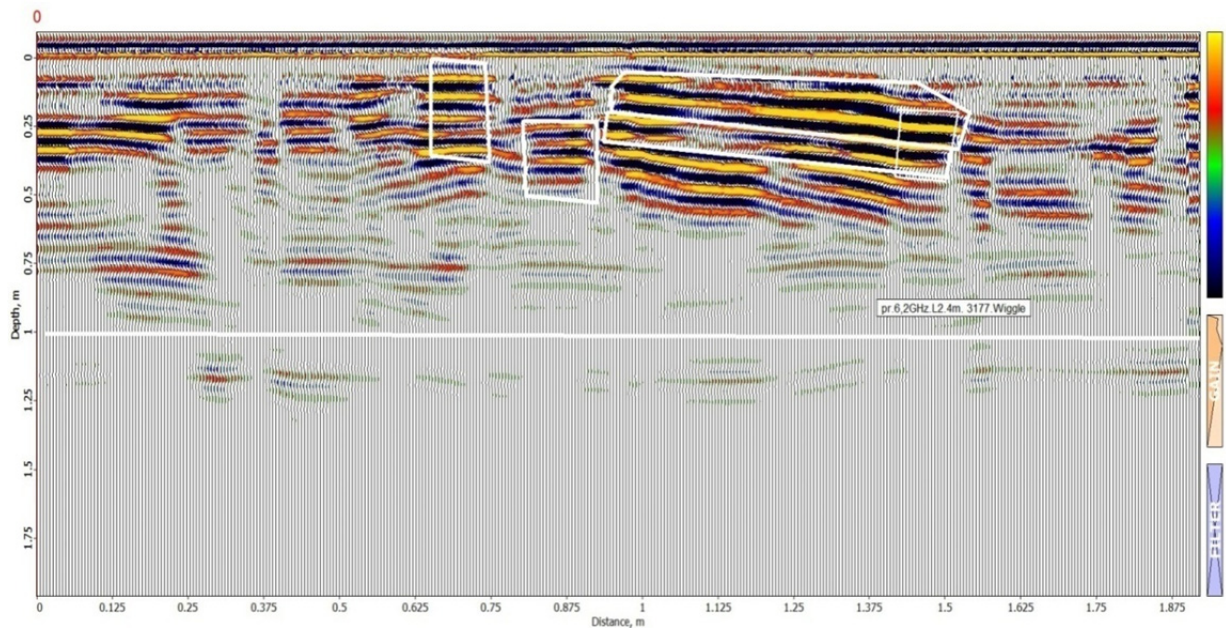


Рис.7 б. Радарограмма профиля 6,. Использовалась антенна 2 ГГц., размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –волновой.

На Рис. 7 б наблюдается лучшее соответствие осей синфазности реальному расположению модели, чем на Рис. 7 а.

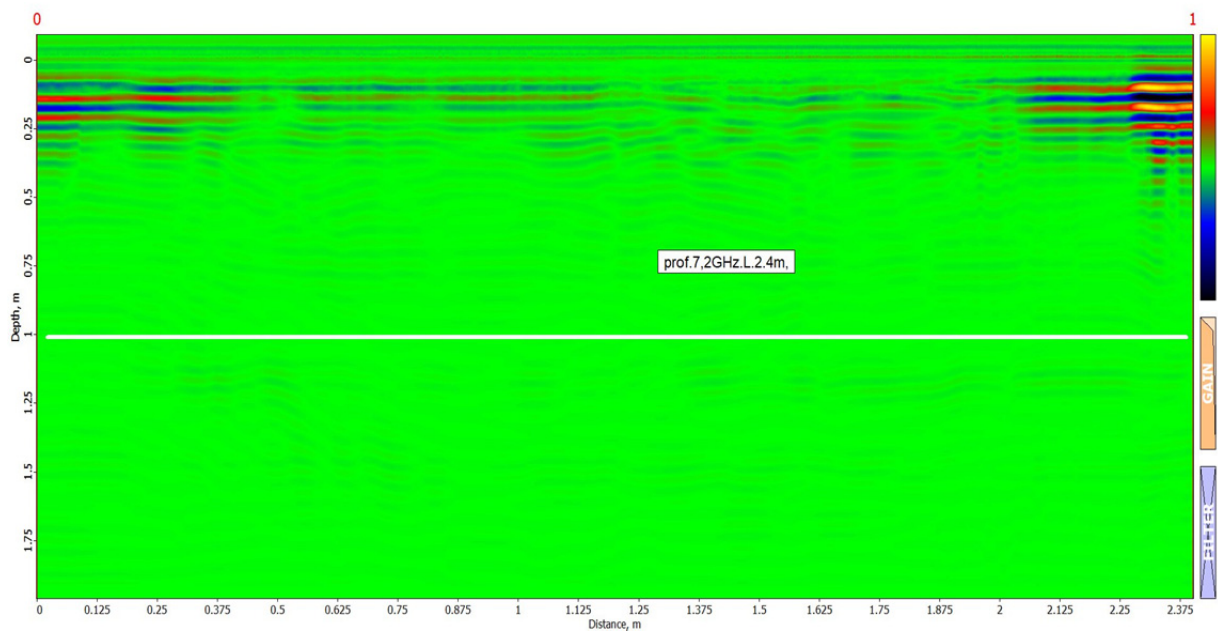


Рис. 8 а. Радарограмма профиля 7, наиболее удалённая от модели. Использовалась антенна 2 ГГц. размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –плотностной.

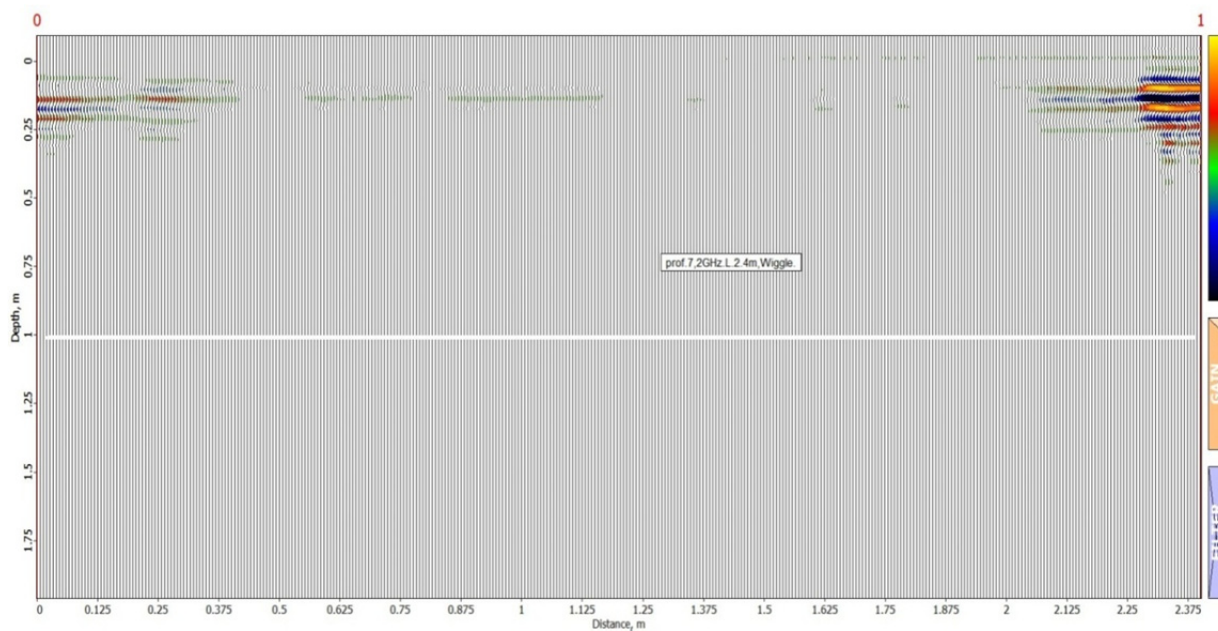


Рис. 8 б. Радарограмма профиля 7, наиболее удалённая от модели. Использовалась антенна 2ГГц. , размеры погребённой модели и длина профиля те же, что на Рис 1. Вид отображения профиля –волновой.

На радарограммах (Рис. 8 а, б) фактически невозможно выявить наличие модели. Далее приводим профили, проведённые экранированной антенной 500 МГц с той же моделью слоистого клина.

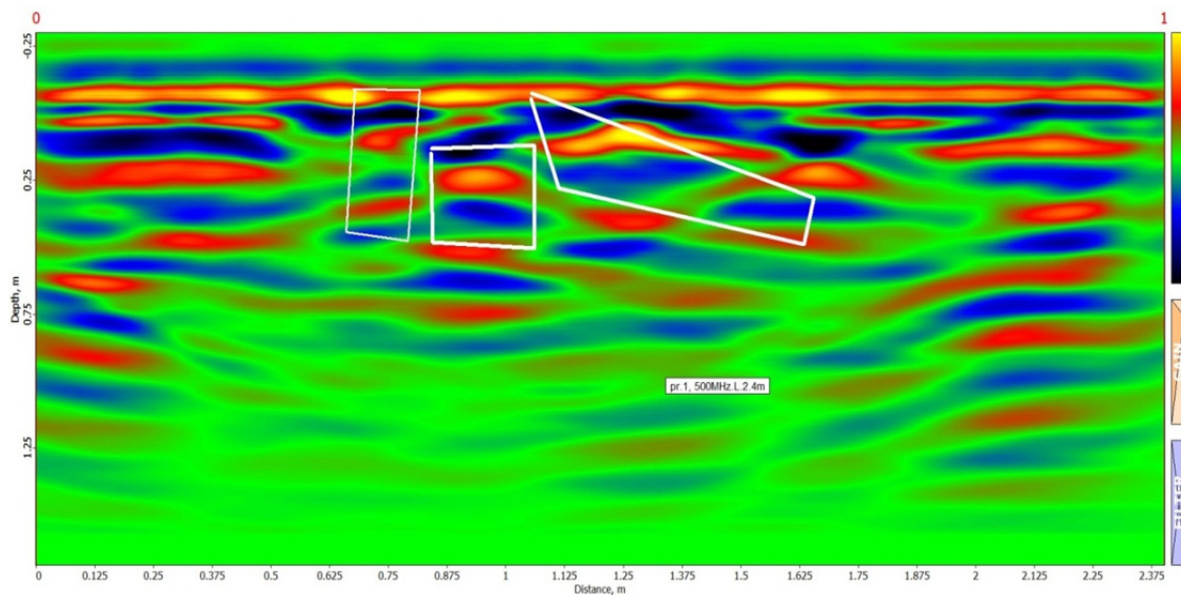


Рис. 9 а. Радарограмма профиля 1б, проведённого с экранированной антенной 500 МГц. На профиле 1б, проведённом с экранированной антенной 500 МГц, проявилась блочная часть модели на глубине 0.12 м и оконтуренная белой линией на дистанции 0.875-1.0 м. Слабо проявились плиты, белыми линиями указаны места их нахождения.

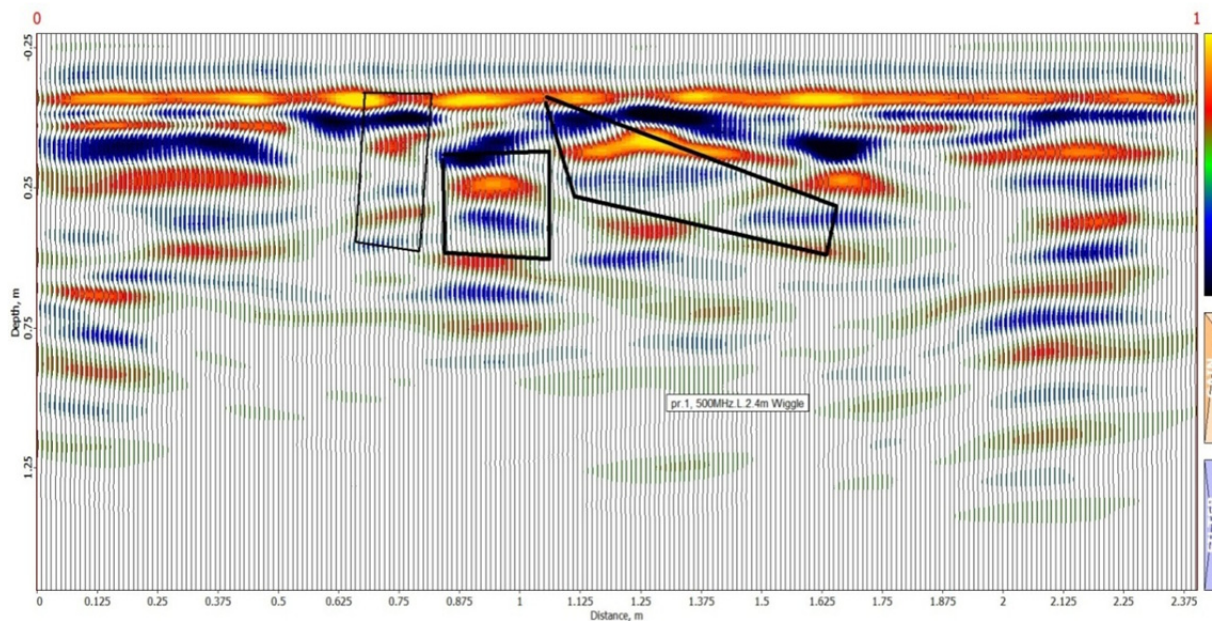


Рис.9 б. Радарограмма профиля 1б, проведённого с экранированной антенной 500 МГц. На волновом представлении профиля оконтурены места нахождения фрагментов модели, хорошо фрагментировано проявилась лишь блочная часть модели. Объект не вошёл полностью в зону действия антенны.

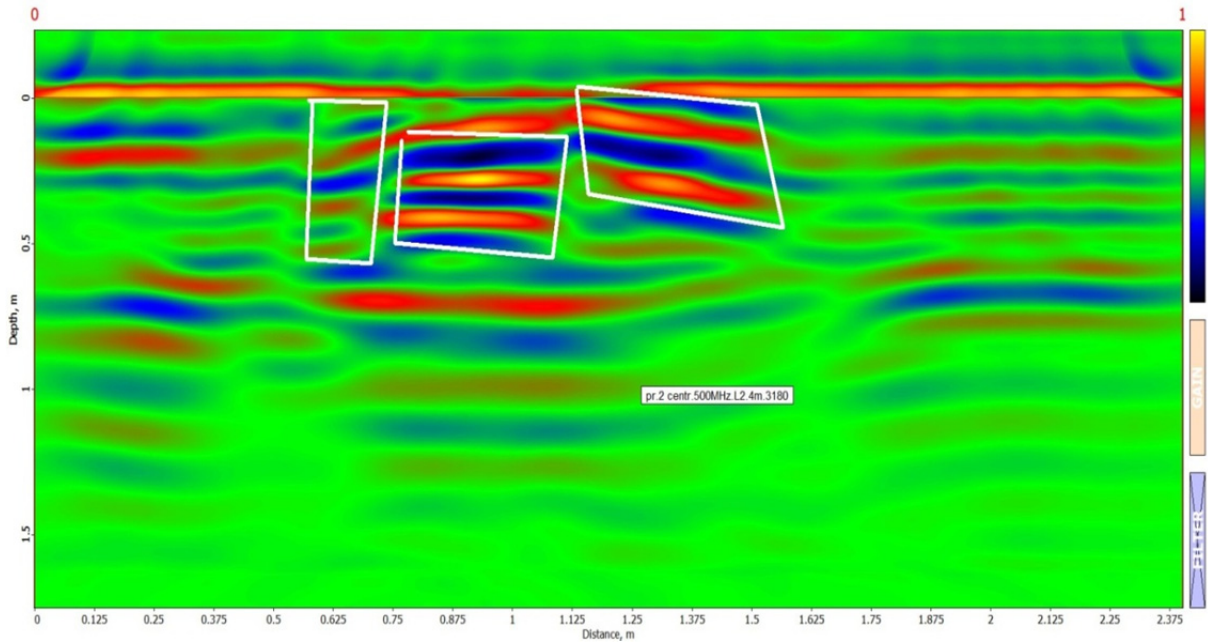


Рис. 10 а. Радарограмма центрального профиля 2, проведённого с экранированной антенной 500 МГц. На центральном профиле 2 проявились части фрагментов модели, однако вертикально расположенная плита толщиной 0.06 м слабо проявилась. Хорошо оконтурены блочная часть и наклонная, слоистая часть модели (Слева направо).

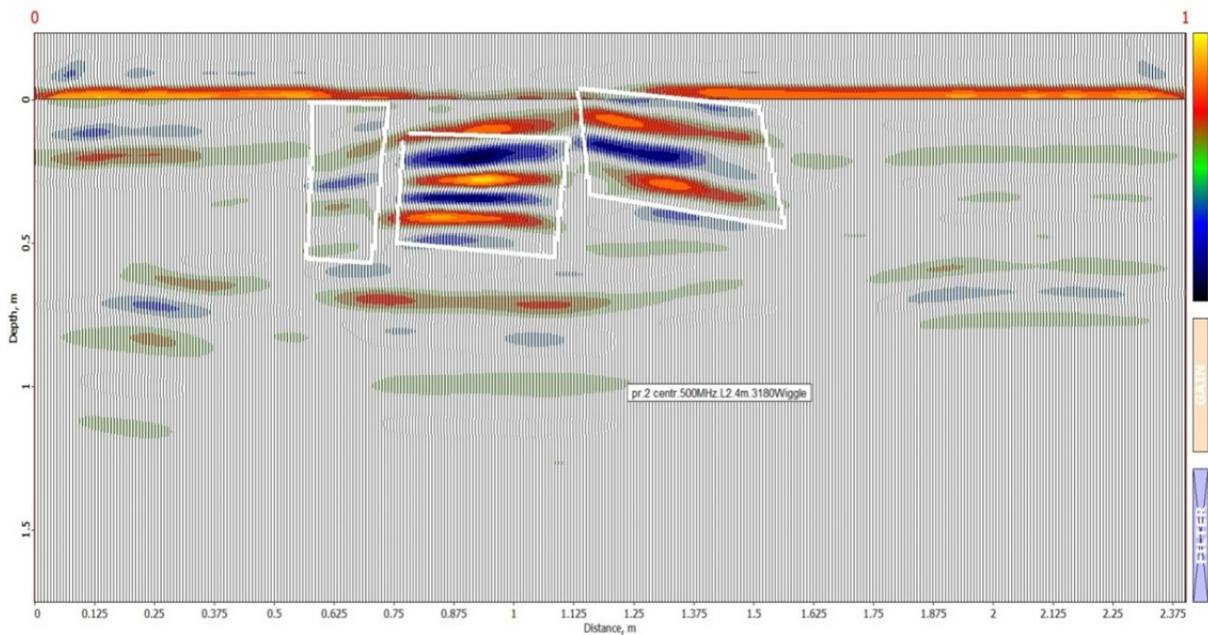


Рис. 10 б. Радарограмма центрального профиля 2, проведённого с экранированной антенной 500 МГц. На волновом представлении профиля 2 хорошо проявились блочная часть с перекрытыми косо расположенными малыми плитами, так же хорошо проявились косорасположенные слои плит с правой стороны радиообраза модели.

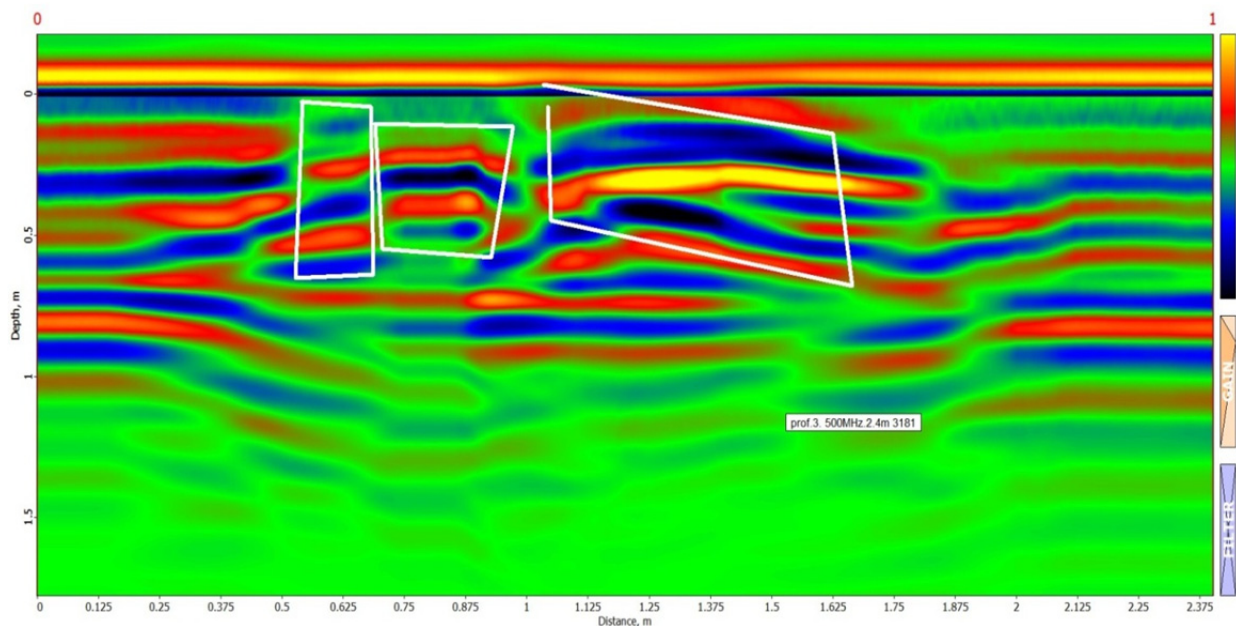


Рис. 11 а. Радарограмма профиля 3, проведённого с экранированной антенной 500 МГц. Проявились части фрагментов модели, однако вертикально расположенная плита толщиной 0.06 м незаметна. Проявилась хорошо оконтуренная блочная часть и наклонная, слоистая часть модели, (Слева направо).

Составные части модели, кроме вертикальной плиты, хорошо оконтуривались как по латеральному, так и по вертикальному направлению.

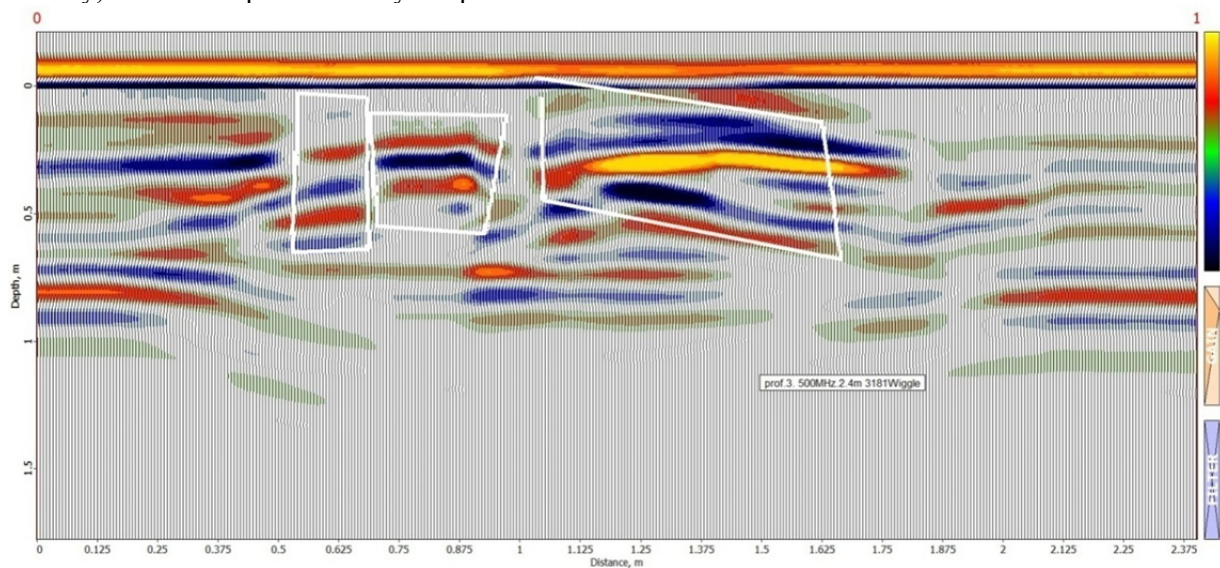


Рис. 11 б. Радарограмма профиля 3, проведённого с экранированной антенной 500 МГц. Видны радиообразы основных составных частей модели.

По приведённым выше данным исследования клиновидной слоистой модели, можно изучить и интерпретировать полевые данные особенностей аномальных объектов георадиолокационных профилей в соответствии с нижеприведённым методом подобия при физическом моделировании электромагнитных полей.

Теоретической основой физического моделирования электродинамических процессов является теория подобия (Bursian V.R., Caniard L., Berdichevskiyi M.N., Moroz I.P., Kobzova V.M., Bilinskiyi A.I., Odilavadze D.T., Chelidze T.L., Sena D'Anna, A. R. /1,2,10,12), основанная на изоморфизме реальности уравнений. Предпосылкой для изучения образа конкретного объекта является геометрическое сходство реальной структуры и его модели, а также выполнение закона подобия различных электромагнитных полей (Bursian V.R., Odilavadze D.T., Chelidze T.L., Berdichevskiyi M.N., Moroz I.P./1,2,10,). Таким образом, мы вводим критерии подобия для числовых коэффициентов подобия (Odilavadze D.T., Chelidze T.L./9,10,11/) согласно принципам подобия частотных полей георадиолокации, которые могут быть использованы при физическом моделировании:

$$\phi_v^2 \cdot \varepsilon_v \cdot \lambda_v^2 = \phi_\mu^2 \cdot \varepsilon_\mu \cdot \lambda_\mu^2 \quad (1)$$

где ϕ_v - центральная частота георадарных импульсных электромагнитных волн, используемых при полевых измерениях, λ_v - характерный геометрический размер реального объекта (т.е. погребенного объекта георадиолокации в полевых условиях), ε_v - относительная диэлектрическая проницаемость вмещающей среды, измеренная в полевых условиях, ϕ_μ - частота моделирования, т.е. центральная частота георадарных импульсных электромагнитных волн, используемых для моделирования, λ_μ - характеристический геометрический размер (напр. 1 м.) моделирующего объекта георадиолокации, размещенного в моделирующей среде, ε_μ - диэлектрическая проницаемость моделирующей вмещающей среды.

Допустим что $\varepsilon_\mu = \varepsilon_v$, что вполне приемлемо для большинства случаев моделирования геологических сред. Тогда для (1) получаем упрощение:

$$\phi_v^2 \cdot \lambda_v^2 = \phi_\mu^2 \cdot \lambda_\mu^2 \quad (2)$$

или

$$\phi_v \lambda_v = \phi_\mu \lambda_\mu \quad (3)$$

В этом случае для коэффициентов подобия получим:

$$K_\phi = \frac{\phi_\mu}{\phi_v}, \frac{1}{K_\lambda} = \frac{\lambda_v}{\lambda_\mu} \quad (4)$$

Переведем результаты наших модельных экспериментов в полевые масштабы. Центральной частоте $\phi_\mu = 2$ ГГц, которая использовалась при моделировании, мы сопоставляем центральную частоту антенны $\phi_v = 38$ МГц в полевой ситуации. В этом случае мы получаем коэффициент подобия $K_\phi = 52,63$, который равен $\frac{1}{K_\lambda}$. Для моделирования полевого объекта, соответствующего модельной длине 1 м, получаем $\lambda_v = \lambda_\mu \cdot \frac{1}{K_\lambda} = 1 \text{ м} \cdot 52,63 = 52,63 \text{ м}$, т.е. 0.37 м. длины модели соответствует $0.37 \cdot 52.63 \text{ м} = 19.47 \text{ м}$. натурная длина объекта.

Если $\varepsilon_\mu \neq \varepsilon_v$

$$\text{то } K_\phi^2 \cdot K_\lambda^2 \cdot K_\varepsilon = 1, K_\varepsilon = \frac{\varepsilon_\mu}{\varepsilon_v}, \quad (5)$$

и получим для размера полевого объекта, эквивалентного модельному размеру 1 м. величину

$$\lambda_v = \frac{1}{K_\lambda} \cdot \lambda_\mu = K_\phi \cdot \sqrt{K_\varepsilon} \cdot \lambda_\mu \quad (6)$$

Приводим таблицу рассчитанных характеристических длин полевого объекта λ_v , эквивалентного модельному объекту размером 1 м с соответствующими коэффициентами подобия для нескольких частот по вышеприведенному методу:

Таб. 1.

ϕ_{ν} МГц	ϕ_{μ} МГц	K_{ϕ}	$\lambda_{\nu} = \lambda_{\mu} \cdot \frac{1}{K_{\lambda}} = 1\text{м} \cdot K_{\phi}$
500	2000	4	4
300	2000	6.67	6.67
100	2000	20	20
500	500	1	1
300	500	1.67	1.67
100	500	5	5

Для объекта длиной 0.7м, что соответствует горизонтальному размеру модели слоистого клина получим по полевым частотам:

Таб. 2.

Длина модельного объекта...м.	λ_{ν} м.	ϕ_{ν} МГц	Длина полевого объекта в пересчёте из модельного
	При ϕ_{μ} МГц=2000МГц.		
0.7	4	500	0.7x4=2.8м
0.7	6.67	300	0.7x6.67=4.67м
0.7	20	100	0.7x20=14м
	λ_{ν} м.		
	При ϕ_{μ} МГц=500МГц.		
0.7	1	500	0.7x1=0.7м
0.7	1.67	300	0.7x1.67=1.17м
0.7	5	100	0.7x5=3.5м

Соответственно можно будет по модельным размерам оценивать габариты ожидаемых полевых объектов.

Приведём пример из археорадиолокации. Нами были проведены георадарные профили на территории, прилегающей к Собору „Успения Божьей Матери,“, расположенному в пос. Хоби (Западная Грузия).

На Рис. 12 приводится георадарный профиль, полученный до начала археологических раскопок, а на Рис.13 – фотография археологического объекта после раскопок.

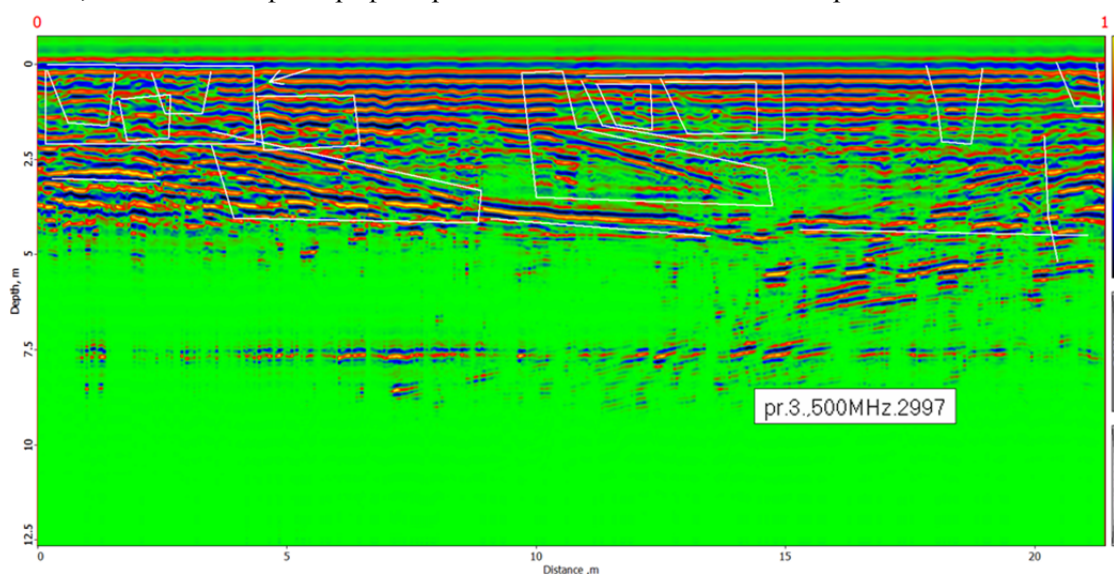


Рис. 12. Радарограмма профиля длиной 22 м получена георадаром „Зонд 12-е,“ с экранированной антенной, частотой 500 МГц (программное обеспечение „Призм 2.5,“).



Рис. 13. Фотография археологического объекта после раскопок, очерченные клиновидные объекты, указанные стрелкой, соответствуют наклонным ступенькам лестниц. Пунктиром указано местоположение профиля.

На фото отчётливо видны архитектурные элементы структуры: лестницы с частично стёртыми ступеньками, которым на профиле (Рис. 12) соответствуют очерченные клиновидные объекты, указанные стрелкой.

Соответствие по параметрам объекта расположения по глубине и латеральному направлению-4м, абсолютно точны соответствующим модельным ориентировочным параметрам, исследованным способом георадиолокационного физического моделирования до проведения полевых георадиолокационных работ, выявившим радиообраз малой архитектурной формы (лестницы со ступеньками).

В соответствии с проектом гранта НАТО „Енгури – безопасность” были проведены геологические и геофизические исследования с целью определения опасности геодинамических процессов в ареале водохранилища Енгури ГЭС. Геофизические работы были проведены методом георадиолокации.

На приведённом объекте показаны некоторые результаты георадиолокационных исследований по трём частотам приёмно – передающих антенн георадара Зонд12 е (Рис. 14-16). Были использованы экранированные антенны 100, 150, и 300 МГц по трём профилям и поперёк шоссе.

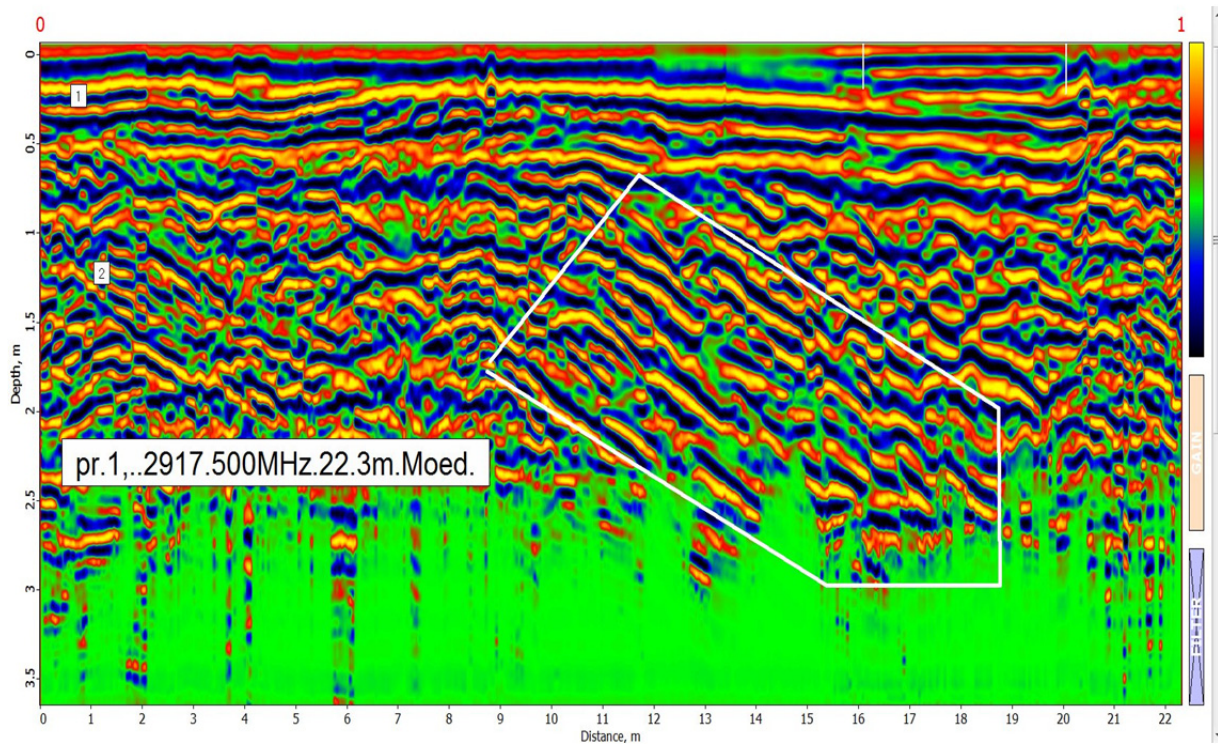


Рис.14. Радарограмма профиля длиной 22.3м. Получена экранированной антенной 500 МГц. Очерченная область соответствует слоистой клиновидной геологической структуре.

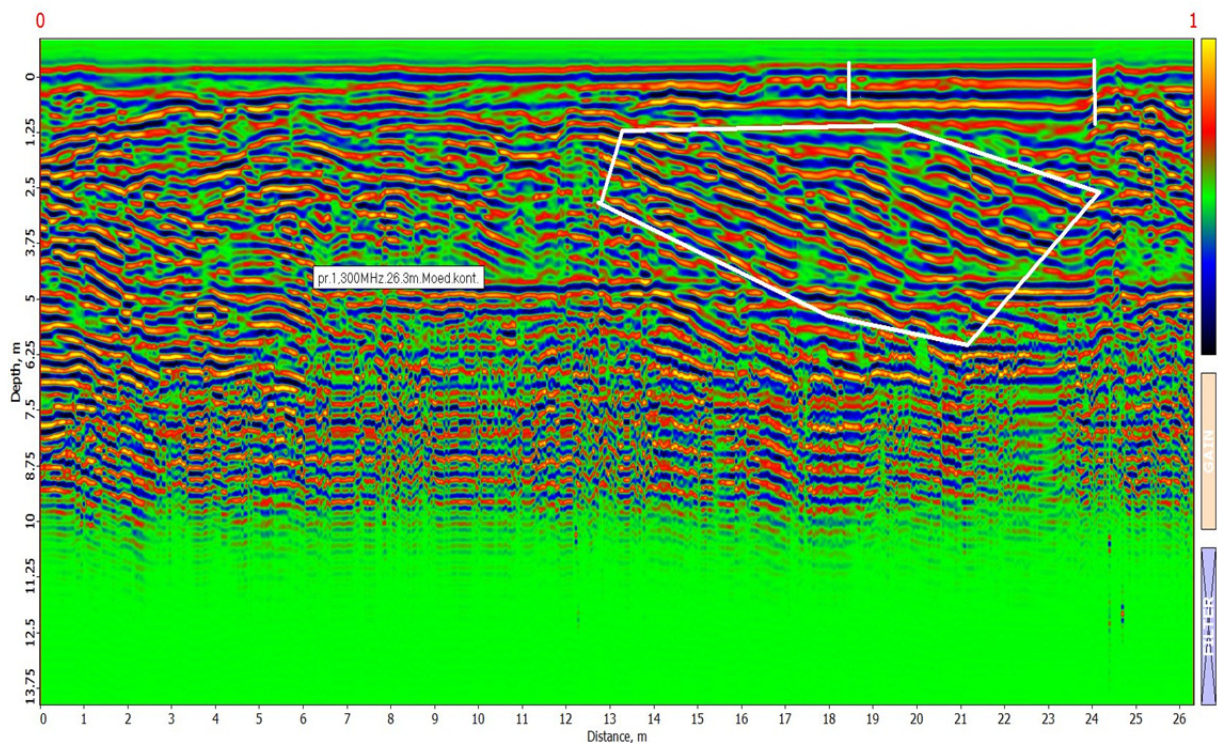


Рис.15. Радарограмма профиля длиной 26.3м. Получена экранированной антенной 300 МГц. Очерченная область соответствует слоистой клиновидной геологической структуре.

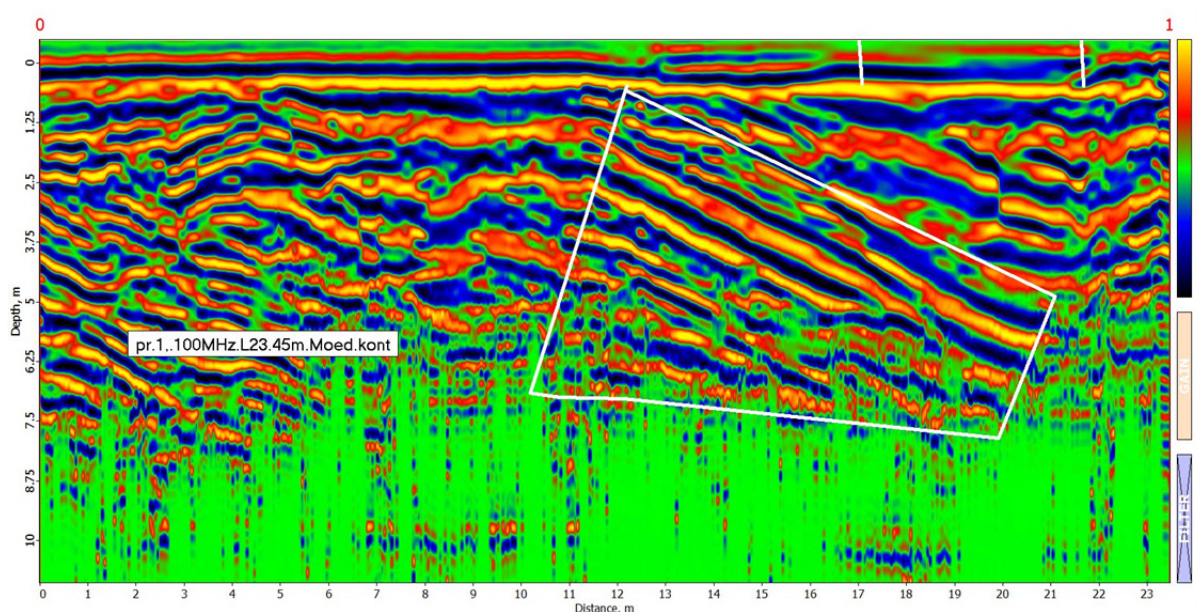


Рис.16. Радарограмма профиля длиной 23.45м. получена экранированной антенной 100 МГц. Очерченная область соответствует слоистой клиновидной геологической структуре.

На всех трёх частотах (500, 300, 100 МГц), на поперечных к автомобильной дороге георадарных разрезах, выявлены наклонно расположенные (30 градусов относительно горизонта) клиновидные слоистые пласты с большей неоднородностью, чем предлагаемая модель. Средняя длина радио образов по горизонтальному направлению 7-10-12 м (в основном) для всех использованных частот ; хорошо проявились структурные особенности подобные слоистому клину структуры.

Снизу под клином залегает горизонтально – слоистая основная порода (Рис. 15).

Приведённые полевые профили для всех трёх частот показывают хорошее общее подобие радиообразов с модельным клиновидным объектом (Рис. 1.), вследствие чего можно смело утверждать, что радиообраз очерченного полевого объекта соответствует отдельному геологическому объекту в форме клина.

Однако, частотные проявления слоистого отличия форм клина (радиообраз) указывают на ещё большую слоистую дифференциацию, чем предлагаемая модель. В дальнейшем в соответствии с поставленной задачей, потребуется более сложное по толще, построение модели для исследования составных слоистых клиновидных объектов.

Заключение:

1. Метод физического моделирования с использованием способа подобию георадиолокационных полей в прямой и обратной задачах электродинамики позволяет качественно и количественно решать задачи распознавания радиообразов в полевой георадиолокации.
2. Методом физического моделирования с использованием способа сравнительного подобию георадиолокационных полей был исследован радиообраз слоистой клиновидной сложной структуры и выявлен её радиообраз, что существенно прояснил интерпретацию полевых исследований подобных объектов.

Литература

1. Berdichevskiyi M.N., Moroz I.P., Kobzova V. M., Bilinskiyi A.I., Physical modeling in Geoelectrics. Kiev. Naukova Dumka, 1987. p. 140 (in Russian).
2. Bursian V.R. The theory of electromagnetic fields used in electrical prospecting. Leningrad, Nedra, 1972, (in Russian).
3. Prizm 2.5, a software for Georadar Zond-12 E. 2011(in Russian).
4. Caniard L. Basic theory of the magneto-telluric method of geophysical prospecting. Geophysics. 18, 605-635, 1953.
5. Czaja K. Application of modeling of electromagnetic field and GPR measurements in investigations of antique tenement. Geophys. Res. Abstr. 2012.
6. Gurel L., Oğuz U. Three-Dimensional electromagnetic modeling of various GPR problems. Geophys. Res. Abstr. 2012. 14.
7. Neal A. Ground-penetrating radar and its use in sedimentology: principles, problems and progress. Earth-Sci. Rev. 2004. 66, 261—330.
8. Negi J. G., Gupta C. P. Models in applied geoelectromagnetics. Earth Sci. Rev. 1968. 4. P. 219-241.
9. Odilavadze D.T., Chelidze T.L.. Физическое моделирование георадиолокационного поля в прямой и обратной задачах электродинамики. Geophysical Journal (Ukraine), V.35, №4, 2013 (in Russian).
10. Odilavadze D.T, Chelidze . Tskhvediasvili G. Georadiolocation physical modeling for disk-shaped voids. JOURNAL OF THE GEORGIAN GEOPHYSICAL SOCIETY G. Physics of Solid. ISSN 1512-1127.vol 18A , 2015.pp27-40.
11. Odilavadze D. Chelidze T. Physical modeling of lava tubes in the GPR. MIKHEIL NODIA INSTITUTE OF GEOPHISICS TRANSACTIONS 2017, 1 (1), 128-141
12. Sena D'Anna, A. R. Modeling and imaging of ground penetrating radar data. The University of Texas at Austin, 2004. 251 p. (repositories. Lib.Utexas. edu).
13. Sharma P.V. Environmental and engineering geophysics. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.

გეორადიოლოკაციის პირდაპირ და შებრუნებულ ამოცანებში „ფენობრივი სოლის“ ტიპის მოდელის ფიზიკური მოდელირება

ოდელავაძე დ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ., ქირია ჯ., თარხნიშვილი ა.

რეზიუმე

ახლო ზედაპირული დაფრული განთავსების ობიექტების შესწავლისას, გეორადიოლოკაციური მეთოდი განსაკუთრებულ მნიშვნელობას დეზულობს, რადგან ის საშუალებას იძლევა, განსაზღვროს გარემოში ობიექტი არაინვაზიური მიდგომით, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია არქეოლოგიასა და გეოტექნიკებში. თუმცა, სივრცეში ობიექტის განზომილებისა და კოორდინატების განსაზღვრა, ისევე როგორც რადაროგრამაზე ობიექტის რადიო სახის განსაზღვრა ყოველთვის არ არის ცალსახა. აქედან გამომდინარე, ფიზიკური მოდელირების მეთოდი (დ. ოდელავაძე თ. ჭელიძე), რომელიც იყენებს ელექტრომაგნიტური ველების მსგავსობის კოეფიციენტებს, გამოიყენება გეორადიოლოკაციაში.

1. ელექტრომაგნიტური ტალღების ფიზიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება პირდაპირი და შებრუნებული ამოცანების ამოხსნისას გეორადიოლოკაციაში საშუალებას იძლევა რადიოსახის დადგენით განისაზღვროს სამიზნე ობიექტის გვარობა და განთავსება სავსე გეორადიოლოკაციაში.

- შესრულდა მრავალფენიანი სოლური ტიპის სტრუქტურის რადიო სახის გამოსახულების გამოკვლევა შედარებითი ფიზიკური მოდელირების მეთოდის საშუალებით, რაც მნიშვნელოვნად ამაღლებს ასეთი ობიექტების სავსე ინტერპრეტაციის ხარისხის დონეს.

Физическое моделирование модели типа „слоистый клин” в прямых и обратных задачах георадиолокации

Одилавадзе Д.Т , Челидзе Т. Л., Глонти Н.Я., Кирия Д.К., Тархнишвили А.Г.

Реферат

В исследовании приповерхностных погребённых объектов особое значение имеет георадиолокационный метод, как позволяющий определить расположение объекта во вмещающей среде при не-инвазивном подходе, что особо важно в археологии и геотехнике. Однако определение габаритов и координат объекта в пространстве, а также распознавание объекта по радиообразу на радарограмме не всегда однозначно. Поэтому в георадиолокации применяют метод физического моделирования (Д.Одилавадзе Т.Челидзе,) с использованием коэффициентов подобия электромагнитных полей.

1. Метод физического моделирования с использованием способа подобия георадиолокационных полей в прямой и обратной задачах электродинамики позволяет качественно и количественно решать задачи распознавания радио образов в полевой георадиолокации.
2. Методом физического моделирования с использованием способа сравнительного подобия георадиолокационных полей был исследован радио образ слоистой клиновидной сложной структуры и выявлен её радио образ, что существенно прояснил интерпретацию полевых исследований подобных объектов

Physical modeling of the type "layer wedge" model in direct and reverse problems of georadiolocation

Odilavadze D., Chelidze T., Ghlonti N., Kiria J., Tarkhnishvili A.

Abstract

In the study of near-surface buried objects, the georadar tracking method is of particular importance, as it allows to determine the location of an object in the host environment in a non-invasive approach, which is especially important in archeology and geotechnics. However, the definition of the dimensions and coordinates of the object in a surrounding formation, as well as the recognition of the object by radio image on the radarogramm, is not always unambiguous. For interpretation the method of physical modeling (Odilavadze D., Chelidze T.) using the similarity coefficients of electromagnetic fields is used in georadiolocation.

1. The method of physical modeling using the method of similarity of georadar location fields in direct and inverse problems of electrodynamics allows qualitatively and quantitatively to solve problems of recognition of radio images in field georadiolocation.
2. A radio image of a layered wedge-shaped complex structure was investigated using the method of physical modeling using the method of comparative similarity of georadiolocation fields and its radio image was revealed, which significantly clarified the interpretation of field studies of such objects.

სეისმური ზემოქმედებისას რელიეფის დახრილობის გავლენა შენობა-ნაგებობების რეაქციაზე

^{1,2} არაბიძე ვ., ^{1,3} გოგმაჩაძე ს., ¹ გოგოლაძე ზ.

1 ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის, მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, 0171, თბილისი, მაღლესიძის ქ. №1. (Vakhtang.Arabidze@tsu.ge)

2 საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 0159, თბილისი, დავით აღმაშენებლის ხეივანი №240 (V.Arabidze@agruni.edu.ge)

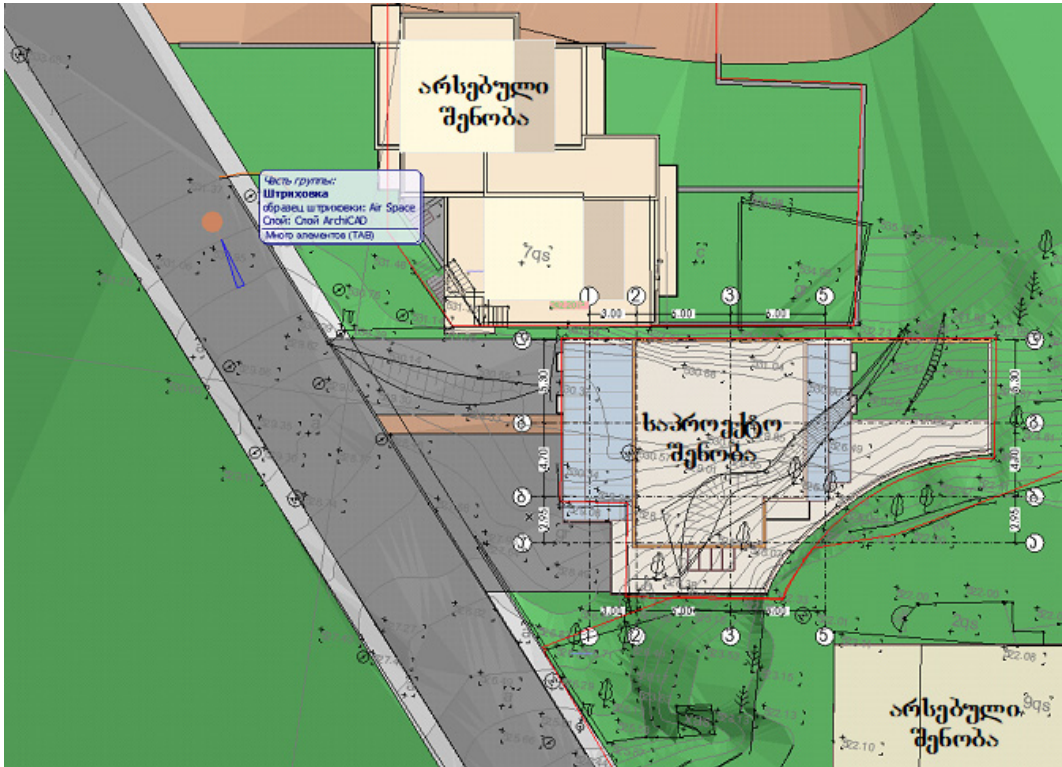
3 ქართულ-ამერიკული უნივერსიტეტი, 0160, თბილისი, თბილისი, მ. ალექსიძის ქ. №8 (sergogogmachadze@gmail.com)

სეისმოაქტიური ზონები ძირითადად ხასიათდებიან რელიეფის დიდი დანაწევრებით და საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების მრავალფეროვნებით. სწორედ ეს პირობები განსაზღვრავს სეისმურად აქტიურ რაიონებში მიწისძვრის მაქსიმალურ ინტენსივობას. გეომორფოლოგიურ და საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების გათვალისწინებას მიწისძვრის ინტენსივობის გამოვლინებაზე დიდი მენიერული და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს ამ რეგიონებში ათვისებულ და ასათვისებელ სამშენებლო მოედნებზე ანტისეისმური ღონისძიებების განხორციელებისას. დღეისთვის მოქმედ სამშენებლო ნორმებში [1] გრუნტები, სეისმური თვისებების თვალსაზრისით, დაყოფილია სამ კატეგორიად, რაც სრულად ვერ ასახავს მათ სეისმურ თვისებებს, ხოლო რელიეფის დახრილობის შესახებ აღნიშნულია, რომ (მუხლი 3. ზოგადი დებულებები, პ.17): „სამშენებლო მოედანი, რომელიც განლაგებულია 15⁰-ზე მეტი დახრის მქონე ფერდობზე ან ხასიათდება ფიზიკურ-გეოლოგიური პროცესებით: ქანების ძლიერი დანაწევრებით, მეწყერებით, ზვავებით, ღვარცოფებით, კარსტებით, მცურავი ქანებით, აგრეთვე მიწისქვეშა გამონამუშევრებით – სეისმური თვალსაზრისით წარმოადგენს არახელსაყრელ მოედანს. ამ უბნების ლოკალიზაცია და სეისმური საფრთხის შეფასება ხორციელდება სეისმური მიკროდარაიონების სამუშაოების შესრულების დროს. ასეთ მოედნებზე შენობა-ნაგებობების მშენებლობის აუცილებლობის შემთხვევაში, საჭიროა სპეციალური გამოკვლევების საფუძველზე განხორციელდეს დამატებითი ღონისძიებები ფუძის გამაგრებისა და კონსტრუქციების გაძლიერებისათვის“ და რაც სეისმოდარაიონების თანამედროვე რუკების არ არსებობის გამო პრაქტიკულად არ გაითვალისწინება პროექტირების დროს.

აღნიშნული საკითხის შესწავლის მიზნით, გამოკვლევა ჩატარდა ქ.თბილისში, ნუცუბიძის მე-3 მიკრორაიონში, დასაპროექტებელ ერთ-ერთ საცხოვრებელ შენობას. კვლევები ითვალისწინებდა შენობის კონსტრუქციული და საანგარიშო სქემების მოდელირებას როგორც სწორ, ასევე დახრილ რელიეფზე და შემდგომ ორივე შემთხვევისათვის მიღებული შედეგების შედარებას.

სამშენებლო ტერიტორიას ესაზღვრება ერთი გზა და ორი საცხოვრებელი სახლის ნაკვეთი (იხ. ნახ.1). მრავალბინიანი საცხოვრებელი სახლი ერთ სადარბაზოიანია ლიფტით,

მის ქვედა სართულებზე განლაგებულია ავტოფარეხები და საკუქნაოები, ხოლო შემდეგი სართულები კი დათმობილია საცხოვრებელი ბინებისათვის.



ნახ. 1. შენობების განლაგების გეგმა.

საინჟინრო-გეოლოგიური კვლევების შესაბამისად ტერიტორია წარმოადგენს მდ. ვერესა და მდ. დიდმულას შორის არსებული ლისის ქედის აღმოსავლეთ დაბოლოების სამხრეთული ექსპოზიციის ფერდობს.

ფერდობის საერთო საშუალო დახრილობა 20-30 გრადუსის ფარგლებშია. როგორც სამშენებლო მოედანი ასევე მის ქვევით მდებარე გამოსაკვლევ ფერდო აგებულია ოლიგოცენის ასაკის (P3²⁻³) ტუფოგენური ქვიშაქვებითა და არგილიტებით.

მასივში ქანების ეს ლითოლოგიური სახესხვაობები ერთიმეორესთან მონაცვლე ცალკეული შრეებისა და დასტების მორიგეობის სახითაა წარმოდგენილი.

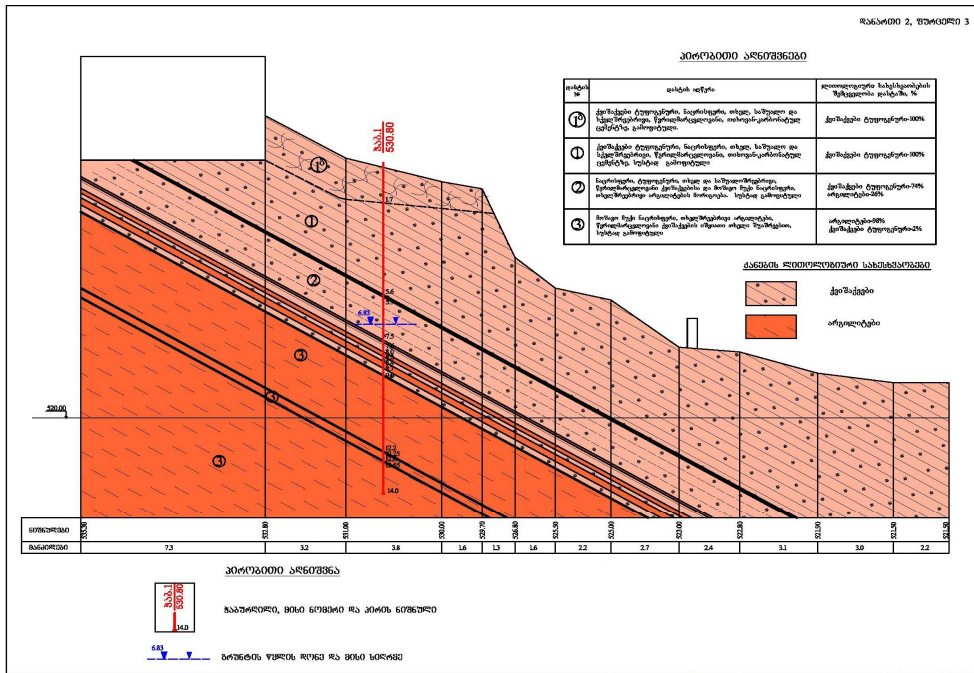
ფერდობზე გამოვლენილია ნაპრალების 3 სისტემა: I სისტემა შრეებრიობის ნაპრალებისა და მისი თანხვედნილი სედიმენტოგენური ნაპრალების სისტემაა, ხოლო II და III სისტემები სხვადასხვა სივრცობრივი ორიენტაციის ტექტონიკური გენეზისის ნაპრალებია.

შენობისა და ფერდობის მდგრადობისათვის გარკვეული საშიშროების შემცველი და შესაბამისად გასათვალისწინებელია მხოლოდ I სისტემა, ანუ შრეთა შორის არსებული ნაპრალები, რომელთა დახრილობა თანხვედრაშია ფერდის დახრილობასთან (იხ. ნახ. 2).

ფერდობის ზედაპირულ ზონაში გრუნტის წყლების არსებობის რაიმე ნიშნები არ არის, თუმცა გრუნტის (ნაპრალოური) წყლები გამოვლენილია არსებული ზედაპირიდან 2.0-6.8 მ. სიღრმეზე.

კონსტრუქციული თვალსაზრისით მრავალბინიანი საცხოვრებელი შენობა წარმოადგენს მონილითურ რკინაბეტონის საძირკვლებზე მდგომ მონოლითურ რკინაბეტონის სივრცით კარკასს. შენობა 11 სართულიანია, ერთსადარბაზოიანი, სართულის სიმაღლე

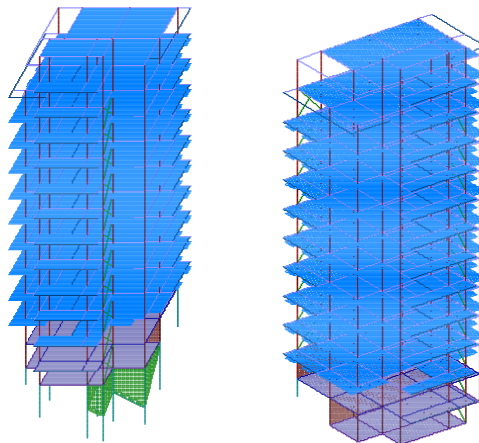
მონაცვლეობს 3.00-3.20 მ დიაპაზონში. ბეტონის კლასი ყველა მზიდი ელემენტისათვის შეადგენს B25-ს.



ნახ. 2. საინჟინრო-გეოლოგიური ჭრილი.

კარკასის ვერტიკალური მზიდი ელემენტებია რკინაბეტონის სვეტები, ზომით 60x60 სმ და 50x50სმ. გადახურვები მოწყობილია რკინაბეტონის რიგელებით, ზომით 40x50 სმ და რკინაბეტონის 16 სმ სისქის ფილით. კარკასის შევსება ხორციელდება წვრილი სამშენებლო ბლოკების საშუალებით არქიტექტურული გეგმარების შესაბამისად.

შენობაში სეისმური რეაქციის განსაზღვრის მიზნით აგებულ იქნა შენობის კონსტრუქციის საანგარიშო მოდელები პროგრამულ კომპლექს Lira – Windows 9.4-ში (ნახ. 3), რომელშიც განიხილება შემდეგი დატვირთვები: სტატიკური მუდმივი და დროებითი; სეისმური ორი ორთოგონალური მიმართულებით (დადერძვის შესაბამისად). მოდელში განხილულია აგრეთვე დატვირთვების ძირითადი და განსაკუთრებული შეხამება.



ნახ. 3. შენობის საანგარიშო მოდელების ხედი.

მიღებული შედეგები მოდალური ანალიზის შემთხვევაში 1-6 ფორმებისათვის მოყვანილია ცხრილ 1 და 2-ში (შესაბამისად დახრილი და სწორი რელიეფების შემთხვევაში).

ცხრ. 1

სეისმური ზემოქმედება ჩრდილოეთის მიმართულებით)
საკუთარი მნიშვნელობები, სიხშირეები, რხევის პერიოდი

N	საკუთარი მნიშვნელობები	სიხშირეები		პერიოდი	გადანაწილების კოეფიციენტი	მოდალური მასა %
		რად/წმ	ჰც	წმ		
1	0.285852	3.50	0.56	1.7951	4.410325	3.8 3.8
2	0.263868	3.79	0.60	1.6571	-16.639720	53.6 57.4
3	0.218723	4.57	0.73	1.3736	-6.293986 1.535171	7.7 65.0
4	0.092306	10.83	1.73	0.5797	-6.400321	0.5 65.5
5	0.084021	11.90	1.90	0.5277	3.486048	7.9 73.4
6	0.069955	14.29	2.28	0.4393		2.4 75.8

სეისმური ზემოქმედება აღმოსავლეთის მიმართულებით)
საკუთარი მნიშვნელობები, სიხშირეები, რხევის პერიოდი

N	საკუთარი მნიშვნელობები	სიხშირეები		პერიოდი	გადანაწილების კოეფიციენტი	მოდალური მასა %
		რად/წმ	ჰც	წმ		
1	0.285852	3.50	0.56	1.7951	17.926590	62.2 62.2
2	0.263868	3.79	0.60	1.6571	5.610673	6.1 68.3
3	0.218723	4.57	0.73	1.3736	-2.518658 7.144990	1.2 69.5
4	0.092306	10.83	1.73	0.5797	1.909870	9.9 79.4
5	0.084021	11.90	1.90	0.5277	0.625700	0.7 80.1
6	0.069955	14.29	2.28	0.4393		0.1 80.2

ცხრ. 2

სეისმური ზემოქმედება ჩრდილოეთის მიმართულებით)
საკუთარი მნიშვნელობები, სიხშირეები, რხევის პერიოდი

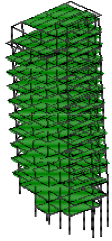
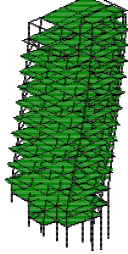
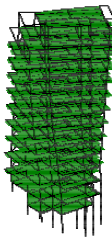
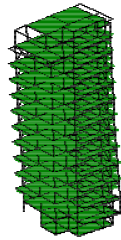
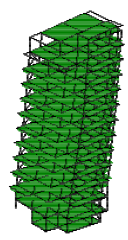

N	საკუთარი მნიშვნელობები	სიხშირეები		პერიოდი	გადანაწილების კოეფიციენტი	მოდალური მასა %
		რად/წმ	ჰც	წმ		
1	0.279839	3.57	0.57	1.7574	3.176719	2.1 2.1
2	0.258170	3.87	0.62	1.6213	-16.828774	58.5 60.6
3	0.217900	4.59	0.73	1.3684	5.992621	7.4 68.0
4	0.090869	11.00	1.75	0.5707	0.946421	0.2 68.2
5	0.082408	12.13	1.93	0.5175	-6.203913	7.9 76.1
6	0.069802	14.33	2.28	0.4384	-3.432459	2.4 78.5

სეისმური ზემოქმედება აღმოსავლეთის მიმართულებით)
საკუთარი მნიშვნელობები, სიხშირეები, რხევის პერიოდი

N	საკუთარი მნიშვნელობები	სიხშირეები		პერიოდი	გადანაწილების კოეფიციენტი	მოდალური მასა %
		რად/წმ	ჰც	წმ		
1	0.279839	3.57	0.57	1.7574	18.156834	68.1 68.1
2	0.258170	3.87	0.62	1.6213	4.296781	3.8 71.9
3	0.217900	4.59	0.73	1.3684	2.443481	1.2 73.1
4	0.090869	11.00	1.75	0.5707	7.063707	10.3 83.4
5	0.082408	12.13	1.93	0.5175	1.387698	0.4 83.8
6	0.069802	14.33	2.28	0.4384	-0.661623	0.1 83.9

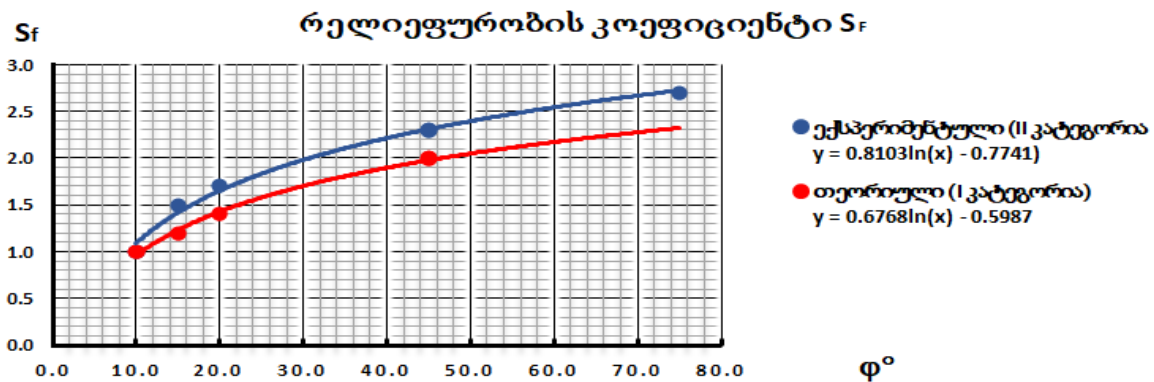
მიღებული შედეგები გადაადგილებებისათვის (საკუთარი რხევების პირველი სამი ფორმა) მოყვანილია მე-3 ცხრილში.

ცხრ. 3

ფორმა \ მოდელი	1-ლი	მე-2	მე-3
1-ლი	 9.1 მმ	 87.5 მმ	 28.0 მმ
მე-2	 5.6 მმ	 80.8 მმ	 21.7 მმ

მიღებული შედეგების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თავისუფალი რხევების პერიოდებისა და მოდალური მასების სიდიდის ცვლილება 2-5%-ის ფარგლებშია, ხოლო გადაადგილებების კი, 5-10%-ის დიაპაზონში.

აღსანიშნავია, რომ ექსპერიმენტული და მაკროსეისმური კვლევების შედეგები მე-II (საშუალო) სეისმური კატეგორიის გრუნტებისათვის [4, 5, 6] მნიშვნელოვნად განსხვავდება ჩვენს მიერ რიცხვითი ანალიზით კლდოვანი ქანებისათვის მიღებულ შედეგებთან (იხ. ნახ. 4), რაც თეორიულად მოსალოდნელი იყო მათი სეისმური სიხისტეების მნიშვნელოვანი განსხვავების გამო. მაშასადამე სეისმური ზემოქმედებისას რელიეფის გავლენის ამოცანა სხვადასხვა სეისმური კატეგორიის გრუნტებისათვის მოითხოვს შემდგომ დეტალურ შესწავლას.



ნახ. 4. რელიეფურობის კოეფიციენტის დახრის კუთხეზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

ევროკოდი-8 ნაწილი 5 „საპირკვლები, დამჭერი კედლები და გეოტექნიკური ასპექტები“-ის A დანართის (ტოპოგრაფიული გაძლიერების კოეფიციენტები) შესაბამისად [2] „დაახლოებით 15°-ზე ნაკლები ქანობის საშუალო კუთხეებისათვის ტოპოგრაფიული ეფექტები შეიძლება უგულებელყოფილი იყოს, მაშინ, როდესაც დეტალური გამოკვლევა რეკომენდებულია ძლიერ უსწორმასწორო ადგილობრივი ტოპოგრაფიისას. უფრო დიდი კუთხეებისთვის გამოიყენება შემდეგი მითითებები: ა) იზოლირებული კლდეები და ქანობები. მნიშვნელობა $S_T \geq 1,2$ უნდა გამოიყენებოდეს ზედა კიდეებთან ახლოს არსებული სამშენებლო მოედნებისთვის; ბ) თხემები, ქედის მნიშვნელოვნად ნაკლები სიგანით ფუძის სიგანესთან შედარებით. მნიშვნელობა $S_T \geq 1,4$ უნდა გამოიყენებოდეს ქანობების წვეროსთან ახლოს, 30°-ზე მეტი ქანობის საშუალო კუთხისთვის და მნიშვნელობა $S_T \geq 1,2$ უნდა გამოიყენებოდეს ქანობის უფრო მცირე კუთხეებისთვის“...

თუ გავითვალისწინებთ ევროკოდი-8 ნაწილი 1-ის [3] მიხედვით გრუნტების კლასიფიკაციას (A, B, C, D, E S₁ და S₂), მაშინ რელიეფურობის კოეფიციენტის სრულფასოვანი შეფასებისთვის, როგორც ექსპედიმენტული, ასევე თეორიული კვლევების ამოცანათა რიცხვი გაცილებით გაიზრდება. რაც აგრეთვე მნიშვნელოვანია „ევროკოდი-8“-ის ეროვნული დანართების შედგენისას.

ლიტერატურა

1. პროექტირების ნორმები პნ 01.01-09 სეისმომედეგი მშენებლობა (საქართველოს ტექნიკური რეგლამენტი).
2. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
3. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
4. Gogmachadze S., Zaalishvili V., Gabaeva I. Assessment of seismic Hazard of Soils at Strong Earthquakes in Mountainous Regions. 2007 International Symposium on Advances in Earthquake at Structural Engineering. 24-26 October 2007. ISBN 978-9944-452-18-2.
5. Zaalishvili V., Gogmachadze S. Geomorphological Aspects of the forming of Earthquake Intensity Effects in Highlands – Earthquake Hazard and Seismic Risk. Reduction-Kluwer Academic Publishers-Dordrecht/Boston/London/2000 pp.137-144.
6. Инженерный анализ последствий Рачинского землетрясения 1991г. в Грузии. Изд. «Мецниереба», 235 с, Тбилиси 1996.

სეისმური ზემოქმედებისას რელიეფის დახრილობის გავლენა

შენობა-ნაგებობების რეაქციაზე

არაბიძე ვ., გოგმაჩაძე ს., გოგოლაძე ზ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ისეთი სეისმოაქტიური ზონები, რომლებიც ძირითადად ხასიათდებიან რელიეფის დიდი დანაწევრებით და საინჟინრო-გეოლოგიური პირობების მრავალფეროვნებით, რაც თავის მხრივ ცვლის სამშენებლო ტერიტორიის ლოკალურ სეისმურობას. რელიეფურობის კოეფიციენტის გამოთვლა ხორციელდება შენობა-

ნაგებობის და ფუძე-გრუნტების სასრულეღემენტოვანი მოდელირებით. განხილული და გაანალიზებულია 11 სართულიანი შენობა დაფუძნებული კლდოვან რელიეფზე დახრილობით 20-30 გრადუსის ფარგლებში. მიღებული შედეგები შედარებულია წინა წლებში ჩატარებულ ექსპერიმენტულ შედეგებთან. დასახულია შემდგომი კვლევები „ევროკოდი-8“-ის მიხედვით კლასიფიცირებული A, B, C, D, E ტიპის გრუნტებისათვის, რაც აგრეთვე მნიშვნელოვანია „ევროკოდი-8“-ის ეროვნული დანართების შედგენისას.

Влияние рельефа на реакцию зданий-сооружений при сейсмических воздействиях

Арабидзе В.Г., Гогмачадзе С.А., Гоголадзе З.Р.

Реферат

В статье рассматриваются сейсмические зоны, которые характеризуются большим расчлененным рельефом и разнообразием инженерно-геологических условий, что, в свою очередь, изменяет местную сейсмичность строительной площадки. Расчет коэффициента рельефности осуществляется моделью здание-сооружение и грунты-основания, построенный методом конечных элементов. Здание основано на скальных грунтах наклон которых совпадает с наклоном рельефа и составляет 20-30 градусов. Полученные результаты сравнены с ранее проведенными экспериментальными результатами. Запланированы дальнейшие исследования для грунтов типа A, B, C, D, E, классифицированных в соответствии с ЕВРОКОД-8, что также важно при составлении Национального приложения к ЕВРОКОД-8.

Reaction of buildings placed on sloped terrain during seismic action

Arabidze V., Gogmachadze S., Gogoladze Z.

Abstract

The work considers the seismic zones that are characterized by a large dissected relief and a variety of engineering-geological conditions, which, in turn, changes the local seismicity of the construction site. Calculation of the coefficient of relief is carried out by the model building-construction and ground-base constructed by the finite element method. The building is based on rocky soils the slope of which coincides with the slope of the relief and is 20-30 degrees. The results obtained are compared with the previous experimental results. Further studies are planned for Type A, B, C, D, E soils classified according to EUROCODE-8, which is also important when compiling the National Annex to EUROCODE-8.

შენობების კლასიფიკაცია სეისმური რისკის შეფასების დროს

^{1,2} არაბიძე ვ., ³ ჭკუასელი ლ.

1 ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, 0171, თბილისი, მ. ალექსიძის ქ. №1. (Vakhtang.Arabidze@tsu.ge)

2 საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 0159, თბილისი, დავით აღმაშენებლის ხეივანი №240 (V.Arabidze@agruni.edu.ge)

3 საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი, 0159, თბილისი, დავით აღმაშენებლის ხეივანი №240 (chkuaseliluka@gmail.com)

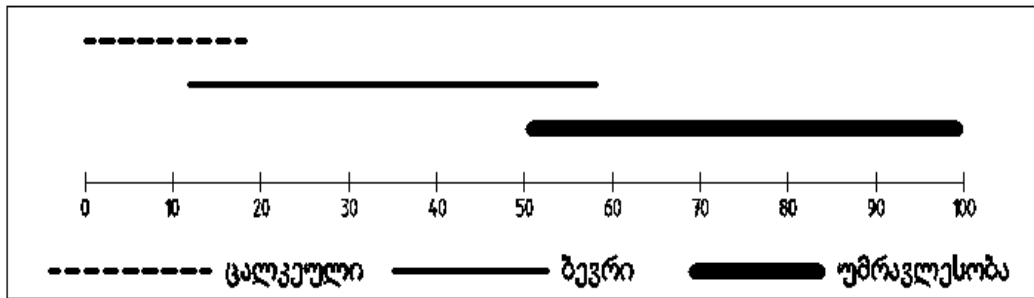
დედამიწაზე არსებული კატასტროფების 100-მდე სახეობიდან (კლიმატური, გეოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური, გეომორფოლოგიური და სხვა) ერთ-ერთ პირველ ადგილზე, როგორც ეკონომიკური ზარალის, ასევე სოციალური მსხვერპლის მხრივ არის მიწისძვრა. ყოველწლიურად დედამიწაზე ხდება ასობით ათასი მიწისძვრა და ილუპება ათობით ათასი ადამიანი. ურბანიზებული ტერიტორიების დიდ ნგრევებსა და ეკონომიკურ ზარალს (მილიარდობით ამერიკულ დოლარს) იწვევს ძლიერი მიწისძვრები მაგნიტუდით 5,5 და მეტი. ზოგიერთი სტატისტიკური მონაცემებით ბოლო საუკუნეების განმავლობაში მიწისძვრებით და მათგან გამოწვეული მეორადი ეფექტებით (ხანძარი, მეწყერი, ცუნამი და სხვა) დაღუპულია 70 მილიონზე მეტი ადამიანი. სტატისტიკური ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ბოლო წლებში მნიშვნელოვნად მატულობს სეისმური საშიშროების დონე, აგრეთვე იზრდება ურბანიზებული ტერიტორიები და შესაბამისად სეისმური რისკი, განსაკუთრებით ძველი განაშენიანებული უბნებისათვის რომლებშიც შენობები აგებულია სეისმომდეგი მშენებლობის ნორმების დაცვის გარეშე.

ჩვენ სამწუხაროდ არ შეგვიძლია სეისმური საშიშროების მართვა ან შემცირება, მაგრამ შეგვიძლია სეისმური რისკის შემცირება და მართვა სწორი სამშენებლო სტრატეგიის საფუძველზე, რომელიც დაფუძნებული უნდა იყოს ერთის მხრივ სამშენებლო ტერიტორიების კომპლექსურ გეოლოგიურ-გეოფიზიკურ კვლევებზე, სეისმური მიკროდარაიონების პრინციპებზე და მეორეს მხრივ ნაგებობათა სეისმომდეგობაზე გაანგარიშებისა და პროექტირების თანამედროვე მეთოდებზე, მშენებლობაში თანამედროვე სამშენებლო მასალებისა და სეისმოდამცავი კონსტრუქციების გამოყენებაზე.

სეისმურად აქტიური რეგიონებში განთავსებული ქვეყნების მთავრობები და ზოგიერთი დიდი კორპორაციები გულმოდგინედ ამუშავებენ სხვადასხვა მეთოდებს მიწისძვრის შედეგად შესაძლო მიყენებული ზიანის ხარისხის განსაზღვრისათვის და შეზღუდული ბიუჯეტით ცდილობენ შენობების სეისმომდეგობის დონის მაქსიმალურად ამაღლებას.

სეისმური რისკის შეფასებისას ერთერთ უმნიშვნელოვანეს საკითხს წარმოადგენს შენობა-ნაგებობების კლასიფიკაცია. გამარტივებული მეთოდით სეისმური რისკის განსაზღვრისათვის კონკრეტულ დასახლებულ პუნქტებში უნდა მოხდეს შენობა-ნაგებობების არქიტექტურულ-კონსტრუქციული აღწერა და შეფასდეს მათი ტექნიკური მდგომარეობა,

დადგინდეს დაზიანების ხარისხი რაც შესაძლებელია აღწერის სრულფასოვნად ჩატარების შემთხვევაში. შემდგომ ეტაპზე მიღებული მონაცემთა ბაზები მუშავდება კომპიუტერულ საანგარიშო პროგრამებში, რომელთაგან საქართველოში ყველაზე პოპულარული გამოყენება ჰპოვეს: ამერიკულმა პროგრამა HAZUS-მა ფედერალური პროგრამის FEMA (Federal Emergency Management Agency) ფარგლებში, ევროპულმა პროგრამამ IISK-UE ევროპული კომისიის პროექტის ფარგლებში და აგრეთვე ევროპულმა პროგრამამ ახლოაღმოსავლეთის ქვეყნების მონაწილეობით, ELER-მა (Earthquake Loss Estimation Routine).



ნახ. 1. დაზიანების რაოდენობრივი მაჩვენებლები.

ცხრ. 1.

ნაგებობათა კლასიფიკაცია EMS-98 სკალის მიხედვით დაზიანებადობის (მოწყვლადობის) მოსალოდნელი კლასის მინიშნებით.

კონსტრუქციის ტიპი		დაზიანებადობის კლასი					
		A	B	C	D	E	F
ქვის წყობა	ყორე ქვა, რიყის ქვა	○					
	ალიზი (გამოუწვავი აგური)	○					
ქვის წყობა	უბრალო ქვა		○				
	მასიური ქვა						
	გაუძლიერებული წყობა, აგური, ბეტონის ბლოკები		○				
	გაუძლიერებული წყობა, რკინაბეტონის			○			
	სართულშუა გადახურვა			○			
	არმატურით ან კომბლექსური კონსტრუქციით				○		
გაძლიერებული წყობა					○		
რკინაბეტონი (RC)	ჩარჩო სეისმომდებელი დაპროექტების (ERD) გარეშე			○			
	ჩარჩო ანტისეისმური ღონისძიებების საშუალო დონით			○			
	ჩარჩო ანტისეისმური ღონისძიებების მაღალი დონით			○			
	მზიდი კედელი ანტისეისმური ღონისძიებების გარეშე			○			
	მზიდი კედელი ანტისეისმური ღონისძიებების საშუალო დონით			○			
მზიდი კედელი ანტისეისმური ღონისძიებების მაღალი დონით				○			
ფოლადი	ფოლადის კონსტრუქციები				○		
ხე	ხის კონსტრუქციები			○			

ამ ახალი სკალების შექმნამდე საქართველოში შენობების კლასიფიკაცია ხდებოდა MSK-64 -სა და EMS-98 სკალების გამოყენებით [1, 2], რომელთა მიხედვითაც დაზიანება კლასიფიცირდება 5 ხარისხით, აგურის (ქვის) და რკინაბეტონის ვარიანტში გადაწყვეტილი შენობებისათვის განსხვავებულად. მიწისძვრის შედეგად რომელიმე კონსტრუქციული ტიპის შენობის გარკვეული ხარისხით დაზიანების რაოდენობრივი განსაზღვრა ხდება პროცენტებში, რომლის შესაბამისადაც სარგებლობენ ტერმინებით – ცალკეული, ბევრი და უმრავლესი (ნახ. 1).

შენობების დაზიანების კლასის დადგენისას მხედველობაში მიიღება ნატურაში მათი ანტიისემური ღონისძიებებით აღჭურვის დონე. კონსტრუქციულ-გეგმარებითი გადაწყვეტის შესაბამისობა თანამედროვე სეისმური ნორმების მოთხოვნებთან, შესრულებული სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების ხარისხი, ექსპლუატაციაში ყოფნის პერიოდი, სამშენებლო მოედნის საინჟინრო-გეოლოგიური პირობები და სხვა.

EMS-98 სკალის მიხედვით ნაგებობათა კლასიფიკაცია მოსალოდნელი დაზიანებადობის (მოწყვლადობის) კლასის მინიშნებით მოყვანილია ცხრ. 1 და 2-ში.

ცხრ. 2.

ნაგებობათა კლასიფიკაცია EMS-98 სკალის მიხედვით დაზიანებადობის (მოწყვლადობის) მოსალოდნელი კლასის მინიშნებით (ინგლისურად).

Type of Structure		Vulnerability Class					
		A	B	C	D	E	F
MASONRY	Rubble stone, fieldstone	■					
	Adobe (earth brick)	■	■				
	Simple stone	■	■				
	Massive stone		■	■	■		
	Unreinforced, with manufactured stone units	■	■	■			
	Unreinforced, with RC floors		■	■	■		
	Reinforced or confined			■	■	■	
REINFORCED CONCRETE (RC)	Frame without earthquake-resistant design	■	■	■	■		
	Frame with moderate level of ERD		■	■	■	■	
	Frame with high level of ERD			■	■	■	■
	Walls without ERD		■	■	■		
	Walls with moderate level of ERD			■	■	■	
	Walls with high level of ERD				■	■	■
STEEL	Steel structures			■	■	■	■
WOOD	Timber structures		■	■	■	■	

■ Most possible
 ■ Possible
 ■ Not likely

აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით, როგორც ცხრ. № 1 და 2-დან ჩანს შენობების დაზიანებდობის (მოწყვლადობის) კლასი შეიძლება ერთი ან ორი საფეხურით დაქვეითდეს. ასე მაგალითად, თუ ანტიისემური ღონისძიებების საშუალო დონით აღჭურვილი რკინაბეტონის კარკასული შენობები დაზიანებადობის „D“ კლასს მიეკუთვნება უხარისხო საპროექტო გადაწყვეტის და მშენებლობის დაბალი ხარისხის შემთხვევაში ასეთი შენობები შეიძლება მიესადაგოს დაზიანებადობის „B“ კლასს, რაც იმას ნიშნავს, რომ რკინაბეტონის კარკასული შენობები მიწისძვრის ზემოქმედებაზე წინააღმდეგობის გაწევის უნარით უტოლდება ანტიისემური ღონისძიებების გარეშე აშენებულ ძველი ტიპის აგურის (ქვის) შენობებს, რაც უარყოფითად იმოქმედებს სეისმური რისკის შეფასებისას.

საქართველოს ქალაქების განაშენიანებაში საცხოვრებელი სახლების ყველაზე გავრცელებული ტიპები შემდეგი სტრუქტურით ხასიათდება:

- 1-3 სართულიანი აგურის (ქვის) შენობები;
- 4-9 სართულიანი აგურის და კომპლექსური შენობები;
- 5-9 სართულიანი მსხვილბლოკური შენობები;
- 5-15 სართულიანი მსხვილპანელური შენობები’
- 5-16 სართულიანი ანაკრები-მონოლითური რკინაბეტონის შენობები;
- 5-14 სართულიანი მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული და უკარკასო შენობები.

იმ ფაქტის გათვალისწინებით, რომ საქართველო მდებარეობს სეისმურად აქტიურ რეგიონში, დიდი რისკია შემდეგმა მიწისძვრამ ცუდი შედეგები მოგვიტანოს. ერთ-ერთი ძლიერი მიწისძვრა მოხდა 2002 წლის 25 აპრილს, რომლის ეპიცენტრიც იყო თბილისის ტერიტორიაზე. მიწისძვრის ზემოქმედების აქტიურ არეალში მოექცა 20000-მდე შენობა, პირველ დღეებშივე ოპერატიულად შემოწმდა დაახლოებით 5 000-მდე შენობა, რამაც ქალაქს საშუალება მისცა განეზოგადებინა ნგრევის საერთო სურათი და მიახლოებით წინასწარ შეეფასებინა ზარალი, დაედგინა შენობები, რომელთა ექსპლუატაცია დამატებითი შესწავლის გარეშე საშიში იყო, განესაზღვრა საბინაო ფონდის რეზერვი ამ შენობებიდან ხალხის დროებით გასახლებისთვის.

ასეთი წინასწარი შეფასებების გაკეთება შესაძლებელი გახდა, იმიტომ რომ არსებობდა მსოფლიო გამოცდილება, თუ ერთნაირი შენობათა რაოდენობა დიდია რეგიონში, რომელსაც შეეხო მიწისძვრა, შენობათა დაზიანების ხასიათი ემორჩილება მკაცრ სტატისტიკურ განაწილებას. დაზიანებათა განაწილების ამ სტატისტიკურ მრუდს დამაკმაყოფილებლად აღწერს დაზიანებათა ხარისხის 5 გრადაცია, რომლებიც შემოთავაზებული იყო მიწისძვრის ინტენსიობის შეფასებისას მაკროსეისმურ სკალებში და აპრობირებულია მთელ მსოფლიოში. აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ ზემოთ მოყვანილი თანამედროვე მეთოდოლოგია და პროგრამებიც ეფუძნება შენობების დაზიანების იგივე გრადაციას. შემდგომ დღეებში შენობა-ნაგებობების სრულმა შემოწმებამ (16 000-მდე) დაადასტურა სტატისტიკური განაწილებები, რომლებიც გამოყენებულ იყო ოპერატიული შეფასების გასაკეთებლად.

თბილისში გავრცელებული სხვადასხვა კონსტრუქციულ სქემებში გადაწყვეტილი საცხოვრებელი შენობების რაოდენობა და მათი კლასიფიკაცია დაზიანებადობის კლასის მიხედვით მოყვანილია ცხრ. 3-ში (2002 წლის მონაცემებით [3, 5]), ხოლო ვიზუალური სახით პროგრამა GIS-ში ნახ. 2-ზე.

ევროპული ტაქსონომიით [4] ქვის შენობებში გამოიყოფა 7 ძირითადი კლასი პირობითი აღნიშვნით M1-M7 (ცხრ. 4).

თბილისში გავრცელებული სხვადასხვა კონსტრუქციულ სქემებში გადაწყვეტილი საცხოვრებელი შენობების რაოდენობა და მათი კლასიფიკაცია დაზიანებადობის (მოწყვლადობის) კლასის მიხედვით (2002 წლის მონაცემებით)

შენობათა ტიპები	დაზიანებადობის კლასი						შენობების რაოდენობა
	A'	A	B	C	D	E	
1. 1-3 სართულიანი ძველი ტიპის აგურის (ქვის) შენობები		⊖					33127
2. იგივე აშენებული ანტისეისმური ღონისძიებების გათვალისწინებით			○				5092
3. 4-8 სართულიანი აგურის შენობები		⊖					4026
4. 9 სართულიანი სიმაღლის აგურის შენობები კომპლექსური კონსტრუქციებით			⊖				127
5. 9 სართულამდე სიმაღლის მსხვილბლოკური შენობები			⊖				2633
6. 5-12 სართულიანი მსხვილპანელური შენობები					⊖		952
7. 16 სართულამდე სიმაღლის ანაკრები რკინაბეტონის შენობები (კარკასული)			⊖				150
8. 5-16 სართულამდე სიმაღლის მონოლითური რკინაბეტონის კარკასული და უკარკასო შენობები				⊖			85
9. ყველა აღნიშნული ტიპის შენობა დაზიანებული კონსტრუქციებით	○						3080
სულ 49272							

- შენობების დაზიანების ყველაზე მოსალოდნელი კლასი
- მოსალოდნელი დიაპაზონი
- ნაკლებად მოსალოდნელი დიაპაზონი.

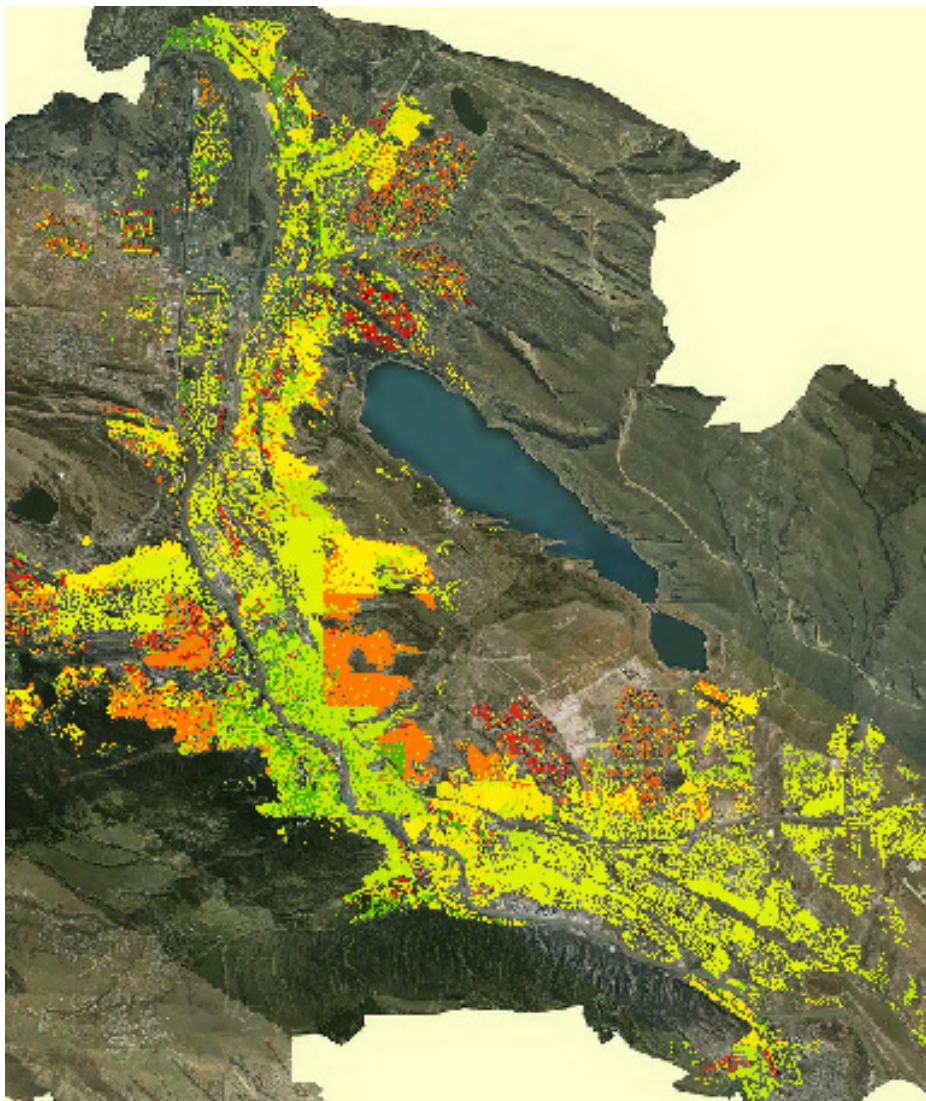
ევროპული ტაქსონომიით (ELER) ქვის შენობებში გამოიყოფილი 7 ძირითადი კლასი პირობითი აღნიშვნით M1-M7

№	კოდი	დასახელება
1	M1	ყორე ქვის წყობა (Rubble stone)
2	M2	ალიზის წყობა (adobe, earth bricks)
3	M3	ფლეთილი ქვის წყობა (simple stone)
4	M4	მასიური ქვის წყობა (massive stone)
5	M5	ძველი ქვის (აგურის) წყობა (masonry old bricks)
6	M6	ქვის (აგურის) წყობა რკინაბეტონის გადახურვით (masonry RC floors)
7	M7	ქვის (აგურის) შენობები გაძლიერებული კომპლექსური წყობით.

სართულიანობის მიხედვით არსებობს სამი კლასი: L – დაბალი 1-2 სართული; M – საშუალო 3-5 სართული; H – მაღალი 6 და მეტი სართული.

გადახურვის მიხედვით (M1-M5 შენობებისათვის) შემოტანილია სამი კოდი: W-ხის გადახურვა; V – ქვის (აგურის) თაღით გადახურვა; Sm – ლითონისა და ქვის კომპოზიტური გადახურვა.

ევროპულ კლასიფიკაციაში ერთ-ერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს წარმოადგენს პროექტირების და მშენებლობის ნორმატიული დოკუმენტების გამოყენების ფაქტორი, ამ მხრივ შენობა-ნაგებობები კლასიფიცირდება: PC – სეისმური კოდების წინა პერიოდი, ანუ დაპროექტებული და აშენებული სეისმური ნორმების გარეშე; MC – ძველი სეისმური ნორმებით; HC – თანამედროვე სეისმომდეგი მშენებლობის ნორმებით.



ნახ. 2 ქ. თბილისში გავრცელებული სხვადასხვა კონსტრუქციულ სქემებში გადაწყვეტილი საცხოვრებელი შენობების ხედი.

აღნიშნული ფაქტორების გათვალისწინებით ქვის (აგურის) შენობების დეტალური კლასიფიკაცია მოყვანილია მე-5 ცხრილში.

ევროპული ტექსონომიით (ELER) ქვის (აგურის) შენობების
დეტალური კლასიფიკაცია

#	კოდი	დასახელება
1	M1 M1_L M1_M M1_w_L M1_w_M M1_v_L	ყორე ქვის წყობა 1-2 სართულიანი 3-5 სართულიანი ხის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ხის გადახურვით, 3-5 სართულიანი ქვის თაღის გადახურვით, 1-2 სართულიანი
2	M2 M2_L M2_M M2_w_L M2_w_M	ალიზის წყობა 1-2 სართულიანი 3-5 სართულიანი ხის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ხის გადახურვით, 3-5 სართულიანი
3	M3 M3_L M3_M M3_w_L M3_w_M M3_v_L	ფლეთილი ქვის წყობა 1-2 სართულიანი 3-5 სართულიანი ხის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ხის გადახურვით, 3-5 სართულიანი ქვის თაღის გადახურვით, 1-2 სართულიანი
4	M4 M3_L M3_M M3_w_L M3_w_M M3_v_L	მასიური ქვის წყობა 1-2 სართულიანი 3-5 სართულიანი ხის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ხის გადახურვით, 3-5 სართულიანი ქვის თაღის გადახურვით, 1-2 სართულიანი
5	M5 M5_L M5_M M5_w_L M5_w_M M5_v_L M5_sm_L M5_sm_M	ძველი ქვის (აგურის) წყობა 1-2 სართულიანი 3-5 სართულიანი ხის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ხის გადახურვით, 3-5 სართულიანი ქვის თაღის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ლითონისა და ქვის გადახურვით, 1-2 სართულიანი ლითონისა და ქვის გადახურვით, 3-5 სართულიანი
6	M6 M6_L_PC M6_M_PC M6_H_PC M6_L_MC M6_M_MC M6_H_MC	ქვის (აგურის) წყობა რკინაბეტონის გადახურვით 1-2 სართულიანი, სეისმური ნორმების გარეშე 3-5 სართულიანი, სეისმური ნორმების გარეშე 6 სართული ან მეტი, სეისმური ნორმების გარეშე 1-2 სართულიანი, ძველი სეისმური ნორმებით 3-5 სართულიანი, ძველი სეისმური ნორმებით 6 სართული ან მეტი, ძველი სეისმური ნორმებით
7	M7 M7_L_MC M7_M_MC M7_H_MC	ქვის (აგურის) გაძლიერებული კომპლექსური წყობით 1-2 სართულიანი, ძველი სეისმური ნორმებით 3-5 სართულიანი, ძველი სეისმური ნორმებით 6 სართული ან მეტი, ძველი სეისმური ნორმებით

ჩატარებული მიმოხილვითი კვლევები გვიჩვენებს, რომ სეისმური რისკის შეფასებისას ქვის (აგურის) შენობა-ნაგებობების ძველ და ახალ კლასიფიკაციას შორის მნიშვნელოვანი განსხვავებები შეინიშნება, კერძოდ: ძველ კლასიფიკაციაში ქვის (აგურის) შენობები მოიცავდა 4 სახეობას (ცხრ. 3) და ძირითადად განსხვავდებოდა სართულიანობით და ანტისეისმური ღონისძიებებით, მაშინ როდესაც თანამედროვე კლასიფიკაციით გამოიყოფა შვიდი ძირითადი კლასი (M1-M7) და 40-ზე მეტი ქვეკლასი. ახალ კლასიფიკაციაში მნიშვნელოვანი გახდა გადახურვის ელემენტების ტიპები (ხის, ქვის, ფოლადის), პროექტირებისა და აშენების წლების შესაბამისად შენობები დიფერენცირდა სეისმური კოდების წინა პერიოდის, ძველი სეისმური ნორმების და თანამედროვე სეისმომდეგე მშენებლობის ნორმებით აშენებულ კლასებად.

ჩატარებული სამუშაოს ძირითადი ნაწილი მომზადდა სსიპ შოთა რუსთაველის საქართველოს ეროვნული სამეცნიერო ფონდის მიერ დაფინანსებული პროექტის „სეისმური საშიშროების შეფასება საქართველოსთვის და სეისმური რისკის ქალაქ მცხეთისთვის თანამედროვე მიდგომებით“ N216758 ფარგლებში.

ლიტერატურა

1. MSK-64: 12-балльная шкала сейсмической интенсивности Медведева-Шпонхойера-Карника, 1964 г.
2. European Macroseismic Scale 1998, Editor G. GRÜNTAL Luxembourg 1998.
3. გაბრიჩიძე გ., რეკვავა პ., არაბიძე ვ., და სხვა. თბილისის 2002 წლის 25 აპრილის მიწისძვრის მასალები. გამომცემლობა „მერმისი“, თბილისი 2005.
4. Earthquake Loss Estimation Routine ELER© v3.0 Technical Manual and Users Guide, Prepared by Bogazici University, Department of Earthquake Engineering, 2010.
5. Muchadze T., Arabidze V., Chanadiri Dj., Eremadze N., Qorqia G. Establishment of the Damage Grade and Assessment of Seismic Risk of Dwelling Houses in Tbilisi. First International Conference on Seismic Safety Problems of Caucasus Region Population, Cities and Settlements. pp.153-155, Tbilisi, Georgia, September 8-11, 2008.

შენობების კლასიფიკაცია სეისმური რისკის შეფასების დროს

არაბიძე ვ., ჭკუასელი ლ.

რეზიუმე

სტატიაში განხილულია შენობა-ნაგებობების კლასიფიკაცია სეისმური რისკის შეფასების დროს. მაკროსეისმური სკალების MSK-64-სა და EMS-98-ის შესაბამისად მოყვანილია საქართველოს ქალაქების განაშენიანებაში საცხოვრებელი სახლების ყველაზე გავრცელებული ტიპები, აღწერილია ქ. თბილისში გავრცელებული სხვადასხვა კონსტრუქციულ სქემებში გადაწყვეტილი საცხოვრებელი შენობების კლასიფიკაცია დაზიანებადობის კლასის მიხედვით. განხილულია სეისმური რისკის შეფასების ევროპული პროგრამა ELER-ის (Earthquake Loss Estimation Routine) შესაბამისი კლასიფიკაცია ქვის (აგურის) შენობებისათვის საქართველოში გავრცელებული შენობების გათვალისწინებით. გაანალიზებულია მნიშვნელოვანი განსხვავებები ძველ და ახალ კლასიფიკაციებს შორის.

Классификация зданий-сооружений при определении сейсмического риска

Арабидзе В.Г., Чкуасели Л.Б.

Реферат

В статье рассматриваются классификация зданий и сооружений при оценке сейсмического риска. На основе макросейсмических шкал MSK-64 и EMS-98 приведены наиболее распространенные типы жилых домов в развитии грузинских городов. Описаны и классифицированы жилые здания различных конструктивных схем распространенных в г. Тбилиси. Рассмотрено современное классификация каменных (кирпичных) зданий по новой европейской программе ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) для расчета сейсмического риска. Проанализированы важные различия между старыми и новыми методами классификации зданий-сооружений.

Classification of buildings for the determination of seismic risk

Arabidze V., Chkuaseli L.

Abstract

The article deals with the classification of buildings and structures when assessing seismic risk. Based on macro seismic scales MSK-64 and EMS-98, the most common types of residential buildings in the development of Georgian cities are listed. Described and classified are residential buildings of various constructive schemes prevalent in Tbilisi. The modern classification of stone (brick) buildings under the new European program ELER (Earthquake Loss Estimation Routine) for calculation of seismic risk is considered. Important differences between old and new methods of classifying buildings-constructions are analyzed.

გურიის ტერიტორიის მაგნიტური ველი და მისი გეოლოგიური ინტერპრეტაცია

გოგუა რ., გვანცელაძე თ., ქირია ჯ.

ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მიხეილ ნოდია სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, 0171, თბილისი, მ.ალექსიძის ქ.#1

შესავალი

საკვლევი ტერიტორია წარმოადგენს აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემის დასავლეთ სეგმენტს. იგი მთა-ბორცვიანი ძლიერ დასერილი რელიეფით ხასიათდება. ტერიტორიის დასავლეთი ნაწილი უჭირავს გურიის ქედს. იგი ვრცელდება სოფ. გულიანის მერიდიანიდან ჩოხატაურამდის, სადაც ერწყმის აჭარა-იმერეთის ქედს. ჩრდილოეთიდან მას მდ. რიონის დაბლობი ესაზღვრება, სამხრეთიდან კი გურიის ვრცელი დეპრესია. გურიის ქედის საშუალო სიმაღლე, ზღვის დონიდან 300-350მ-ია. ქედის ორივე ფერდი დასერილია ღრმა ხეობების მქონე ხევებითა და ღელეებით, რომლებიც მდ. სუფსის მარცხენა შენაკადს წარმოადგენენ. რეგიონის მნიშვნელოვანი მდინარეა აგრეთვე ნატანები, თავისი მრავალი შენაკადით. საკვლევი ტერიტორია დაფარულია ხშირი მცენარეული საფარით. ქანების გაშიშვლებებს ვხვდებით ძირითადად მდინარეთა ხეობებში და გზების გასწვრივ. რეგიონი ცნობილია მრავალი სასარგებლო ნამარხით, განსაკუთრებით კი ნავთობგამოვლინებებით. აქედან გამომდინარე ტერიტორიის გეოლოგიური აგებულების დაზუსტება დიდ ინტერესს იწვევს.

გურიის ტერიტორიის შესწავლილობა გეოლოგიურ-გეომაგნიტური მეთოდებით გეოლოგიური შესწავლილობა

საკვლევი ტერიტორია მდებარეობს საქართველოს ბელტსა და აჭარა-თრიალეთის ნაოჭა სისტემას შორის. იგი ჩრდილოეთიდან და სამხრეთიდან შემოსაზღვრულია სუბგანედური მიმართულების სიღრმული რღვევებით, რომლებიც აღმოსავლეთით, საკვლევი ტერიტორიის გარეთ, ერთმანეთთან ერთდებიან. ტერიტორიაზე გამოიყოფა მსხვილი ტექტონიკური ერთეულები, ესენია: ლანჩხუთი-ინაშაურის ანტიკლინი (გურიის მთები) და გურიის დეპრესია, რომელიც გართულებულია ლანჩხუთი-ოზურგეთის განივი ამაღლებით.

გურიის მთები ძირითადად აგებულია შუა ეოცენის (44 ± 3 -დან 47 ± 3 მილ. წლამდე) ვულკანოგენური ქანებით. ამავე პერიოდს მიეკუთვნება გურიის დეპრესია, რომლის პერიფერიული ნაწილი აგებულია ზედა ეოცენის, ხოლო ცენტრალური ნაწილი – მაიკოპის წყების ქანებით.

გურიის მთების დასავლეთ ნაწილში ფართოდაა წარმოდგენილი ბალიშისმაგვარი, ელიფსისმაგვარი და სფერული ფორმის ანდეზიტ-ბაზალტური შემაღვენლობის სხეულები, სიმძლავრით 20-170მ. ეს ქანები მუქი შეფერილობისაა, შემაღვენლობით: ბიოტიტი,

პიროქსენი, ოლივინი, მაგნეტიტი. აქცესორული მინერალებია: მაგნეტიტი, ჰემატიტი, აპატიტი, პირიტი [1].

რეგიონის გეოლოგიური განვითარების ისტორიაში გამოყოფენ სამ ძირითად ეტაპს: დანაოჭებამდე (ზედა ცარცი – შუა ეოცენი), დანაოჭების (ზედა ეოცენი – ოლიგოცენი) და დანაოჭების შემდგომი (მიოცენი – ანტროპოგენი) პერიოდი [2].

გეომაგნიტური შესწავლილობა

გურიის ტერიტორიის შესწავლა, ძიების მაგნიტური მეთოდით, დაიწყო ჯერ კიდევ XX ს-ის 30-იან წლებში მ. ნოდის ხელმძღვანელობით. ამ პერიოდში დაფიქსირებული იქნა ინტენსიური მაგნიტური ანომალიები: სოფ. ნასაკირალში, აცანაში, აკეთში, მამათში, ჭანათში, ორაგვეში, საკუპრეში, ნაქობარში და ჩიტას, ზენდიდის, ტყებლას, ქანტარიას მთებზე. როგორც მ. ნოდია აღნიშნავს, „ეს ანომალიები ერთმანეთისაგან, კუნძულების მსგავსად, განცალკევებული არიან ტერიტორიის საკმაოდ ფართო ზოლებით, სადაც მაგნიტური ველი თითქმის ნორმალურია.“ ანომალიების ამ ჯგუფს მ. ნოდამ უწოდა ზოგადი სახელი – გურიის მაგნიტური ანომალია. შავი ზღვის სანაპირო ზოლზე (ქობულეთი-გრიგოლეთის უბანი), მ. ნოდამ შესწავლა დედამიწის მაგნიტური ველის ვერტიკალური მდგენელი და გააკეთა დასკვნა, რომ „აღნიშნულ უბანზე მაგნიტური ველი შეიძლება ჩაითვალოს თითქმის ნორმალურად“ [3,4,5,6], თუმცა ჩვენი კვლევებით აღმოჩნდა, რომ ტერიტორია მნიშვნელოვნად ანომალურია.

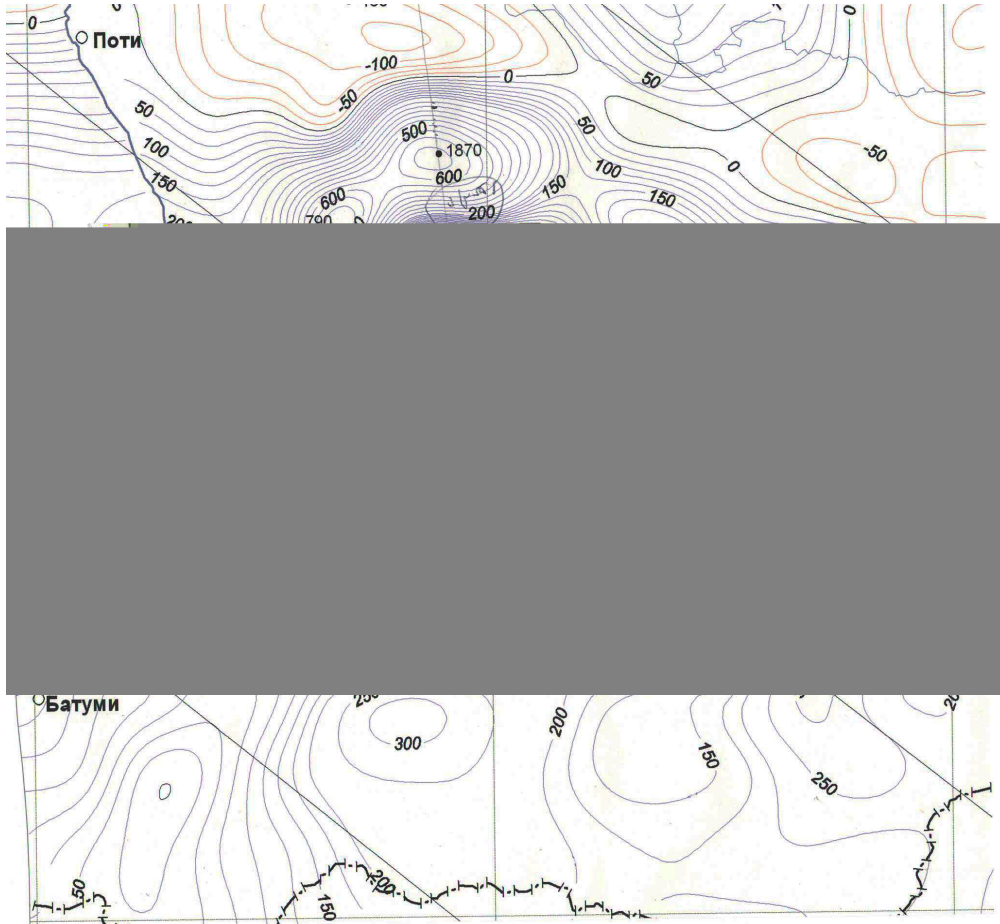
XX საუკუნის 70-იან წლებში გურიის ტერიტორია, 2,5-3 კმ სიმაღლეზე, აიგემა აერო-მაგნიტური მეთოდით [7].

შემდგომ წლებში (1978 წ.) გეოფიზიკის ინსტიტუტმა (რ. გოგუა) ურეკში, ზღვის სანაპირო ზოლში, სანატორიუმ „მეგობრობიდან“ მაშველების საგუშაგომდე, გამოიკვლია დედამიწის მაგნიტური ველის Z მდგენელი, ფანზელაუს ფირმის მაგნიტომეტრით, რომლის მგრძნობიარობა შეადგენდა 10 გამას / დანაყოფზე. პარალელურად გამოკვლეული იქნა ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა ა.

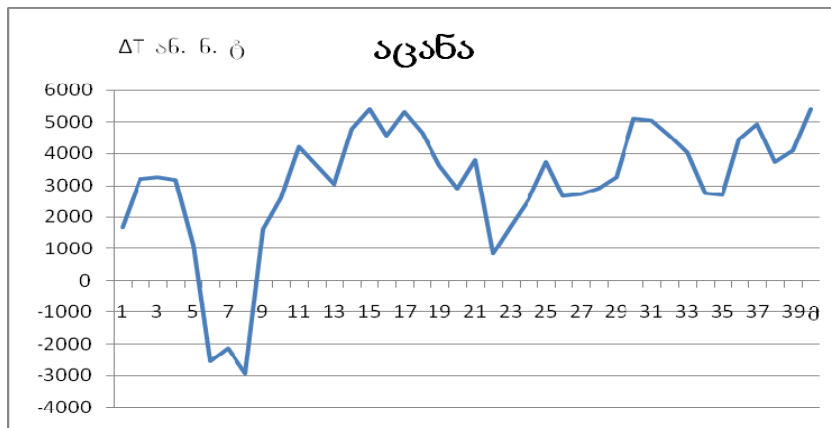
2015 წ.-ს გეოფიზიკის ინსტიტუტის ექსპედიციამ (ხელმძღვანელი რ. გოგუა) ურეკში, ბ. პატარკაციშვილის კუთვნილ ტერიტორიაზე, ზღვის სანაპირო ზოლში, გამოიკვლია დედამიწის მაგნიტური ველის სრული მდგენელი T, პროტონული მაგნიტომეტრით G-856AX. დეტალურად იქნა გამოკვლეული აგრეთვე ტერიტორიის აღმოსავლეთ ნაწილში განლაგებული ქვიშის ოთხი ბორცვის მაგნიტური ველი და სოფ. აცანის მიმდებარე ტერიტორიაზე ერთი პროფილი.

გურიის ტერიტორიის მაგნიტური ველის გეოლოგიური ინტერპრეტაცია

აერომაგნიტური რუკიდან ჩანს (სურ. 1), გურიის ტერიტორია მთლიანად ანომალურია. მასზე გამოიყოფა ინტენსიური, როგორც დადებითი, ისე უარყოფითი ანომალიები. ტერიტორიის ჩრდილოეთით (გურიის მთები) აღინიშნება ანომალია, რომლის უარყოფითი ნაწილი 750 ნ.ტ., ხოლო დადებითი 1870 ნ.ტ.-ს რიგისაა. ამ ანომალიის ეპიცენტრის სიახლოვეს ჩვენს მიერ მიწისპირას გამოკვლეული მაგნიტური ანომალიის ინტენსივობაა – 3000±5000 ნ.ტ. რიგისა (სურ. 2). პროფილის გასწვრივ მაგნიტური ველის ვერტიკალური გრადიენტი მაღალია, რაც მიუთითებს ანომალიის გამომწვევს წყაროს დღიურ ზედაპირთან სიახლოვეს.



სურ. 1. გურიის ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველის (ΔT) ან. აერომაგნიტური რუკა (მასშტაბი 1:500000)



სურ. 2. მაგნიტური ველის ხასიათი სოფ. აგანის მიმდებარე ტერიტორიაზე

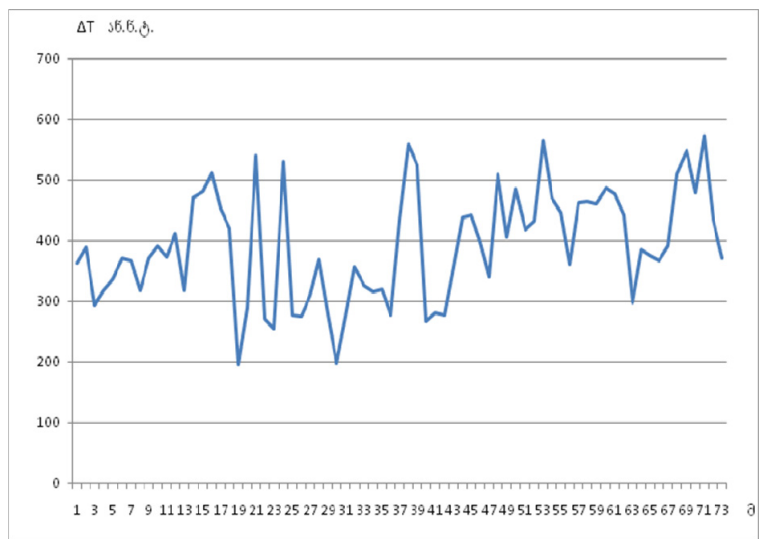
როგორც გეოლოგიური გამოკვლევებით არის ცნობილი [1], გურიის მთები ძირითადად აგებულია შუა ეოცენის ვულკანოგენური ანდეზიტ-ბაზალტური შემადგენლობის ქანებით, რომელთა ჩამოყალიბება მოხდა წყალქვეშ, რამაც განაპირობა ქანების ნარჩენი დამაგნიტების (I_n) ინტენსივობა. გარდა ამისა ეს ქანები შეიცავენ დიდი რაოდენობით ფერომაგნიტურ მინერალებს. აქედან სრულიად სამართლიანად შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ მათი მაგნიტური პარამეტრები: მაგნიტური შემთვისებლობა χ და ნარჩენი დამაგნიტება I_n

მაღალია. სამწუხაროდ დღემდე გურიაში აღნიშნული ქანების მაგნიტური პარამეტრები შესწავლილი არ არის. სამაგიეროდ იგივე დასახელების და ასაკის ქანების მაგნიტური პარამეტრები კარგადაა შესწავლილი აჭარის ტერიტორიაზე [7], სადაც $\mu=(700\div 5500) \cdot 10^{-6}$, ხოლო $I_n = (1500 \div 6000) \cdot 10^{-6}$ სმ.გრ.წმ. აღსანიშნავია, რომ ვულკანოგენების ნარჩენი დამაგნიტება მნიშვნელოვნად მეტია ინდუქციურ დამაგნიტებაზე, კენიგსბერგერის კოეფიციენტი $Q=1 \div 2$.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე სრულიად სამართლიანად შეიძლება ვთქვათ, რომ გურიის მთების ტერიტორიაზე დაფიქსირებული ანომალიების წყაროა შუა ეოცენის ასაკის ანდეზიტ-ბაზალტები. ამავე ქანებითაა გამოწვეული ტერიტორიის დეპრესიულ ნაწილში მაგნიტური ანომალიები, რომელთა ინტენსივობა მნიშვნელოვნად დაბალია გურიის მთების ანომალიებთან შედარებით, რაც განპირობებულია შუა ეოცენის ანდეზიტ-ბაზალტების მნიშვნელოვანი დაშორებით (ჭაბურღილების მონაცემებით) მიწის ზედაპირიდან.

შავი ზღვის სანაპიროზე, სოფ. გრიგოლეთიდან დასახლება შეკვეთილამდე გავრცელებულია ქვიშები, რომელთა მაგნიტური შემთვისებლობა μ საშუალოდ იცვლება $(1500-6000) \cdot 10^{-6}$ სმ.გრ.წმ ფარგლებში. ამასთან ერთად ქვიშების მინერალოგიურ-რაოდენობრივი ანალიზით დადგენილია (შემცირების მიხედვით) შემდეგი მინერალები: მინდვრის შპატი, კვარცი, ბიოტიტი, მუსკოვიტი, კარბონატები, პიროქსენი, მაგნეტიტი, ტიტანომაგნეტიტი, ქანების გარკინებული ნაწილები, ჰიდროქსანგები. ქვიშების ძირითადი მაგნიტური მინერალებია მაგნეტიტი და ტიტანომაგნეტიტი. ამ მინერალების წილი ქვიშის მასაში 5,9% შეადგენს [8].

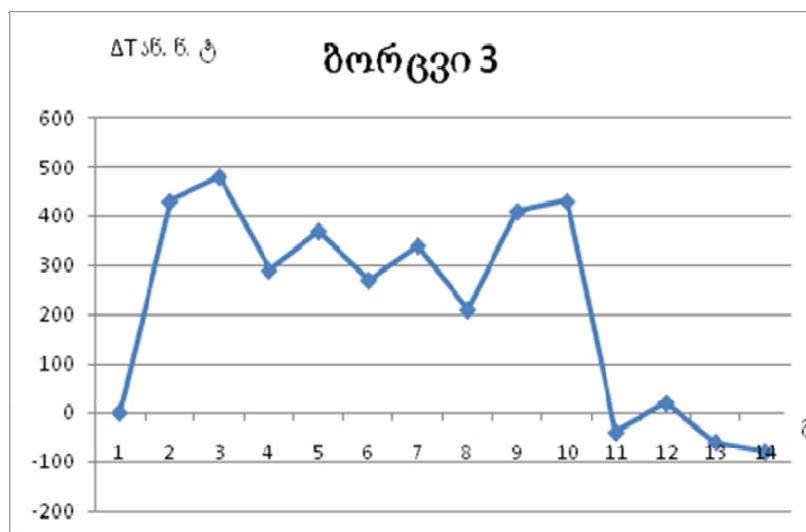
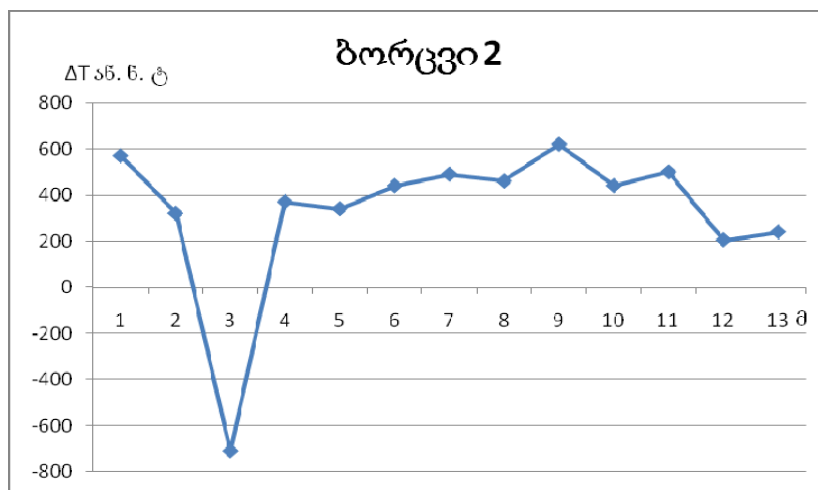
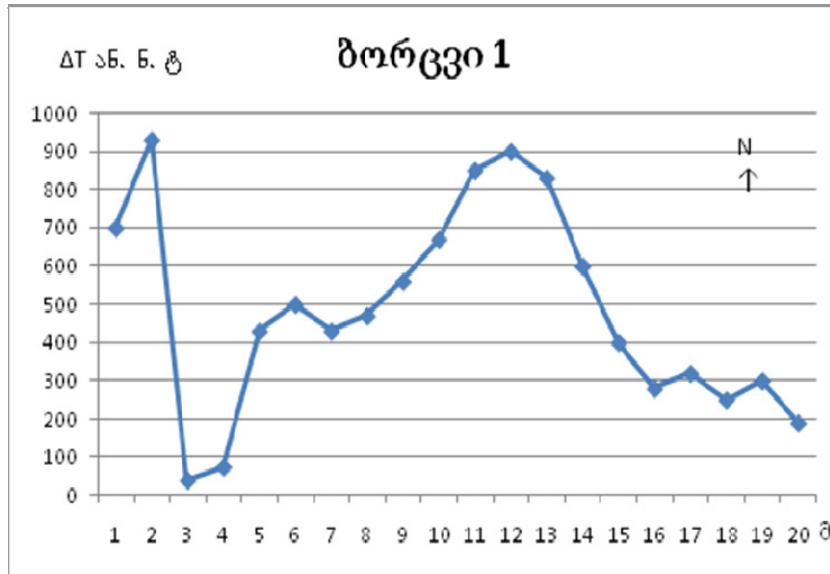
ჩვენი გამოკვლევებით (ბ. პატარკაციშვილის ტერიტორია) ზღვის სანაპიროს გასწვრივ მაგნიტური ველი მკვეთრად იცვლება (სურ. 3). საშუალოდ იგი 400 ნ.ტ.-ს რიგისაა.

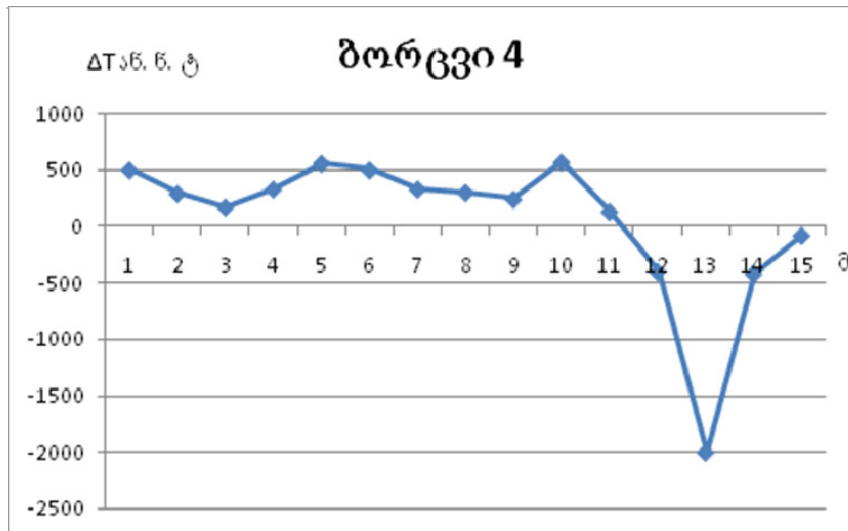


სურ. 3 . (ΔT) ან. ბ. პატარკაციშვილის ტერიტორიაზე

ტერიტორიის აღმოსავლეთ მხარეს, სადაც განლაგებულია ქვიშის მცირე სიმაღლის ბორცვები შევისწავლეთ, როგორც მაგნიტური ველის განაწილება, ისე მისი ვერტიკალური გრადიენტი. აღმოჩნდა, რომ მაგნიტური ველის ინტენსივობა ბორცვების სიმაღლის შემცირებასთან ერთად მცირდება (იხ. სურ. 4), რაც მიუთითებს იმ გარემოებაზე, რომ ბორცვზე

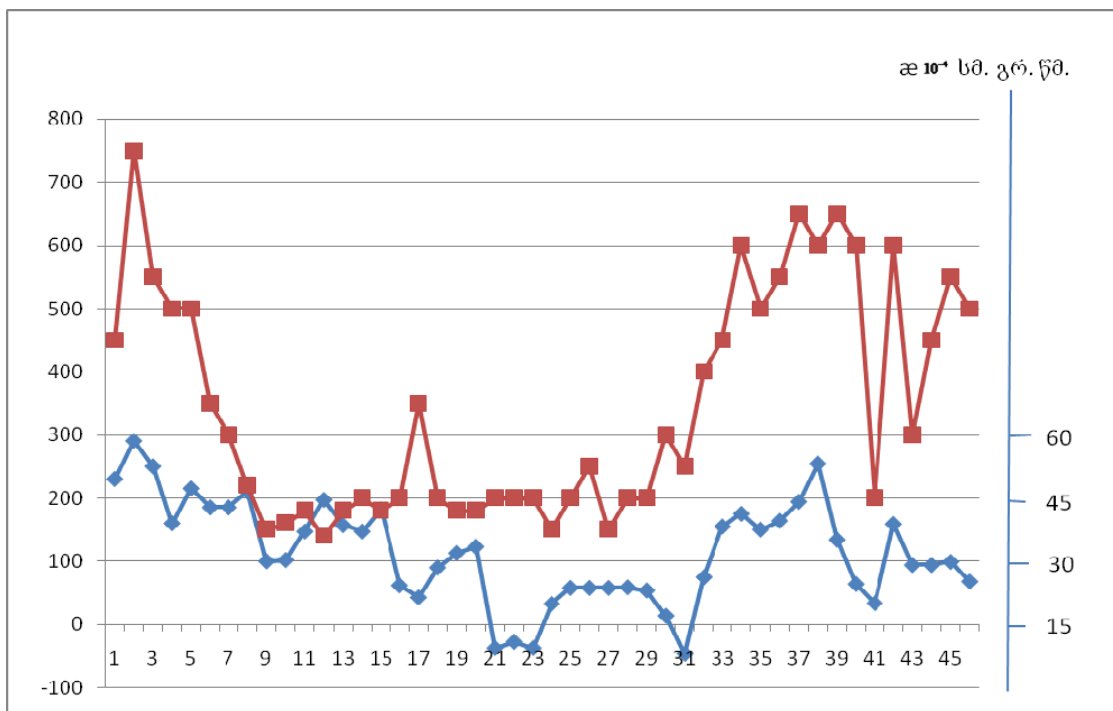
ველის მომატება ზღვის სანაპიროს ველთან შედარებით გამოწვეულია ქვიშების შემადგენლობით და ბორცვის ფორმით.





სურ. 4. ბორცვების მაგნიტური ველის ხასიათი ბ. პატარკაციშვილის ტერიტორიაზე

ჩვენი მოსაზრება, რომ შავი ზღვის სანაპირო ზოლში (ურეკი-შეკვეთილს შორის) ქვიშების გავრცელების ტერიტორიაზე, მაგნიტური ველის წყაროა ძირითადად მაგნიტური ქვიშები, რაც ცალსახად მტკიცდება 1978 წელს ჩატარებული გამოკვლევებით. პროფილის გასწვრივ ყოველ წერტილში გაზომილი იქნა, როგორც მაგნიტური ველის ვერტიკალური Z მდგენელი, ისე ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა α . როგორც სურ. 5-დან ჩანს, ტერიტორიაზე მაგნიტური ველის და შემთვისებლობის მრუდები ერთმანეთის მსგავსია. ეს კი ამტკიცებს, რომ ტერიტორიის მაგნიტური ველი ძირითადად გამოწვეულია ქვიშის ინდუქციური დამაგნიტებით.



სურ. 5. ურეკის ტერიტორიის ანომალური მაგნიტური ველი და ქვიშის მაგნიტური შემთვისებლობა

დასკვნა

1. გურიის ტერიტორიაზე დაფიქსირებული აერო და მიწისპირა მაგნიტური ანომალიების წყაროა მაგმური სხეულები, ძირითადად შუა ეოცენის ანდეზიტ-ბაზალტები, რომელთა მაგნიტური პარამეტრები უშუალოდ გურიის ტერიტორიაზე შესწავლილი არ არის, თუმცა თუ მაგნიტური ანომალიების ინტენსივობის მიხედვით ვიმსჯელებთ, მათ ყველაზე მაღალი დამაგნიტება უნდა ჰქონდეთ საქართველოს სხვა ტერიტორიებზე გავრცელებულ ანალოგიური ასაკის და შემადგენლობის ქანებთან შედარებით.
2. გურიის ტერიტორიაზე, შავი ზღვის სანაპირო ზოლში, გავრცელებული ქვიშები წარმოადგენენ გურიის ჩრდილო-აღმოსავლეთით დაფიქსირებული ანდეზიტ-ბაზალტების დაშლა-გამორეცხვის პროდუქტს, რომელიც მდინარეებმა (ძირითადად მდ. სუფსა) ჩამოიტანეს ზღვაში. ქვიშის სანაპირო ზოლში განაწილება კი განაპირობა რეგიონის ჰიდროგეოლოგიურმა პირობებმა.
3. შავი ზღვის სანაპირო ზოლზე (გრიგოლეთი-შეკვეთილი) დედამიწის მაგნიტური ველის (სრული მდგენელი T) ინტენსივობა საშუალოდ 300-500 ნ.ტ.-ს ფარგლებში იცვლება. მაგნიტური ველის წყაროა ტერიტორიაზე გავრცელებული, ინდუქციურად დამაგნიტებული ქვიშები.

ლიტერატურა

1. Надареишвили Г.Ш. Среднеэоценовый вулканизм Гурийского хребта и Южно-Имеретинского прегорья. Автореферат дис. Изд. «Мецниереба», Тбилиси 1968.
2. Дзоценидзе Г.С. Домиоценовый эффузивный вулканизм Грузии. Мориграфия. Изд. АН ГССР, Тбилиси, 1948, №1, 407с.
3. Нодиа. М.З. Магнитная микросъемка в Ланчхутском и Озургетском районах. Тр. Тб. Геофиз. инст., т. 1, 1936.
4. Нодиа. М.З. К вопросу о применимости магнитометрического метода разведки к магнитным пескам Черноморского побережья. Сообщ. Груз. Фил. АН СССР, т. 1, №6, 1940.
5. ნოდია მ.. გურიის მაგნიტური ანომალია და ზოგიერთი მისი თავისებურებანი. საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის მოამბე ტ. II, №5, 1941, გვ. 405-408.
6. ნოდია.მ. სამარშრუტო მაგნიტური გაზომვები ომფარეთის ნავთის საბადოს ზოგიერთ უბანზე. საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის მოამბე ტ. V, №4, 1944, გვ. 383-390.
7. გოგუა.რ. მაგმური ქანების მაგნიტური ველი და მაგნეტიზმი. მონოგრაფია. მ.ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თბილისი 2017წ., გვ. 125.
8. Сигуа. Т. Переработка железных и марганцевых руд Закавказья. «Мецниереба». Тбилиси, 1975.
9. Сехниаидзе. А. Г. Магнитное поле Грузии и его геологическая интерпретация. Дис. Тб. 1976 г.

**გურიის ტერიტორიის მაგნიტური ველი და მისი
გეოლოგიური ინტერპრეტაცია**

გოგუა რ., გვანცელაძე თ., ქირია ჯ.

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია გურიის ტერიტორიაზე მაგნიტური ანომალიების გეოლოგიური ინტერპრეტაციის სიკითხები. დადგენილია რომ ინტენსიური მაგნიტური ანომალიები გამოწვეულია შუა ეოცენის ანდეზიტ-ბაზალტებით, ხოლო ანომალიები შავი ზღვის სანაპიროზე-ქვიშით,რომელიც გამდიდრებულია ფერომაგნიტური მინერალებით.

**Магнитное поле территории Гурии и его геологическая
интерпретация**

Гогуа Р.А., Гванцеладзе Т.А., Кириа Дж. К.

Реферат

В работе рассмотрены вопросы геологической интерпретации магнитных аномалий территории Гурии. Установлено, что интенсивные магнитные аномалии вызваны среднеэоценовыми породами андезит-базальтового состава, а аномалии на берегу Черного моря-песками,обогаченными ферро-магнитными минералами.

The magnetic field of the territory of Guria and its geological interpretation

Gogua R.A., Gvantseladze T.A., Kiria J. K.

Abstract

The work the questions of geological interpretation of magnetic anomalies of the territory of Guria considers. It is established that the intense magnetic anomalies are caused by the Middle Eocene rocks of the andesite-basalt composition, whereas the anomalies on the shores of the Black Sea are caused by the sands enriched with ferro-magnetic minerals.

ნიადაგის ზედაპირის რადიაციულ-ქიმიური დაბინძურების ინტენსივობის ცვლილების არასტაციონარული მოდელი

ჩანქსელიანი ზ., მათიაშვილი ს., კერესელიძე ზ., ჩხიტუნძიე მ.

*ივანე ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
sophiko_79@mail.ru, marina_chxitunidze@yahoo.com*

შესავალი. გარემოს დაბინძურება მავნე ნარჩენებით წარმოადგენს გლობალურ პრობლემას. ჯანდაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის მონაცემების თანახმად, ადამიანის მდგომარეობის განმსაზღვრელ ფაქტორებში 20%-მდე წვლილი მოდისბუნებრივ პირობებზე. ეკოლოგიური მდგომარეობა პირდაპირ ან ირიბად არის მიჩნეული სხვადასხვა დაავადებების მაპროვოცირებელ მიზეზად. ამას მოწმობს მაგალითად, ონკოლოგიური დაავადებების სულ უფრო მზარდი მასშტაბი და გაზირებული გენეტიკური მუტაციები. ამის მთავარი მიზეზია გარემოში მოხვედრილი ტოქსიკური სამრეწველო ნარჩენები. განვითარებული მრეწველობის მქონე ქვეყნებში მეტად საგრძნობი აღმოჩნდა რადიოაქტიური ელემენტებითა და მძიმე მეტალებით დაბინძურება [1-6]. მჭიდროდ ურბანიზირებულ ადგილებში განსაკუთრებით ნეგატიური მოქმედება გააჩნიათ მძლავრ სამრეწველო კომპლექსებს, კერძოდ, მეტალურგიულ კომბინატებს. ამ თვალსაზრისით გამონაკლისი არ იყო საქართველო, სადაც ათწლეულების განმავლობაში რუსთავსა და ზესტაფონში ფუნქციონირებდნენ მეტალურგიული კომბინატები. ისინი განთავსებულნი იყვნენ უშუალოდ შუაგულ ქალაქებში, რომლებიც ემიჯნებიან სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მქონე მიწებს. ცნობილია, რომ ამ ობიექტებიდან ადგილი ჰქონდა გარემოს მასშტაბურ დაბინძურებას ატმოსფერული გამონაბოლქვებისა და მყარი ნარჩენების არასათანადო უტილიზაციის გამო. ამის შედეგად რუსთავსა და ზესტაფონში ჰაერის დაბინძურებამ კრიტიკულ დონეს მიაღწია. ამიტომ, გასული საუკუნის 70-იან წლებში საბჭოთა ხელისუფლებამ მიუღებელი შეიქმნა მეტალურგიულ კომბინატებში განეხორციელებინა გარკვეული დამცავი ღონისძიებები. მაგრამ, როგორც თავის დროზე მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის განყოფილების მიერ ჩატარებულმა სპეციალურმა გამოკვლევამ აჩვენა, ეს ღონისძიებები არაეფექტური აღმოჩნდა. თანაც ეს ინფორმაცია, მაშინდელი ხელისუფლების პოლიტიკიდან გამომდინარე, ფაქტიურად გასაიდუმლოვდა და სათანადო სისრულით არ აისახა ღია პუბლიკაციებში.

მეტალურგიული წარმოების თანმდევი დაბინძურების დინამიკის დროში და სივრცეში ცვლილების შესწავლა განვითარებულ ქვეყნებში საკმაო ხანია მიმდინარეობს. ამ მიმართულებით კვლევა გააქტიურდა რუსეთში, რომელიც ყოფილი საბჭოთა სამრეწველო კომპლექსის მთავარი მემკვიდრეა და მნიშვნელოვან წილად ეკოლოგიური პრობლემების

იგივე წყაროები გააჩნია, როგორც საქართველოს. მაგალითად, ურალის სამრეწველო რეგიონისათვის უკვე არსებობს საკმაოდ სრული ინფორმაციული ბაზა. კერძოდ, დადგენილია ქალაქ ჩუსოვას მძლავრი მეტალურგიული კომპლექსის მავნე მოქმედების ტექნოგენური მექანიზმები და განსაზღვრულია მძიმე მეტალებით ნიადაგის დაბინძურების მახასიათებლები [7]. ამ მონოგრაფიაში მოცემული დაბინძურების დონის დინამიკური ცვლილების პროგნოზის მეთოდის შეიძლება გარკვეულ ფარგლებში უნივერსალურია და იდენტური უნდა იყოს ნებისმიერი მავნე ან ფერადი მეტალურგიული წარმოებისათვის. ცნობილია, რომ ქიმიურ-რადიაციული დაბინძურების ატმოსფეროსა და ნიადაგში გავრცელების ბუნებრივი მექანიზმები ფაქტიურად უნივერსალურია. ამკარაა, რომ ასეთი მექანიზმები მოქმედებდნენ რუსთავის მეტალურგიული კომბინატის მომიჯნავე ტერიტორიაზეც. გარდა ამისა, ყოფილ საბჭოთა კავშირში მეტალურგიული წარმოება პრაქტიკულად ყველგან ერთნაირი ტექნოლოგიით ხდებოდა, შესაბამისად, სრულიად დასაშვებია, რომ არსებობდეს თვისებრივი მსგავსება ჩუსოვასა და რუსთავის ნიადაგების დაბინძურების რეტროსპექტიულ (საწყის) სურათებს შორის. ამ შემთხვევაში რაოდენობრივი განსხვავება გამოწვეული უნდა იყოს მხოლოდ ამ კომბინატებში გამოყენებული რკინის მადნის, მეტალურგიული პროდუქციის სახეობისა და საწვავის შემადგენლობის განსხვავებით.

გარემოს ფიზიკური პარამეტრები – ტექნოგენური დაბინძურება. მეტალურგიული ობიექტები დანატმოსფერულ გარემოში ქიმიური ელემენტების მოხვედრა ძირითადად ხდება ღუმელების მილებიდან გამოფრქვეულ აირთან ერთად. ამიტომ მილი შეიძლება წარმოვიდგინოთ წერტილოვან წყაროდ, რომლის პროდუქტი ჰაერში აეროზოლების სახით გავრცელებასთან ერთად, თანდათან ილექება დედამიწის ზედაპირზე. მიუხედავად იმისა, რომ ორივე მოვლენა ისეთი გადატანითი ტიპის პროცესებს მიეკუთვნება, რომელთა მექანიზმები ფიზიკური თვალსაზრისით მსგავსია, მათი განვითარება ხდება სხვადასხვა გარემოში. ამიტომ ბუნებრივია, რომ ატმოსფეროში დაბინძურების გავრცელების დრო არ შეიძლება დაბინძურების ნიადაგში გავრცელების დროის თანაზომადი იყოს. ამ თვალსაზრისით დროის საწყის მომენტს პრინციპული მნიშვნელობა აქვს მხოლოდ ნიადაგის დაბინძურებისათვის. მაგალითად, რუსთავში გარემოს დაბინძურების საწყისი მომენტად უნდა ჩავთვალოთ მეტალურგიული კომბინატის ამუშავების თარიღი (დაახლოებით 1945 წ.). ბუნებრივია, რომ დაბინძურებას არ ჰქონდა ერთჯერადი ხასიათი და პერმანენტულად ხდებოდა საბჭოთა კავშირის დაშლამდე.

გარემოს დაბინძურების ეფექტის შეფასებისათვის საჭიროა ვიცოდეთ წყაროს სიმძლავრე, ანუ დაბინძურების საწყისი კონცენტრაცია, და წყაროს მოქმედების ხანგრძლივობა. დედამიწაზე დამაბინძურებელი აგენტის განფენა შეიძლება მოხდეს როგორც ჰაერიდან, ასევე დედამიწაზე წარმოების მყარი ნარჩენების პირდაპირი დაყრის შედეგად. ამის კარგი მაგალითია რუსთავის ცენტრალური პარკი, რომლის ტერიტორიაზე წლების განმავლობაში მოხდა რუსთავის მეტალურგიულ კომბინატში გამომუშავებული წიდის დაყრა დიდი ოდენობით. თუმცა მეტალურგიული წარმოება პრაქტიკულად უწყვეტი ხასიათისაა, დასაშვებია ამ პროცესის დისკრეტულ აქტებად დაშლა. თითოეული ასეთი აბსტრაქტული აქტი შეიძლება შემდეგნაირად წარმოვიდგინოთ: გარემოს დაბინძურება მაქსიმალურია წყაროს სიახლოვეს, ხოლო მანძილის ზრდასთან ერთად დაბინძურების ინტენსივობა იკლებს. ეს პროცესი ვითარდება როგორც სივრცეში, ასევე დროში, ანუ დიფუზიურ-კონვექციური გადატანის გამო ლოკალური დაბინძურების დონე თანდათან უნდა იკლებ-

დეს. ფორმალურად, სადღაც პერიფერიაზე, ქიმიურ-რადიაციული დაბინძურების ინტენსივობა უნდა აღწევდეს ტექნოგენური დაბინძურებისაგან თავისუფალი ტერიტორიისათვის დამახასიათებელ ფონურ მნიშვნელობას. თუმცა, რეალურ პირობებში ასეთი მოთხოვნის დაკმაყოფილება ძნელად წარმოსადგენია. მართლაც, აშკარაა, რომ გარემოში მავნე ქიმიური ელემენტების გავრცელება, საწყისი კონცენტრაციის გარდა, დამოკიდებულია კიდევ ორ მნიშვნელოვან ფაქტორზე: მეტეოროლოგიურ პირობებზე და ნიადაგის ფიზიკა-ქიმიურ თვისებებზე. თითოეულ ამ ფაქტორს ახასიათებს მრავალი პარამეტრი, რაც ნიშნავს, რომ დაბინძურების გავრცელების პროცესი მათემატიკური თვალსაზრისით წარმოადგენს განსაკუთრებულად რთულ ამოცანას, რომლის ზოგადი ანალიზური ამოხსნა შეუძლებელია. თუმცა, კონვექციური გადატანის მექანიზმის უგულვებელყოფის შემთხვევაში, დიფუზიის განტოლების კლასიკური ამონახსნების გამოყენებით, შესაძლებელია საკმაოდ ინფორმატიული ანალიზური კავშირების მიღება. ასეთი ამონახსნით მოცემული დაბინძურების დონის დინამიური ცვლილების სურათი გარკვეულ სასაზღვრო პირობებში შეიძლება გახდეს საკმაოდ კორექტული რაოდენობრივი შეფასებების საფუძველი.

დიფუზიის პროცესში ფართის ზრდასთან ერთად კლებულობს დაბინძურების კონცენტრაცია, ანუ დიფუზიის გარეშე შეუძლებელი იქნებოდა დაბინძურების დონის ცვლილება. ამრიგად, დიფუზიური პროცესი მეტ-ნაკლები სიჩქარით ახდენს დაბინძურების ეფექტის ნიველირებას, რომლის დონე დამოკიდებულია წყაროს სიმძლავრეზე დამოქმედების ხანგრძლივობაზე. ამიტომ, ნიადაგის დაბინძურების ფონურ მნიშვნელობასთან მიახლოების თვალსაზრისით, მნიშვნელოვანია, თუ როგორია: ერთჯერადი, პერიოდული თუ უწყვეტი ხასიათის, დაბინძურების წყაროს მოქმედება. მხედველობაშია აგრეთვე მისაღები, იყო თუ არა წყვეტა დაბინძურების წყაროს მოქმედებაში, ან ხომ არ შეიცვალა დაბინძურების ქიმიური სტრუქტურა და ინტენსივობა. ნებისმიერ შემთხვევაში, დროის მოცემულ მომენტში დაბინძურების დონე პირდაპირ კავშირშია რეტროსპექტული სურათის სივრცეში და დროში განვითარების პროცესთან. ბუნებრივია, რომ მოდელირების პროცესში გამოყენებული უნდა იყოს ქიმიური დაბინძურების მიგრაციის განმსაზღვრელი ფიზიკური პარამეტრები (მაგნიტური ამთვისებლობა, ჰიდრავლიკური დიფუზიის კოეფიციენტი, ზედაპირის ოროგრაფია, მეტეოროლოგიური მონაცემები). ამიტომ, დაბინძურების დინამიკის მოდელირების სარწმუნოება დამოკიდებულია არა მხოლოდ მათემატიკურ კორექტულობაზე, არამედ ნიადაგის სინჯების აღების ადგილის სწორად განსაზღვრაზე და ნიმუშების სრულფასოვან ლაბორატორიულ ანალიზზეც.

ფიზიკური მოდელი. არასტაციონარული დიფუზიის განტოლება ფორმით თანხვედება სითბო გამტარობის განტოლებას [9,10]. როგორც ტემპერატურის, ასევე მასის გადაცემა მიეკუთვნება გადატანის პროცესს, რომელს სისწრაფეს აკონტროლებს გარემოს შესაბამისი პარამეტრი: სითბოგამტარობის (ან ტემპერატურა გამტარებლობის) კოეფიციენტი და დიფუზიის კოეფიციენტი. დიფუზიის პროცესის სიჩქარე, სითბოს გადაცემის სიჩქარის მსგავსად, დამოკიდებულია საწყისი კონცენტრაციაზე. შესაბამისად, რაც უფრო დიდია მასის გრადიენტი, მით უფრო მეტი დრო სჭირდება დიფუნდირებადი ელემენტის პრაქტიკულად ერთგვაროვანი განაწილების დამყარებას. თუმცა, ანალოგია სითბოგადაცემასა და მასის გადაცემას შორის მხოლოდ ზედაპირულია. ტემპერატურის გადაცემის ბუნება თერმოდინამიკურია და იმართება ნივთიერების შინაგანი მიკროპროცესებით. მასის დიფუზია კი წარმოადგენს მექანიკურ მაკროპროცესს, რომელსაც იწვევენ, მაგალითად გრავიტაცი-

ული ან ელექტრომაგნიტური ველები, ხოლო ხელშემწყობი პირობებია გარემო ფაქტორები (ქარი, წყალი, ტემპერატურა). ეს ნიშნავს, რომ იმ შემთხვევაშიც კი, როცა კონვექციურ წევრს არ ვითვლისწინებთ, დიფუზიის განტოლების ამონახსნი არაცხადად მაინც არის დამოკიდებული გარემოს ტენიანობაზე, რომელიც დიფუზიის კოეფიციენტის ერთ-ერთი განმსაზღვრელი პარამეტრია.

სითბოგადაცემის განტოლების მსგავსად, რომელიც განსაზღვრავს ტემპერატურულ ველს, დიფუზიის განტოლება კონკრეტული საწყისი და სასაზღვრო პირობებისათვის იძლევა ქიმიური დაბინძურების დროში და სივრცეში ცვლილების სურათის აგების საშუალებას. კერძოდ, არასტაციონარული დიფუზიის განტოლების ამონახსნის ასიმპტოტიკური ანალიზი და მისი გრაფიკული წარმოდგენა ხშირ შემთხვევაში განსაკუთრებით ღირებულია პრაქტიკული თვალსაზრისით. ეს ვრცელდება იმ შემთხვევებზეც, როცა ზუსტი ანალიზური ამოხსნის შესაძლებლობა შეზღუდულია. ამიტომ, მრავალპარამეტრიანი ამოცანის ამოხსნის პროცესში, როგორც წესი, გარკვეული გამამარტივებელი დაშვებების გამოყენება გარდაუვალია. კერძოდ, ეს ეხება დაბინძურების პრობლემასთან დაკავშირებულ ამოცანებს. გამამარტივებელი დაშვებები იძლევიან იმის შესაძლებლობას, რომ ქიმიური დაბინძურების მიგრაციის ზოგადი ამოცანა გაიხლიჩოს უფრო მარტივ შემადგენელ ამოცანებად. მათი ამონახსნები, მიღებული ზოგადი მათემატიკური მოდელის ჩარჩოში, შეიძლება საკმაოდ ეფექტურად იყოს გამოყენებული კონკრეტული მიზნისათვის. მაგრამ, იმისათვის, რომ რთული ანალიზური მათემატიკური ამონახსნის საფუძველზე გაკეთდეს პრაქტიკულად ღირებული თვისებრივ-რაოდენობრივი შეფასებები, ხშირ შემთხვევაში საჭიროა არა მარტო მათემატიკური, არამედ გარკვეული ფიზიკური დაშვებებიც. მაგალითად, ჩვენს მიერ დასახული ამოცანა მოითხოვს, რომ გარკვეულ ფარგლებში განვასხვავოთ ორი მსგავსი პროცესი: ატმოსფეროში გამოფრქვეული ქიმიური ელემენტების გავრცელება დედამიწაზე განფენილი ან დალექილი დაბინძურების მიგრაციისაგან. ამიტომ, მიზანშეწონილია, რომ საჭიროების შემთხვევაში განვიხილოთ ორი, ერთნაირი მათემატიკური ბაზისის მქონე, ამოცანა:

პირველი ამოცანა. მადანის გამოდნობის შედეგად ჰაერში მოხვედრილი აეროზოლები შეუძლებელია თანაბრად დაილექოს მეტალურგიული ღუმელის ან საკვამლე მილის ირგვლივ. ეს ნიშნავს, რომ ქიმიური დაბინძურების მიგრაცია აზიმუტალურად სიმეტრიულია მხოლოდ თეორიულად. რეალურად, ატმოსფეროში ქიმიური დაბინძურების დიფუზიის პარალელურად ყოველთვის ექნება ადგილი აგრეთვე აეროზოლების კონვექციურ გადატანასაც. ამიტომ, ქიმიური დაბინძურების გავრცელება ატმოსფეროში პრაქტიკულად მომენტალურად ხდება, მაშინაც კი, როცა ქარი სუსტია ან საერთოდ არ იგრძნობა (ე.წ. შტილი). ძლიერი ქარის შემთხვევაში ატმოსფერული მინარევის გატანა შეიძლება მოხდეს თეორიულად რაგინდ შორ მანძილზე, თუმცა ეს მოხდება ასიმეტრიულად. კერძოდ, რუსთავის პირობებში ატმოსფერულ ქარებს გააჩნიათ გაბატონებული მიმართულება მტკვრის ხეობის გასწვრივ, დასავლეთიდან სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. რუსთავის პარკი კი მდებარეობს მტკვრის მიმდებარედ, მეტალურგიული კომბინატიდან დასავლეთით. ამიტომ, შეიძლება ვიქონიოთ ვარაუდი, რომ, პარკის ტერიტორიაზე ნიადაგის დაბინძურების არსებობის შემთხვევაში, მისი ძირითადი წყარო უნდაყოფილიყო წიდა, და არა მეტალურგიული კომბინატის ღუმელებიდან ატმოსფერული გამონაფრქვევი. ნებისმიერ შემთხვევაში, დაბინძურების მოდელირების ამოცანა მოითხოვს, რომ ადგილის სათანადოდ

შემოწმების პარალელურად აგრეთვე შემოწმდეს ქიმიური დაბინძურების ფონი როგორც პარკის მიმდებარედ, ასევე მეტალურგიული კომბინატიდან აღმოსავლეთის მიმართულე-ბით. მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ აღმოჩნდება, რომ მეტალურგიული კომბინატიდან აღმოსავლეთით დაბინძურების ფონი აღემატება ფონს პარკის მიმდებარე ტერიტორიაზე, შეგვიძლია პარკის ტერიტორიის დაბინძურების მთავარ წყაროდ ნაყარი წიდა მივიჩნიოთ. სხვა შემთხვევაში უნდა დავუშვათ, რომ მოხდა მყარიწიდათ დაბინძურებისა და აეროზო-ლური ატმოსფერული გამონაფრქვევის ზედდება.

მეორე ამოცანა. ნიადაგში ქიმიური დაბინძურების მიგრაციას ძირითადად განსაზღ-ვრავს გრუნტის წყლების ნელი მოძრაობა, ე.წ. ფილტრაციის პროცესი. ატმოსფერული და-ბინძურებისაგან განსხვავებით, ნიადაგში დიფუზიაზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დედამიწის ზედაპირის ოროგრაფია, ატმოსფერული ნალექები, ნიადაგის გვარობა და მისი მაგნიტური თვისებები. კონკრეტულ გარემო პირობებში შესაძლებელია, რომ ზოგიერთი ამ ფაქტორთაგანი ერთნაირად ეფექტური არ იყოს. მაგალითად, მარტივი ოროგრაფიისა და დაბალი ნალექიანობის პირობებში, ნიადაგის ზედაპირული დაბინძურების დროში და სივრცეში გავრცელების მოდელირებისას დასაშვებია ზედაპირული წყლების, ანუ კონვექ-ციის ეფექტის, უგულვებლყოფა. ასეთ შემთხვევაში კორექტულად ითვლება დიფუზიის განტოლებაში გამოყენებული იყოს ჰიდრავლიკური დიფუზიის კოეფიციენტი, რომლის სიდიდე დამოკიდებულია წყლის (გაწყლოვანების) ფაქტორზე. სამაგიეროდ, რთული ოროგრაფიის შემთხვევაში სამართლიანია დიფუზიის განტოლებაში კონვექციური წევრის დამატება, როგორც ნიადაგის ზედაპირის, ასევე სიღრმის მიმართულეებით. ასეთი განზო-გადოება, უმარტივესი შემთხვევების გარდა, მნიშვნელოვნად ართულებს შესაბამისი გან-ტოლების ანალიზურ ამოხსნას, თუმცა პრინციპულად არ მოქმედებს რიცხვითი ამოხსნის სქემაზე. მეორე ამოცანაში გასათვალისწინებელია რომ, ატმოსფეროსაგან განსხვავებით, დედამიწაზე ხშირად შეუძლებელია სათანადო სიზუსტით განისაზღვროს ზედაპირული წყლების მოძრაობის გაბატონებული მიმართულება. მაგალითად, რუსთავის პარკის ტერი-ტორია ოროგრაფიულად მარტივია, რადგანაც პრაქტიკულად ბრტყელია. ამიტომ, ზედა-პირული წყალი თეორიულად შეიძლება წავიდეს ნებისმიერი მიმართულებით. თუმცა, ზედაპირისაგან განსხვავებით, ნიადაგის სიღრმეში შეიძლება არსებობდნენ გრუნტის წყლების დინების გაბატონებული მიმართულებები. ეს ნიშნავს, რომ რაღაც ადგილებში შეიძლება მოხდეს დაბინძურების ზედაპირული კონცენტრაციის ზრდა, ანუ ჩამოყალიბ-დეს არაერთგვაროვანი სურათი. არსებობს პირველი და მეორე ამოცანების განმასხვავე-ბელი კიდევ ერთი ფაქტორი, რომელიც დაკავშირებულია დიფუზიის კოეფიციენტის გვა-რობასთან. ატმოსფეროში, ნიადაგისაგან განსხვავებით, შესაძლებელია ტურბულენტური დიფუზია. ანუ, ჩვეულებრივის გარდა, ატმოსფეროს, წყლის მსგავსად, გააჩნია აგრეთვე ტურბულენტური დიფუზიის კინემატიკური და დინამიკური კოეფიციენტი. ნიადაგის ზედაპირზე ასეთი კოეფიციენტის ეფექტური სიდიდის დასადგენად საჭიროა ზედაპი-რული წყლების მოძრაობის საკმაოდ ზუსტი ტოპოლოგიური სურათი. მაგრამ, მისი წარ-მოდგენა ხშირ შემთხვევაში პრაქტიკულად შეუძლებელია, მაგალითად, ისეთი სპონტა-ნური მოვლენისდროს, როგორც არისძლიერი წვიმა. თუმცა, დაბალი ინტენსივობის ნა-ლექების შემთხვევაში უხემ მიახლოებაში შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ გრავიტაციული ზე-მოქმედების გამო წყალი რაღაც დონემდე ვერტიკალურად ჩადის სიღრმეში. შემდგომ მიახლოებაში, მარტივი ოროგრაფიისა და ზედაპირული წყლების მცირე სიჩქარეების შემ-

თხვევაში, რიცხვითი გამოთვლებისათვის შეიძლება გაკეთდეს რაოდენობრივი შესწორება ზედაპირზე ტურბულენტური დიფუზიის ეფექტის გათვალისწინებით.

ცნობილია, რომ, ატმოსფეროსაგან განსხვავებით, ნიადაგში დიფუზიის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ნიადაგის ტიპზე. ცხადია, რომ ერთნაირი გაწყლოვანების პირობებში დიფუზიური გადატანის პროცესი ფოროვან ნიადაგში უფრო სწრაფი იქნება, ვიდრე მაგალითად, ქვიშოვანში ან თიხოვანში. დადგენილია, რომ მექანიკური სტრუქტურული თვისებების გარდა, მძიმე მეტალების დიფუზიაზე მნიშვნელოვანი გავლენის მოხდენა შეუძლია აგრეთვე ნიადაგის მაგნიტურ თვისებებსაც [7,8]. თუმცა, მაღალი ფოროვნებისაგან განსხვავებით, რომელიც ხელს უწყობს სწრაფ დიფუზიას, ნიადაგის მაგნიტურობა პირიქით, ხელს უშლის ქიმიურ-რადიაციული დაბინძურების მეტალური შემადგენელის მიგრაციას. ამ ეფექტის ფიზიკური არსი მდგომარეობს შემდეგში: თუ ნიადაგი შეიცავს მაღალი მაგნიტური ამ თვისებლობის მქონე კომპონენტს, მაგალითად ფერომაგნეტიკს, მისი კონცენტრაციის ლოკალური ცვლილების პროპორციულად ძლიერდება ბუნებრივი მაგნიტური ველი. რადგანაც ეს ეფექტი არაერთგვაროვანია, წარმოიქმნება მაგნიტური ველის გრადიენტები და მათთან დაკავშირებული ცვლადი მიმართულების ლოკალური ტელურული მიკროდენები, რომლებიც, თავის მხრივ აძლიერებენ მაგნიტური ველის არაერთგვაროვნებას. ამიტომ, ასეთ გარემოში მაგნიტური ველის ზემოქმედებას მძიმე მეტალების ნაწილაკების მიგრაციას არ გააჩნია უპირატესი მიმართულება, ანუ ხდება მათი ლოკალური ბმა. ეს ნიშნავს, რომ წყლის მიერ წამოღებული რომელიმე მძიმე მეტალის ელემენტი, მაგნიტური ველის არაერთგვაროვნების გამო შეიძლება სადღაც გაჩერდეს. ამრიგად, ჩნდება ნიადაგში მძიმე მეტალების დაგროვების მაგნიტური მექანიზმი, რაც იწვევს რეგულარობის დარღვევას დაბინძურების სურათში, ანუ არაერთგვაროვნების წარმოქმნას ნიადაგში მძიმე მეტალების სივრცულ განაწილებაში. ეს შეიძლება მოხდეს მაშინაც კი, როცა გრუნტში წყალი თანაბრად მოძრაობს ყველა მიმართულებით. აღწერილი ფიზიკური ეფექტის მათემატიკური მოდელირება სრულფასოვნად კორექტული ანალიზური გზით შეუძლებელია. ამისათვის უნდა მოხდეს დიფუზიის განტოლებაში კონვექციური წევრების დამატება, ხოლო წყლის მოძრაობის განტოლებაში გათვალისწინებული უნდა იყოს მაგნიტური ეფექტი. ფაქტიურად ეს ნიშნავს თვითშეთანხმებული მაგნიტოჰიდროდინამიკური ამოცანის ანალიზურ ამოხსნას. ასეთი სირთულე შეიძლება დაძლეული იყოს მხოლოდ იმ პირობით, თუ ჩავთვლით, რომ მაგნიტური ძალების ეფექტი მხოლოდ არაცხადად ვლინდება დაბინძურების მიგრაციის პროცესში, ანუ აისახება მხოლოდ დიფუზიის კოეფიციენტის სიდიდეში. ასეთი დაშვების სამართლიანობისათვის პირველ რიგში აუცილებელია კონკრეტული ნიადაგის სტრუქტურული ანალიზი, მისი მაგნიტური ამთვისებლობის განსაზღვრის მიზნით. თუმცა, ნებისმიერ შემთხვევაში მოსალოდნელია, რომ მსგავსი დაშვება მეტ-ნაკლებად შეცვლის დაბინძურების ერთგვაროვანი განაწილების დამყარებისათვის საჭირო დროით ინტერვალს.

მათემატიკური მოდელი. აზიმუტალური სიმეტრიის მიახლოებაში დაბინძურების სივრცული განაწილების სურათი მიიღება ერთგანზომილებიანი არასტაციონარული დიფუზიის განტოლებიდან

$$\frac{\partial K}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 K}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial K}{\partial r} \right), \quad t > 0, \quad (1)$$

სადაც K – დაბინძურების კონცენტრაციაა, D – დიფუზიის კოეფიციენტი, t – დრო, r – რადიალური კოორდინატა.

ცნობილია, რომ (1) განტოლების ზოგადი ამონახსნი წარმოადგენს ფურიე კომპონენტების უსასრულო ჯამს [9,10]

$$K(r,t) = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{2}{R} \int_0^R r \varphi(r) \sin \frac{n\pi r}{R} dr \right\} \frac{1}{r} \sin \frac{n\pi r}{R} e^{-\left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 Dt}. \quad (2)$$

კონკრეტული ამონახსნი, სასაზღვრო პირობის გარდა დამოკიდებული იქნება $\varphi(r)$ -ფუნქციაზე, რომელიც დაკავშირებულია საწყის პირობასთან, ანუ დაბინძურების კონცენტრაციის განაწილებასთან დროის საწყის მომენტში

$$K|_{t=0} = \varphi(r), \quad 0 \leq r < R, \quad (3)$$

სადაც R-დაბინძურებული არის რადიუსია. ჩვენი მოდელის ფარგლებში დაბინძურების დონის ცვლილების სურათის თეორიული ვარიანტების სრულფასოვნად წარმოდგენისათვის საჭიროა $\varphi(r)$ პარამეტრის სხვადასხვა მოდელების განხილვა. კერძოდ, ქვემოთ გამოყენებული იქნება დაბინძურების საწყისი კონცენტრაციის შემდეგი განაწილებები

- 1) $\varphi(r) = K_0 = const,$
 - 2) $\varphi(r) = K_0 \delta(r),$
 - 3) $\varphi(r) = K_0 \frac{R}{r},$
- (4)

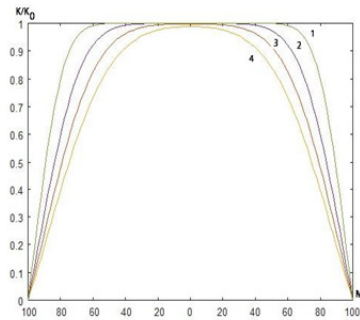
სადაც $\delta(r)$ -წარმოადგენს დირაკის დელტა ფუნქციას: $\delta(r)|_{r \neq 0} = 0, \delta(r)|_{r=0} = \infty.$

ამრიგად, პირველ შემთხვევაში ქიმიური დაბინძურების საწყისი კონცენტრაციის წრიული განაწილება მუდმივი იქნება, მეორე შემთხვევაში გვექნება წერტილოვანი დაბინძურება, რადგანაც საწყისი კონცენტრაცია დირაკის დელტა-ფუნქციის ფორმის იქნება, რაც შეეფერება წერტილოვანი ატმოსფერული გამონაფრქვევის სიტუაციას, ხოლო მესამე შემთხვევაში გვექნება პირველი ორი მოდელის შერეული ვარიანტი.

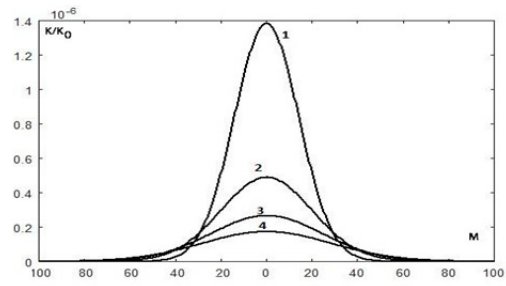
თუ ჩავთვლით, რომ საზღვარზე დაბინძურება ფონური მნიშვნელობისაა, რაც იმის ექვივალენტურია, რომ დაბინძურება არ გვაქვს, სამივე მოდელისათვის გვექნება საერთო სასაზღვრო პირობა

$$K(R, t) = 0. \quad (5)$$

ცნობილია, რომ დროის მოცემულ მომენტში უსასრულო კრებადი ჯამით (2) წარმოდგენილი დიფუზიის განტოლების ამონახსნი პრაქტიკულად სრული ხდება, როცა $n \geq 40$. ამ ამონახსნის დროში მიღევას განსაზღვრავს წევრი: $e^{-\left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 Dt}$, რომლის ხარისხის მაჩვენებელი დამოკიდებულია რამდენიმე მახასიათებელზე. ცხადია, რომ მსგავსი მრავალპარამეტრიანი დამოკიდებულება ზოგადად ართულებს დროის კონკრეტულ მომენტში (2) გამოსახულებით წარმოდგენილ მოდელურ სურათს. თუმცა, თეორიიდან ცნობილია, რომ დიფუზიური ტიპის არასტაციონარულ განტოლების ზოგადი ამონახსნით განსაზღვრული ფიზიკური სიდიდის განაწილება მეტ-ნაკლებად გაჯერებული ხდება, როცა დროში ცვლილების განმსაზღვრელი განუზომელი პარამეტრი დააკმაყოფილებს პირობას $T = \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 Dt \geq 0.4$ [10]. (2) ამონახსნის ეს თვისება შეიძლება სასარგებლო აღმოჩნდეს რუსთავის ცენტრალურიპარკის ტერიტორიაზე ნაყარი წიდით გამოწვეული დაბინძურების სურათის უხეში რეტროსპექტული რეკონსტრუქციისათვის. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით ინფორმატიული შეიძლება იყოს (4) მოდელების შესაბამისი გრაფიკული წარმოდგენები (სურ.1-5), რომლებიც წარმოადგენენ (2) გამოსახულების ზოგადი ამონახსნის თვისებრივ-რაოდენობრივ ვიზუალიზაციას კონკრეტულ შემთხვევაში.

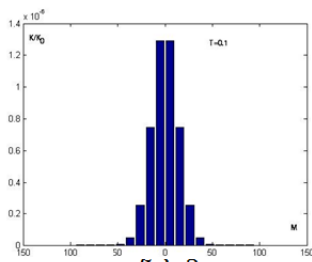


ნახ.1

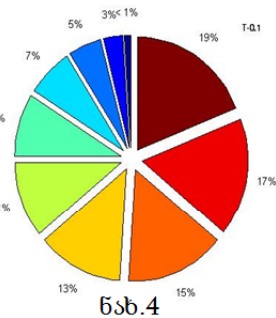


ნახ.2

ნახ.1 შეესაბამება (4) პირობის პირველ შემთხვევას, ანუ წარმოადგენს საწყისი დაბინძურების ერთგვაროვანი განაწილების შესაბამის სურათს. როგორც ამ, ასევე შემდგომ ნახატებზე, რომლებიც წარმოადგენენ (4)-ის დანარჩენი მოდელების ვიზუალიზაციას, პირველი მრუდი შეესაბამება $T=0.1$. რაც აგრეთვე წარმოადგენს შემდეგი მრუდების ბიჯს. ცხადია, რომ პირველი მოდელის შემთხვევაში დაბინძურების დონის მახასიათებელი სიდიდე დროთა განმავლობაში ყველაზე მდორედ იცვლება. ეს, მოდელის ხასიათის გარდა, გამოწვეულია აგრეთვე (5) სასაზღვრო პირობის სპეციფიკით, რომელიც არაცხადად გულისხმობს დიფუზიას დედამიწის ზედაპირიდან სიღრმული ფენებისაკენ. ნახ.2 შეესაბამება (4)-ის მე-2 ვარიანტს, ანუ უსასრულოდ დიდი წერტილოვანი დაბინძურების შემთხვევას. შედარებიდან სჩანს, რომ ამ ნახატზე რაოდენობრივი განსხვავება 1 და 4 მრუდების მაქსიმუმებს შორის დაახლოებით ერთი რიგია, თანაც $T=0.4$ შემთხვევისათვის დამაბინძურებელი ელემენტის დიფუზია უკვე აღწევს პირობითად მაპროქსიმირებელი წრის საზღვარს. ასეთი სურათი ეთანხმება (2) გამოსახულების ზოგად თვისებას ერთგვაროვანი განაწილებისაკენ მისწრაფებასთან დაკავშირებით, როცა განუზომელი პარამეტრი $T \geq 0.4$. ნახ.3-ზე მოცემულია (4)-ის მეორე მოდელის შესაბამისი 1 მრუდის ჰისტოგრამა, როცა უჯრედების რიცხვი $m=20$, ხოლო ნახ.4-ზე წარმოდგენილია შესაბამისი პროცენტული დიაგრამა.

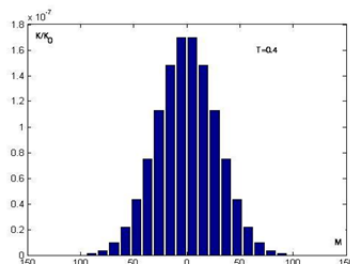


ნახ.3



ნახ.4

ასევე, საინტერესოა ნახ.3-ის შედარება წრიული დიაგრამის 4-ის ანალოგიურ მახასიათებლებთან, რომლებიც წარმოდგენილია ნახ.5-ზე, რაც იძლევა თვისებრივი ინფორმაციას T განუზომელი პარამეტრის ფიზიკურ შინაარსთან დაკავშირებით.



ნახ.5

კერძოდ, ცხადად იკვეთება დიფუზიის კოეფიციენტის რაოდენობრივი ეფექტი დროსთან კომბინაციაში. ეს ნიშნავს, რომ დაბინძურების დონის ცვლილების რეტროსკოპიული ანალიზის დროს საკმაოდ კორექტულია გამოვიყენოთ დაბინძურების დონის ცვლილების თეორიული მრუდები როგორც დროის მოცემულ მომენტში, ისე დროში საკმარისად დაშორებული გაზომვების შემთხვევაშიც. განსხვავებული თეორიული მოდელების ვიზუალიზაცია, მიღებული T პარამეტრის სხვადასხვა მნიშვნელობისათვის, იძლევა თვისებრივ საშუალებას, რათა შევასდეს დაბინძურების ინტენსივობის კლების რაოდენობრივი მახასიათებელი კონკრეტული დაბინძურების მონაცემების გამოყენებით. თუმცა ასეთი შეფასება საკმაოდ უხეში იქნება, შედარებითი ანალიზი მოგვცემს საშუალებას ვიმსჯელოთ დიფუზიის კოეფიციენტის გარკვეულ მახასიათებელ მნიშვნელობაზე დაბინძურების არეალის ფარგლებში. აქედან გამომდინარე, გაზომვების რამდენიმე დროში დაშორებული სერიის მონაცემები შეიძლება გახდეს საწყისი დაბინძურების დონის თუმცა უხეში, მაგრამ ფიზიკური თვალსაზრისით საკმაოდ კორექტული შეფასების საფუძველი.

დასკვნა. დიფუზიური მოდელის დახმარებით არსებობს რუსთავის მეტალურგიული კომბინატში გამომუშავებული წიდის გარემოში დაყრის შედეგად გამოწვეული შესაძლო რადიაციული დაბინძურების ინტენსივობის დროსა და სივრცეში ცვლილების რეტროსპექტიული სურათის მიახლოებითი რეკონსტრუქციის პრინციპული შესაძლებლობა. ასეთი ხერხი ფიზიკური თვალსაზრისით სრულიად კორექტულია, რადგან დიფუზიის განტოლება გამოყენებულია სხვადასხვა ქვეყანაში მომქმედი რადიაციული დაბინძურების ზღვრულად დასაშვები ნორმების (ზდკ) დასადგენად [11].

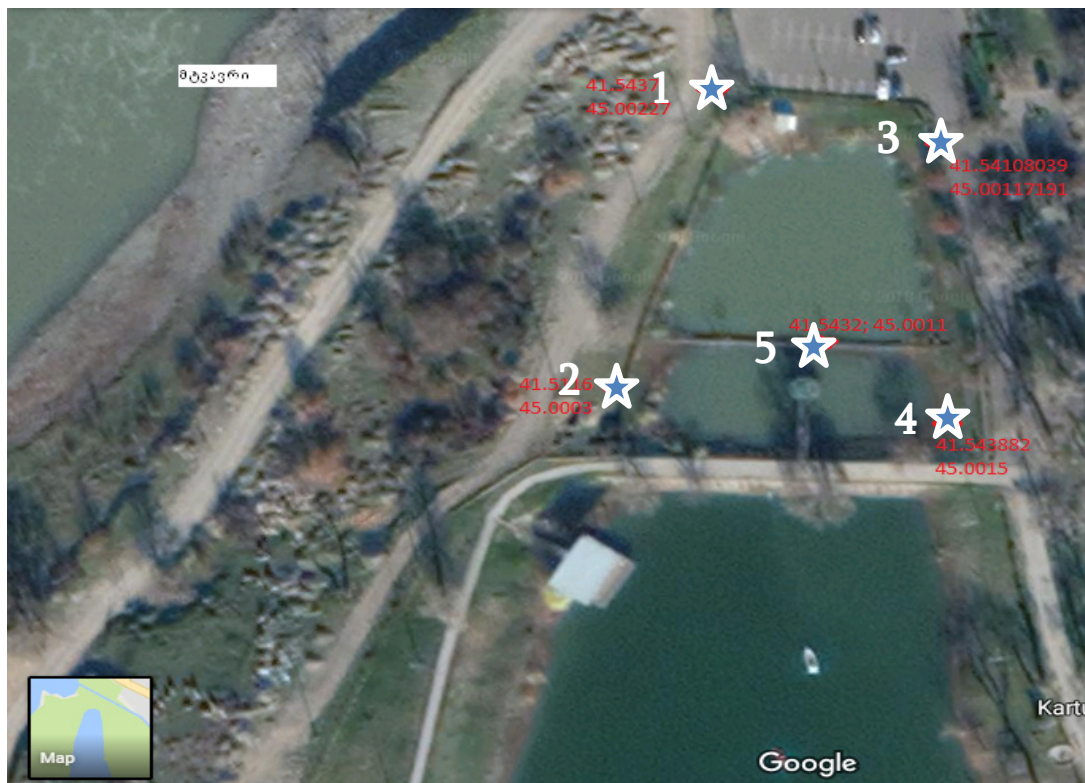
მოცემულ ნაშრომში წარმოდგენილი მოდელი იძლევა საკმარის თვისებრივ-რაოდენობრივ ინფორმაციას, რადგანაც დიფუზიის განტოლების ანალიზურ ამონახსნში შემავალი, განზომილების არმქონე, T პარამეტრის დახმარებით შესაძლებელია შევავასოთ დაბინძურების ინტენსივობის დროში მიღება. ამასთან, დედამიწის ზედაპირულ ფენაში დაბინძურების მიგრაციის პროცესში გარემოს დიფუზიის კოეფიციენტი მონაწილეობს განყენებულად, დროსთან და დაბინძურების მახასიათებელ ხაზოვან მასშტაბთან კომბინაციაში. ამიტომ, დაბინძურების დინამიური სურათის აგებისათვის საკმარისი იქნება ერთნაირი კოორდინატების მქონე წერტილებიდან აღებული, მაგრამ დროში დაშორებული, ლაბორატორიული ნიმუშების რადიაციული აქტივობების შეფარდება. ბუნებრივია, რომ ამ დროს აუცილებლად იქნება ობიექტური ცთომილება კოორდინატებში. თუმცა, თუ დაბინძურების ფართი ფიქსირებულია, ხოლო სინჯების რიცხვი საკმაროდ დიდია, ნახ.1-3-ზე მოცემული მრუდების, როგორც პალეტების, გამოყენებით შესაძლებელი იქნება განუზომელი პარამეტრის სიდიდის განსაზღვრა. სავარაუდოა, რომ ასეთი მეთოდი, თვისებრივის გარდა, უხეშად, მაგრამ მაინც საკმაოდ სანდოდ, მოგვცემს რაოდენობრივ ინფორმაციას რადიაციული დაბინძურების მიგრაციაზე და მისი ინტენსივობის დროში კლების რაოდენობრივი მახასიათებლებზე. კერძოდ, ასეთი მიდგომა გამოყენებული იყო ქალაქ რუსთავის ტერიტორიაზე, სადაც აღებული იყო ნიადაგის 100-მდე სინჯი 30-40 სმ. სიღრმეზე. ნიმუშების 40% პარკიდან იყო, ხოლო დანარჩენი, შეთხვევითი წესით, თუმცა ქარის გაბატონებული მიმართულების გათვალისწინებით. კერძოდ, ნიადაგში კალიუმის, ცეზიუმისა და სტრონციუმის შემცველობაზე შემოწმდა ცენტრალური პარკის ის ზონა, სადაც ადრეულ

წლებში მოხდა მეტალურგიულ კომბინატში გამომუშავებული წიდის დაყრა. პარკის ტერიტორიაზე აღებული სასინჯი კვადრატის გვერდი ემთხვევა დიფუზიურ მოდელში გამოყენებული მააპროქსიმირებელი წრის რადიუსს (სურ.1). სურათზე აღნიშნულია ზოგიერთი იმ წერტილის კოორდინატები, რომელთა შესაბამისი სინჯების ლაბორატორიული შემოწმების შედეგები მოცემულია ცხრილში, აგრეთვე წარმოჩენილია ზოგიერთი სხვა ნიმუშის ანალიზის შედეგები. ეს მონაცემები, მომავალში, სავარაუდოდ, შეიძლება გახდეს რუსთავის ტერიტორიაზე საწყისი რადიაციული დაბინძურების დონის მიახლოებითი განსაზღვრის საფუძველი. ამ ინფორმაციაზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ზემოთ აღნიშნული რადიონუკლიდებით რუსთავის ტერიტორიის დაბინძურება პრაქტიკულად იმ ნორმის ფარგლებშია. ასეთი შეფასების საფუძველია უკრანაში მოქმედი მარეგულაციონირებელი ნორმატიული დოკუმენტი:

[http://chornobyl.in.ua/dopustimie-urovni-soderzaniya-137cs90sr.html/;](http://chornobyl.in.ua/dopustimie-urovni-soderzaniya-137cs90sr.html/)

[http://www.zerno.org.ua/articles/quality/.](http://www.zerno.org.ua/articles/quality/)

ამ ნორმატიული დოკუმენტის თანახმად ცხრილში მოყვანილი რადიონუკლიდების ნიადაგში კონცენტრაციის ზღვრულად დასაშვები კონცენტრაციების ინტერვალის ქვედა, ე.ი. ყველაზე მკაცრი, მნიშვნელობებია: Cs-137, ≈ 50 ბეკ/კგ; Sr-90 ≈ 20 ბეკ/კგ; K-40 ≈ 370 ბეკ/კგ ცხრ. მონაცემების მსგავსად, სხვა სინჯების მონაცემებიც ადასტურებენ, რომ რადიაციული დაბინძურების დონე შემოწმებულ ფართზე ნორმის ფარგლებშია. მიუხედავად ამისა ცხადია, რომ ეს ინფორმაცია პირველადია და მომავალში უნდა დადასტურდეს პერიოდული მონიტორინგის მონაცემებით.



სურ. 1

კოორდინატები იN°, E°	რადიო- ნუკლიდი	აქტივაცია ბეკ/კგ	საშ. ცდომილება	საწყი. ცდომილება %	გაზომ. ცდომილება ეკ/კგ
41.54375090, 45.00227271 (1)	CS-137	11.9	22.6	24.8	4,26
	SR-90	0.00	21.2	>100	22,8
	K-40	449	109	4.2	143.4
41.51162253, 45.0035565 (2)	CS-137	11.6	22.1	>100	4,19
	SR-90	0.00	21.4	>100	22,8
	K-40	451	98	4.4	145.8
41.54108039, 45.00117191 (3)	CS-137	10.4	10.3	>100	4,12
	SR-90	0.00	22.8	>100	22,2
	K-40	450	96	4.4	146.3
41.543388201, 45.00159165 (4)	CS-137	49.8	98.9	>100	14,18
	SR-90	23.6	4.1	>100	25,3
	K-40	440	89	4.2	140.3
41.5432844, 45.00117014 (5)	CS-137	14.1	18.3	>100	8,18
	SR-90	19.5	3.8	>100	30,5
	K-40	457	101	4.2	148.3
41.530993, 45.023877	CS-137	0,00	2,45	>100	2,45
	SR-90	243	56,9	11,4	70,0
	K-40	485	107	8,5	135
41.531055, 45.024001	CS-137	1,90	2,26	>100	2,26
	SR-90	0,00	22,8	>100	22,8
	K-40	257	57,1	8,8	71,6
41.538751, 45.022429	CS-137	0,00	2,74	>100	2,74
	SR-90	0,00	23,9	>100	23,9
	K-40	163	41,3	15,1	49,5
41.538881, 45.016097	CS-137	0.00	2.50	>100	2.50
	SR-90	0.00	24.8	>100	24.8
	K-40	270	60.5	9.3	75.5
41.530725, 45.040754	CS-137	0.00	4.05	>100	4.05
	SR-90	25.7	36.5	>100	36.5
	K-40	817	163	4.0	218
41.543262, 45.024621	CS-137	26.8	6.49	13.1	7.90
	SR-90	0.00	24.4	>100	24.4
	K-40	4.3	84.2	6.3	110
41.544697, 45.024183	CS-137	26.8	6.49	13.1	7.90
	SR-90	0.00	24.4	>100	24.4
	K-40	4.3	84.2	6.3	110
41.537309, 45.017687	CS-137	11.	3.90	25.7	4.35
	SR-90	00	27.4	>100	27.4
	K-40	328	72.5	8.6	91.1
41.538089, 45.019445	CS-137	1.27	2.56	>100	2.56
	SR-90	14.2	24.4	>100	24.4
	K-40	391	81.7	6.4	106
41.539259, 45.020088	CS-137	0.00	2.13	>100	2.13
	SR-90	26.4	20.1	76.1	21.3
	K-40	35.9	30.1	84.6	31.8

ლითონის დისკი (ფეხიდან გამოდნობილი ელექტროდი)					
	CS-137	31.5	17.6	55.7	19.4
	SR-90	65.9	15.8	12.8	19.3
	K-40	24.0	40.9	>100	40.9
ლითონის გადამუშავებისას დარჩენილი ნარჩენი (წიდა)					
	CS-137	17.0	7.6	40.3	8.20
	SR-90	18.6	25.0	>100	25.0
	K-40	215	48.2	9.2	60.2
ლითონის ნატეხი (ელექტროდი)					
	CS-137	8,33	6,29	75,5	6,66
	SR-90	6,00	23,4	>100	23,4
	K-40	159	37,2	11,6	45,7

ლიტერატურა

1. Чикенева, И.В. Особенности накопления тяжелых металлов в изучаемых растительных сообществах и их воздействие на окружающую среду. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, № 2 (40), 2013, с. 228-231.
2. მირიანაშვილი ქ. „ატმოსფეროს გამაჟუჟყვიანებელი ფაქტორებისა და მეტეოროლოგიური ელემენტების ცვლილების მათემატიკური მოდელირება და ადამიანის ჯანმრთელობაზე მათი გავლენის შესწავლა.“ თბილისის ივ.ჯავახიშვილის სახ. სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა, ხელნაწერის უფლებით, თბილისი, 2005 წ., 195 გვ.
3. Надарейшвили К. Ш., Цицкишвили Л. Н., Хазарадзе Р. Е., Манджгаладзе Д. Н., Вепхвадзе Р.Я., Киртадзе С. Р. Воздействие Чернобыльской катастрофы на радиоэкологическую ситуацию в Закавказье. Сообщение II. О возможном проявлении влияния Чернобыльской катастрофы на здоровье населения республики Грузия. Радиационные исследования, Т. 6, Тбилиси, 1991. с. 152-165.
4. Талашов Д.Н., Волкова Е.Н. Зола-унос ТЭС и котельных, как замена местных известковых материалов. С.-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров; 2018, https://revolution.allbest.ru/ecology/00966791_0.html
5. ვეფხვაძე ნ. „ჰიგიენა“ – ლექციების კურსი. I-II ნაწილი. რედ. გელაშვილი, თბილისი, 1998, გვ. 263-500.
6. ნადარეიშვილი კ., გუგუშვილი ბ. „რადიაციული ეკოლოგია“ – ბიბლიოგრაფია. საქართველოს ეკოლოგიური სამეცნიერო საზოგადოება, საქართველოს ბიო-სამედიცინო ტექნიკ. საზოგადოება-თბილისი, 1991, ტ. I, 608 გვ..
7. Васильев А.А., Чашин А.Н. Тяжелые металлы в почвах города Чусового. Оценка и
8. диагностика загрязнения.
https://pgsha.ru/export/sites/default/faculties/agrohim/agrohim_files/monografiya_a.a._vasil_ev__a.n.chaschin.pdf
9. Кобранова В.Н. Петрофизика. М, Недра, 1986, 392 с.
10. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики М.: Гос. изд. тех.-теор. лит., 1953. — 680 с.
11. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел, М. Наука. 1964. -488 с
12. Водяницкий Ю. Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. с. 368–375.

ნიადაგის ზედაპირის რადიაციულ -ქიმიური დაბინძურების ინტენსივობის ცვლილების არასტაციონარული მოდელი

ჩანქსელიანი ზ., მათიაშვილი ს., კერესელიძე ზ., ჩხიტუნიძე მ.

რეზიუმე

მოცემულ ნაშრომში რადიალური სიმეტრიის მიახლოებაში წარმოდგენილი დიფუზიური მოდელი იძლევათვისებრივ-რაოდენობრივ ინფორმაციას იმისათვის, რომ შევაფასოთ რადიონუკლიდებით ნიადაგის ზედაპირული დაბინძურების ინტენსივობის დროში მილევის პროცესი. ეს შესაძლებელია დიფუზიის განტოლების ანალიზურ ამონახსნში შემავალი განზომილების არმქონე $T = \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 Dt$ პარამეტრის დახმარებით. ამ გამოსახულებაში გარემოსდიფუზიის კოეფიციენტი D მონაწილეობს t დროსთან და R დაბინძურების მახასიათებელ ხაზოვან მასშტაბთან კომბინაციაში. გარემოს დაბინძურების დონის ცვლილების რეტროსკოპიული სურათის ასაგებად საკმარისი იქნება მუდმივი კოორდინატების მქონე წერტილებში სხვადასხვა დროს აღებული ნიადაგის ნიმუშების რადიაციული აქტივობების შეფარდება. თუ დაბინძურების ფართი ფიქსირებულია, ხოლო სინჯების რიცხვი საკმაოდ დიდი, დიფუზიის განტოლების ანალიზური ამონახსნის გრაფიკული წარმოდგენების საშუალებით შესაძლებელი იქნება T პარამეტრის სიდიდის განსაზღვრა. სავარაუდოა, რომ ასეთი მეთოდი, თვისებრივის გარდა, უხეშად, თუცა საკმაოდ სანდოდ, მოგვცემს ინფორმაციას რადიაციული დაბინძურების მიგრაციაზე და მისი ინტენსივობის დროში კლების რაოდენობრივი მახასიათებლებზე. ჩვენს მიერ ასეთი მეთოდი გამოყენებული იყო ქ. რუსთავის ტერიტორიისათვის, სადაც 30-40 სმ. სიღრმეზე აღებული იყო ნიადაგის 100-მდე სინჯიკალიუმის, ცეზიუმისა და სტრონციუმის შემცველობაზე. სინჯების 40% ცენტრალური პარკიდან იყო აღებული, სადაც ადრეულ წლებში მოხდა მეტალურგიულ კომბინატში გამომუშავებული წილის დაყრა. დანარჩენი სინჯები აღებული იყო შემთხვევითი წესით, მაგრამ ქარის გაბატონებული მიმართულების გათვალისწინებით. რადიონუკლიდური ანალიზის პირველად შედეგებზე დაყრდნობით შეიძლება დავასკვნათ, რომ ქ. რუსთავის ტერიტორიის რადიაციული დაბინძურება პრაქტიკულად ნორმის ფარგლებშია. მიღებული მონაცემები მომავალში შეიძლება გახდეს ქალაქ რუსთავის ტერიტორიაზე რადიაციული დაბინძურების საწყისი დონის განსაზღვრისა და შემდგომში დროში ცვლილების მიახლოებითი რეტროსკოპიული სურათის წარმოდგენის საფუძველი.

Нестационарная модель изменения интенсивности радиационно-химического загрязнения поверхности почвы

Чанкселиани З.Ж., Матиашвили С.Б., Кереселидзе З.А., Чхитунидзе М.С.

Реферат

В этой работе модель диффузии, представленная по радиальной симметрии, дает качественно-количественную информацию для оценки процесса уменьшения во времени интенсивности загрязнения радионуклидами поверхности почвы. Это можно сделать с помощью безразмерного параметра $T = \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 Dt$, входящего в аналитическом решении уравнения диффузии. В этом изображении коэффициент диффузии окружающей среды D участвует в комбинации со

времени t и в комбинации характеристического линейного масштаба загрязнения R . Чтобы создать ретроспективный образ уровней загрязнения окружающей среды, будет достаточно взять соотношение радиационных активностей проб почвы, взятых в разных точках с постоянными координатами. Если площадь загрязнения зафиксирована, а количество выборок достаточно велико, можно определить размер параметра T с помощью графических представлений аналитического решения уравнения диффузии. Вероятно, такой метод, помимо характеристики, грубо, но достаточно надежно даст нам информацию о миграции радиационного загрязнения и качественных характеристиках о его уменьшении интенсивности во времени. Мы использовали этот метод для г. Рустави, где были взяты около 30-40 см глубины почвенных образцов калия, цезия и стронция. 40% образцов были взяты из центрального парка, где в первые годы шлак производился в металлургическом заводе. Остальные образцы были взяты случайным образом, принимая во внимание преобладающее направление ветра. Исходя из первых результатов радионуклидного анализа, можно сделать вывод, что радиационное загрязнение территории г. Рустави практически соответствует норме. Полученные данные могут стать основой для определения начального уровня радиационного загрязнения в городе Рустави и последующего представления приблизительной ретроскопической картины изменения во времени.

Non-stationary model of intensity variation in radial-chemical pollution of soil surface

Chankseliani Z., Matiashvili S., Keresekidze Z., Chkhitudze M.

Abstract

In the paper the diffusion model given in the radial symmetry approximation gives qualitative-quantitative information to evaluate the intensity attenuation process of the pollution of soil surface by radionuclides in time, which becomes possible by means of non-dimensional $T = \left(\frac{n\pi}{R}\right)^2 Dt$ parameter belonging to the analytical solution of the diffusion equation. In this expression D environment diffusion acts together with the linear scale characteristic of t time and R pollution. To construct a retroscopic image of environment pollution degree variation it is sufficient to correlate the radial activities of the soil samples taken at different times at points having permanent coordinates. In case the pollution area is fixed and the samples are numerous it will be possible to determine the value of T parameter by means of the graphical images of the analytical solution of the diffusion equation. Probably, this method, besides qualitative, gives rough but reliable information on the migration of radial pollution and the quantitative properties of its intensity decrease in time. We used this method for the territory of Rustavi city, where we took nearly 100 samples to determine potassium, caesium and strontium contents in the soil at the depth of 30-40 cm. 40% of the samples were taken in the central park from the slag left as waste product by metallurgical works in the past. The rest of the samples were randomly chosen. However, we took the dominant direction of the wind into consideration. According to the preliminary results of the radionuclide analysis we may conclude that the radial pollution of the Rustavi territory does not exceed the permissible limit. In future, the obtained data may become the basis for determination of the initial degree of the radial pollution and enable constructing the approximate retroscopic image of its further variation in time on the territory of Rustavi.

წყლის ხარჯის შეფასება მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნის დროს

კერესელიძე ზ., ხვედელიძე ი.

*ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიაშ სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი
Irine.khvedelidze@tsu.ge*

შესავალი. მდინარე ვერეს (სიგრძე 45 კმ, ვარდნის სიმაღლე 1290 მ.), ყველა მთის მდინარის მსგავსად, პერიოდული წყალმოვარდნები ახასიათებს, რაც მნიშვნელოვან მატერიალურ ზარალს და ზოგჯერ ადამიანურ მსხვერპლსაც იწვევს. ვერეს ხეობაში სტიქიური ბუნებრივი პროცესების მავნე შედეგებს ხელს უწყობს რთული რელიეფი და არამდგრადი ქანები. ამას ბოლო ათწლეულებში დაემატა თბილისის ტერიტორიაზე ვერეს ჭალაში მოსახლეობის განუკითხავი ქმედება და ადმინისტრაციული ორგანოების მიერ ოფიციალურად ნებადართული სამოქალაქო მშენებლობა. ყოველივე ამის გამო 2015 წლის 13 ივლისის დამეს ვერეს დახურული კალაპოტის გვირაბებმა ვერ გაატარეს ქვა-ღორღითა და მყარი საგნებით გაჯერებული ღვარცოფული მასა, რომელიც თავდაპირველად შეგუბდა სვანიდის ქუჩაზე. შემდგომში მოხდა ვერეს ხეობის მასშტაბური დატბორვა თამარაშვილის მაგისტრალსა და ზოოპარკს შორის. წყალმოვარდნის კატასტროფული შედეგები მნიშვნელოვნად განაპირობა ვერეს ხელოვნური დახურული კალაპოტის ჰიდრავლიკურმა წინააღმდეგობამ, რომელიც წარმოადგენდა ჩქაროსნული საავტომობილო გზის მონაკვეთის შემადგენელ ელემენტს.

ნებისმიერი ჰიდროტექნიკური ნაგებობის პროექტი აუცილებლად უნდა შეიცავდეს ობიექტის ექსპლუატაციის სპეციფიკითა და ბუნებრივი გარემო პირობების ცვლილებით გამოწვეული ნეგატიური ჰიდროდინამიკური ეფექტების სრულფასოვან ანალიზს. ამ თვალსაზრისით არ შეიძლება გამონაკლისი ყოფილიყო ვერეს ხეობაში რეალიზებული ჩქაროსნული საავტომობილო მაგისტრალის მონაკვეთის პროექტი. ამ მშენებლობამ მოითხოვა ვერეს ხეობის ქვედანაწილში მდინარის ბუნებრივი ღია კალაპოტის ცვლილება. გაკეთდა ხელოვნური დახურული კალაპოტი, რომელიც წარმოადგენდა ადრე არსებული ორი გვირაბისა და შვიდი ახალი გვირაბის ერთობლიობას 2100 მეტრი საერთო სიგრძით. დახურული კალაპოტის საწყისი და ბოლო უბნების მოდერნიზაცია მოხდა ძველი გვირაბების ახალ გვირაბებზე გადაბმით. ამიტომ, დღეს თამარაშვილის მაგისტრალის ქვეშ გამავალი გვირაბის სიგრძე, საწყისი 108 მეტრის მაგიერ, შეადგენს ≈ 360 მეტრს, ხოლო გმირთა მოედნის ქვეშ მტკვრისაკენ გამავალი 700 მეტრიანი გვირაბი დაგრძელდა ≈ 500 მეტრით. ცხადია, რომ ასეთი ხელოვნური ცვლილების შედეგად რადიკალურად შეიცვალა ვერეს ბუნებრივი კალაპოტის გეომეტრია და, შესაბამისად, ხეობის ჰიდროლოგიური პარამეტრები.

ვერეს დახურული კალაპოტის მოდელირება. როგორც 13.06.2015 წ. კატასტროფულმა წყალმოვარდნამ აჩვენა, ვერეს დახურული კალაპოტის კონსტრუქცია სრულყოფილი არ აღმოჩნდა ექსტრემალური დატვირთვის შემთხვევაში. უკვე ამიტომ, დახურული კალაპოტის კონსტრუქციის ასეთი სპეციფიკა და მასთან ჰიდრაულიკური რისკების შეფასება აპრიორი მოითხოვდა მკაცრ თვისებრივ-რაოდენობრივ ანალიზს. პირველ რიგში აღსანიშნავია, რომ დახურული კალაპოტის სახით საქმე გვაქვს ისეთ ჰიდროტექნიკურ ობიექტთან, რომელიც არ იძლევა წყლის ხარჯის მართვის საშუალებას. სხვა მდინარეებისა და სხვადასხვა დანიშნულების მქონე ჰიდროტექნიკური წყალგამტარების მსგავსად, ვერეს დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური პარამეტრების განსაზღვრისათვის საჭიროა გამოვიყენოთ კალაპოტის აპროქსიმაცია წრიული კვეთის მქონე მილით. ეს მეთოდი რადიალური სიმეტრიის მიახლოებაში იძლევა ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპის გამოყენების საშუალებას. ცნობილია, რომ არ არსებობს ლამინარული დინების ტურბულენტურში გადასვლის ერთიანი თეორია. თუმცა თუკი მოქმედებს დინების შემაშფოთებელი რომელიმე ტექნოგენური ფაქტორი, მაგალითად: ვიბრაცია ან ზედაპირის ხაოიანობა, ლამინარული დინების გადასვლა ტურბულენტურში გარდაუვალია. სწორედამ ნეგატიური ეფექტის არსში გარკვევისათვის იყო გამოყენებული ვერეს დახურული კალაპოტის აპროქსიმაცია წრიული კვეთის მქონე მილით [1]. რადგანაც, მილის დიამეტრის ზრდასთან ერთად, ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპი შეიძლება დაირღვეს თეორიულად შეუძლებელია წრიული მილის დიამეტრის (რადიუსის) კრიტიკული ზომის დადგენა. ამრიგად, უცნობია რაოდენობრივი ცვლილების თვისებრივში გადასვლის ზუსტი ჰიდროდინამიკური კრიტერიუმი. თუმცა აშკარაა, რომ მილის დიამეტრის ზრდასთან დაკავშირებული ცთომილება შეიძლება გამოწვეული იყოს რამდენიმე მიზეზით. პირველ რიგში, ეს შესაძლოა გამოიწვიოს მილში მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე გაცილებით უფრო დაბალმა წყლის ხარჯმა. ცნობილია, რომ ეს ეფექტი ყოველთვის არის დაკავშირებული ლამინარული დინების ტურბულენტურში გადასვლის მომენტის მახასიათებელი განუზომელი პარამეტრის, რეინოლდსის რიცხვის ცვლილებასთან, რომელიც წარმოადგენს ჰიდროდინამიკური მსგავსების მთავარ პარამეტრს [2-4]. კერძოდ, 2015 წლის 13 ივნისის კატასტროფული წყალმოვარდნის ჰიდროლოგიური პარამეტრების ქვემოთ მოყვანილი ანალიზი გვიჩვენებს, რომ განვითარებული ტურბულენტობის რეჟიმში მილის სრული დატვირთვა სულაც არ ნიშნავს მის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას. თუმცა, მილის არასრული დატვირთვი შემთხვევაში, წყლის ხარჯი შეიძლება იმდენად დაბალი იყოს, რომ ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპის დარღვევა საგრძნობი არც აღმოჩნდეს.

დახურულ კალაპოტში წყლის ხარჯის მოდელირების მათემატიკური საფუძველი. ლამინარულ მიახლოებაში მკაცრად სამართლიანია წყლის ხარჯის განმსაზღვრელი ხაგენ-პუაზეილის ფორმულა

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8\eta L}, \quad (1)$$

სადაც R – წრიული კვეთის მქონე მილის რადიუსია, η – წყლის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი L -სიგრძე, $\Delta P/L$ – წნევის ცვლილება.

ტურბულენტური დინების შემთხვევაში მილში წყლის ხარჯის განმსაზღვრელი მკაცრი ფორმულა არ არსებობს, რის გამო საჭიროა გამოვიყენოთ ხაგენ-პუაზეილის ფორმულის მოდიფიკაცია ტურბულენტური დინების საშუალო სიჩქარის \bar{u} გამოყენებით

$$Q = \pi R^2 \bar{u}. \quad (2)$$

ერთგვაროვანი ლამინარული დინების შემთხვევაში $\Delta P/L$ – წნევათა სხვაობა მილის ერთეულ სიგრძეზე უკავშირდება მხებ ძაბვას სითხის პარალელურ ფენებს შორის. ტურბულენტურ სითხეში წნევათა სხვაობის ცვლილება კავშირშია მილის წინააღმდეგობასთან და რადიუსთან

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{\lambda \rho}{4R} \bar{u}^2, \quad (3)$$

სადაც λ – მილის ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობაა.

ლამინარულ მიახლოებაში ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი λ დამოკიდებულია მხოლოდ რეინოლდსის რიცხვზე. ასეთი დამოკიდებულება სამართლიანია იმ შემთხვევაშიც, როცა დინების რეჟიმი ტურბულენტური ხდება. თუმცა, ამ დროს ჩნდება დამატებითი ფიზიკური ფაქტორი, რომელიც დამოკიდებულია მილის შიდა ზედაპირის სიგლუვეზე. ამიტომ, გარსდენადი ზედაპირის ხაოიანობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, როგორც მილის წინააღმდეგობის განმსაზღვრელ ერთ-ერთ ფაქტორს.

ტურბულენტური დინების შემთხვევაში მხები ძაბვის ფორმულა, ხაგენ-პუაზეილის ფორმულის მსგავსად, ტრანსფორმაციას განიცდის. ამ ფორმულიდან გამოდის, რომ ტურბულენტური დინების დროს მხები ძაბვა მილის შიდა ზედაპირზე დამოკიდებულია წყლის საშუალო სიჩქარის კვადრატზე

$$\tau_0 = \frac{\lambda}{8} \rho \bar{u}^2, \quad (4)$$

ისევე, როგორც წყლის ხარჯი ხაგენ-პუაზეილის (2) ფორმულის მიხედვით

$$Q = \frac{\pi R^3 \lambda}{16\nu} \bar{u}^2, \quad (5)$$

სადაც $\nu = \eta/\rho$ – წყლის სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტია [2]. ერთი შეხედვით, (5) ფორმულის პრაქტიკული ღირებულება, (2)-თან შედარებით, უფრო მაღალია, რადგანაც ის ცხადი სახით შეიცავს მილის ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობას. მაგრამ, რაოდენობრივი შეფასებებისათვის ფორმულა (5)-ის არაკორექტულმა გამოყენებამ შეიძლება მცდარ დასკვნამდე მიგვიყვანოს, რის გამოც მას შემდეგ არ გამოვიყენებთ.

გარსდენადი ზედაპირების ხაოიანობის მოდელირება. ამ ნეგატიური ეფექტის რაოდენობრივი შეფასება წარმოადგენს ექსპერიმენტული ჰიდროდინამიკის საგანს. თეორიის თანახმად, ნებისმიერი ფორმის (ოთხკუთხა, ოვალური, მრგვალი) კვეთის მქონე მილის ხაოიანობის ხარისხს განსაზღვრავს ერთი პარამეტრი $\beta = k/L_0$, სადაც k ხაოიანობის სიმაღლეა, L_0 – მილის განივი კვეთის მახასიათებელი ზომა. ცხადია, რომ წრიული კვეთის მქონე მილისათვის ეს პარამეტრი რადიუსის ტოლია. ჰიდროტექნიკურ ობიექტებზე, მილების მსგავსად, ყველგან არსებობს ხელოვნური ხაოიანობის ფაქტორი, გამოწვეული გარსდენადი ზედაპირების სიგლუვის დაბალი ხარისხით. ასეთმა ხაოიანობამ, ნალექთან კომბინაციაში, შეიძლება გამოიწვიოს, მაგალითად, მილის შიდა ზედაპირის ტალღისებურობა. პრაქტიკაში, სხვადასხვა ჰიდროტექნიკური დანიშნულების ობიექტებზე, ფარდობითი ხაოიანობა მერყეობს 0.2%-7% ინტერვალში [2,4]. აქედან გამომდინარე, რადგანაც ვერეს დახურული კალაპოტის ექვივალენტური მილის დიამეტრია $D \approx 8 \cdot 10^3$ მმ, მისთვის კრიტიკული უნდა ყოფილიყო უკვე 20 მმ აბსოლუტური ზომის (სიმაღლის) ხაოიანობა. ეს მა-

ხასიათებელი ზომა გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე ვერეს დახურული კალაპოტის კონსტრუქციაში გამოყენებული ფოლადის გოფრეს სიმაღლე $k=150$ მმ. ამიტომ, გოფრირებული ზედაპირი როგორც თვისობრივად, ასევე რაოდენობრივად წარმოადგენს ხელოვნური ხაოიანობის თვალსაჩინო მაგალითს.

ცნობილია, რომ ლამინარული დინების შემთხვევაში მილის წინააღმდეგობა ემორჩილება ბლაზიუსის კანონს $\lambda \approx 0.32 (Re)^{-1/4}$, ხოლო მილში დინების ნებისმიერი რეჟიმის დროს რეინოლდსის რიცხვი განისაზღვრება მილის განივი კვეთის დიამეტრის საშუალებით $Re = \frac{\bar{u}D}{\nu}$. ტურბულენტური დინების შემთხვევაში ლამინარული სასაზღვრო ფენის სისქე დამოკიდებულია სითხის კინემატიკურ სიბლანტეზე და ზედაპირული წინააღმდეგობის ძაბვასთან დაკავშირებულ პარამეტრზე, წინამიკურ სიჩქარეზე v_* . ამიტომ, ამ შემთხვევაში, ჩვეულებრივ რეინოლდსის რიცხვთან ერთად, აგრეთვე შემოდის ხაოიანობის ეფექტის განმსაზღვრელი მეორე უგანზომილებო პარამეტრი $Re_* = \frac{kV_*}{\nu} \sim \frac{k}{\delta_l}$. იმისათვის, რომ ხაოიანი მილი ტურბულენტური დინებისათვისაც ჰიდროდინამიკურად გლუვი დარჩეს საკმარისია, რომ ხაოიანობამ არ იმოქმედოს მილის წინააღმდეგობაზე, ამისათვის მილის შიდა ზედაპირზე წარმოქმნილი ლამინარული სასაზღვრო ფენის სისქე უნდა აღემატებოდეს ხაოიანობის სიმაღლეს. მაგალითად, ხაოიანობის ნეგატიური ეფექტის სრული გამოვლინების რეჟიმში ხაოიანობის ყველა ელემენტი გამოდის ლამინარული სასაზღვრო ფენიდან და მილის წინააღმდეგობა კვადრატული კანონით იცვლება [2]

$$\lambda_1 = \frac{1}{(2lg\frac{R}{k} + 1.74)^2} \quad (6)$$

ხაოიანობით გამოწვეული წინააღმდეგობისათვის აგრეთვე არსებობს ალტერნატიული ფორმულა[3,4]

$$\lambda_k = \frac{1.3}{\ln^2(\frac{R}{k})} \quad (7)$$

ასეთი ნახევრად ემპირიული კავშირების გამომხატველი ფორმულები წარმოადგენენ ჰიდრაულიკის ქვაკუთხედს. რადგანაც ვერეს დახურული კალაპოტის გოფრირებული ზედაპირის ფარდობითი გეომეტრიული ხაოიანობაა: $\frac{R}{k} \approx 26.6$ ($R \approx 4\text{მ}$, $k \approx 0.15\text{მ}$), გვექნება, რომ $\lambda \approx 0.047$, ხოლო $\lambda_k \approx 0.12$. წყლის ხარჯის ქვემოთ მოცემულ რაოდენობრივ შეფასებებში, ამ სიდიდეებთან ერთად, დახურულ კალაპოტში წყლის დინების საშუალო სიჩქარის განსაზღვრისათვის გამოყენებული იქნება აგრეთვე ალტერნატიული ფორმულები:

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{4R\Delta p}{\lambda \rho l}} = \sqrt{\frac{8}{\lambda}} v_*, \quad (8)$$

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{R\Delta p}{2\alpha^2 \rho l}} \ln \frac{R}{k} = \frac{v_*}{\alpha} \ln \frac{R}{k}, \quad (9)$$

რადგანაც $\frac{\Delta p}{l} = \rho v_*^2 \frac{2}{R}$, ხოლო $\alpha=0.4$ -ე.წ. კარმანის მუდმივაა.

დინამიური სიჩქარე უკავშირდება ჰიდროდინამიკური სიჩქარის მაქსიმუმს შემდეგი ნახევრად ემპირიული ფორმულით:

$$v_* = \frac{u_{max}}{5.75lg\frac{R}{k} + 8.48}. \quad (10)$$

იმ შემთხვევაში, თუ მილი მრუდწირულია, მასში აღიძვრება ცენტრიდანული ძალები, რომლებიც იწვევენ ლამინარული დინების დესტაბილიზაციას. მისი სიმძლავრე დამოკიდებულია მილის სიძრუდის რადიუსზე და გამოისახება ფორმულით

$$\frac{\lambda_r}{\lambda_0} = 1 + 0.075R_e^{1/4} \left(\frac{R}{r}\right)^{1/2}, \quad (11)$$

სადაც λ_0 – გლუვის წორხაზოვანი მილის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი, r –მრუდწირული უბნის სიძრუდის რადიუსი.

ამრიგად, თუ მილი ხაოიანია, ხოლო მისი მრუდწირული უბნის სიძრუდე საკმარისად დიდია, დინების ტურბულენტურ რეჟიმში ერთდროულად იმოქმედებს მილის წინააღმდეგობის ზრდის ხელშემწყობი ორივე ფაქტორი. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით გამოსაყოფია პირველი გვირაბი, რომლის სიძრუდე ირიბი შეფასებით ახლოსაა ან შეიძლება აღემატება კიდევ სამშენებლო ნორმებით დასაშვებ სიდიდეს [5].

რეზერვუარის არსებობის შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური სიჩქარის მაქსიმუმი უნდა განისაზღვროს ზოგადი ფორმულიდან

$$u_{max} = \sqrt{2gH}, \quad (12)$$

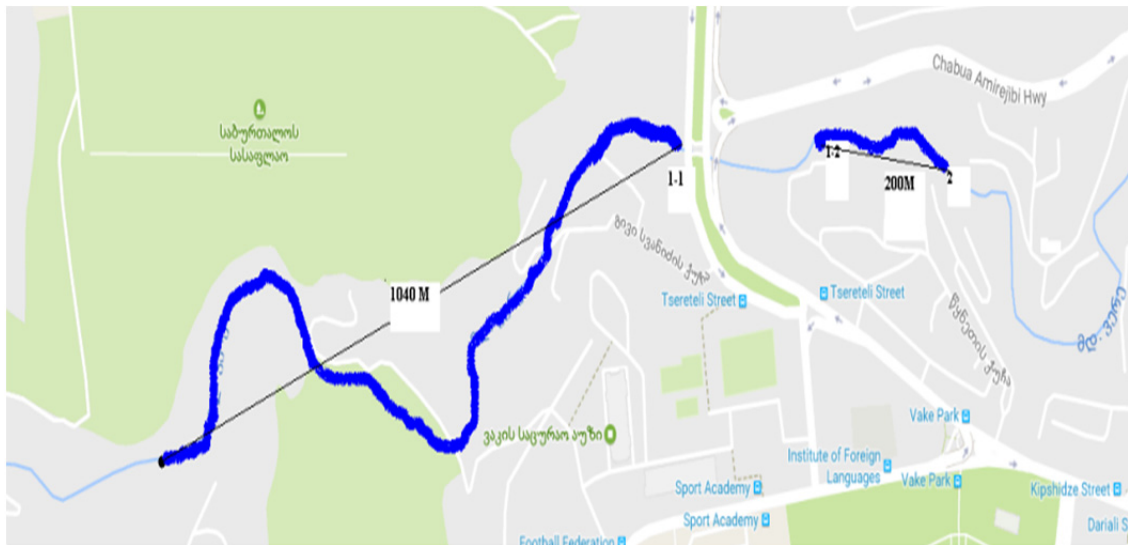
სადაც H სიმაღლეა, g - სიმძიმის ძალის აჩქარება. იმ შემთხვევაში თუ რეზერვუარი იცლება, ანუ H ცვლადია, (12) ფორმულა განიცდის ტრანსფორმაციას

$$\bar{u} = \frac{\sqrt{2g}}{H_0} \int_{H_1}^{H_2} \sqrt{H} dH \approx 2,97 \frac{1}{H_0} \left(H_2^{3/2} - H_1^{3/2} \right), \quad (13)$$

სადაც $H_0 = H_2 - H_1$ -წარმოადგენს რეზერვუარის საწყის და საბოლოო სიმაღლეებს შორის დონეთა სხვაობას.

ვერეს დახურული კალაპოტის ექსტრემალურ პირობებში გამტარუნარიანობის შეფასება. მოდელის თანახმად, პირველი გვირაბის წინ წყლის შეგუბებას არ ჰქონდა გადამწყვეტი როლი ხეობის დანარჩენი ნაწილის დატბორვაში. პირველ რიგში იმიტომ რომ, როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, სვანიძის ქუჩაზე წარმოქმნილი დროებითი საგუბარის მოცულობა მნიშვნელოვნად ნაკლები აღმოჩნდა იმ მოცულობაზე, რომელიც დასახელებული იყო კატასტროფის უშუალოდ შემდგომ პერიოდში [6,7]. თუმცა, ამ რეზერვუარის პარამეტრები სრულად განაპირობებდა დახურული კალაპოტის (1 გვირაბი) შესასვლელში ჰიდროდინამიკურ სიჩქარეს. ეს სიდიდე, ცხადია, უნდა შეცვლილიყო პირველ გვირაბში უკვე მისი შესასვლელის მახლობლად. ეს ნიშნავს, რომ წყლის ხარჯის გამოსათვლელ ფორმულაში (2) უნდა გავითვალისწინოთ რეალური სიჩქარე, რომლისთვისაც უპრიანია გამოვიყენოთ ფორმულები (8) და (9). აპრიორი უპირატესობის მიცემა რომელიმე ამ ფორმულისათვის არასწორი იქნება, რადგანაც ყველა ჩვენი შეფასება ტარდება ნახევრადემპირიული ჰიდროდინამიკური თეორიის ფარგლებში. ბუნებრივია, რომ დახურული კალაპოტის მთელ სიგრძეზე პირველი გვირაბის მიერ გატარებულ წყლის ნაკადს დაემატებოდა ქალაქის წყლების ჩამონადენი და ნალექი ხეობის ამ ნაწილის ფართობიდან. ამიტომ, პირველ საგუბართან ერთად, შეგვიძლია შევაფასოთ აგრეთვე მეორე საგუბარის მოცულობაც, თამარაშვილის მაგისტრალსა და გაბაშვილის ქუჩას შორის. ეს შესაძლებლობა გვაქვს იქიდან

გამომდინარე, რომ ჩვენთვის ცნობილია წყლის დონის აბსოლუტური სიმაღლეები პირველი და მეორე გვირაბების შესასვლელებთან (ნახ. 1 და 2)



ნახ. 1



ნახ. 2

I საგუბარი. დროებითი საგუბრების გეომეტრია მოცემულია რუკაზე (ნახ. 2). პირველი გვირაბის წინ ვერეს კალაპოტის ნიშნულია $h_1 = 455$ მ. დროებითი საგუბარის აბსოლუტური სიმაღლე ცხადი კვალის მიხედვით იყო $h_2 = 472$ მ. წყალი თამარაშვილის მაგისტრალზე არ გადასულა, რადგანაც მაგისტრალის დონემდე დარჩა 1.5 მეტრი. დროებითი საგუბრის აპროქსიმაციისათვის საჭიროა აგრეთვე საგუბარის განივი ზომა, რომელმაც გვირაბის შესასვლელთან შეადგინა ≈ 50 მ. მოდელური საგუბრის სიგრძე განისაზღვრა თბილისის 1:10000 მასშტაბის, ფიზიკური რუკიდან (ნახ 1), რომელზედაც ვერეს ხეობაში დატანილი იქნა $H=472$ მ აბსოლუტური სიმაღლის წერტილი. ასეთი გზით განისაზღვრა $L \approx 1040$ მ. საგუბრის საშუალო სიმაღლეა $\bar{h} = 8.5$ მ. სიგანე, ვიზუალური შეფასებიდან გამომდინარე,

შეიძლება ჩავთვალოთ ინტერვალში $d = m$ [35-50] ამრიგად მივიღებთ, რომ სვანის ქუჩაზე დროებითი საგუბრის მოცულობა

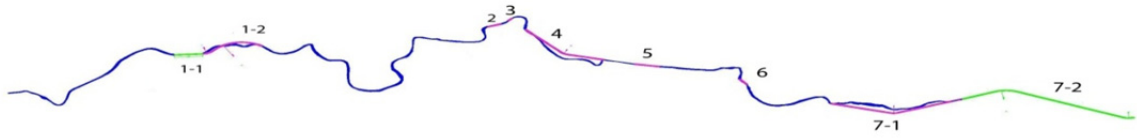
$$W = \bar{h}Ld \quad (14)$$

შესაძლოა იყო ინტერვალში $W_1 \approx (3.1 \cdot 10^5 - 4.4 \cdot 10^5) \text{ } \rho^3$.

II საგუბარი. გაბაშვილის ქუჩამ, რომელიც გადის მეორე გვირაბის თავზე, მნიშვნელოვნად იმოქმედა, როგორც ზედა ბიეფმა, საიდანაც მოხდა საკმაო სიმაღლიდან წყლის ნაკადის გადადინება ვერეს ხეობის დანარჩენ ნაწილში. მეორე გვირაბის შესასვლელი მდებარეობდა $h_1 \approx 442 \text{ მ}$ ნიშნულზე, ხოლო გაბაშვილის ქუჩა $h_2 \approx 455 \text{ მ}$ ნიშნულზე. ამ საგუბრის მააპროქსიმირებელი პარალელეპიპედის სიგრძე $L \approx 200 \text{ მ}$. რადგან საგუბარი საკმაოდ მოკლეა შესაძლოა მივიჩნიოთ, რომ მისი საშუალო სიღრმეა $h_2 - h_1 = 13 \text{ მ}$, ხოლო სიგანე $d \approx 60 \text{ მ}$. შესაბამისად ამ საგუბარის სავარაუდო მოცულობა $W_2 \approx 1.6 \cdot 10^5 \text{ } \rho^3$.

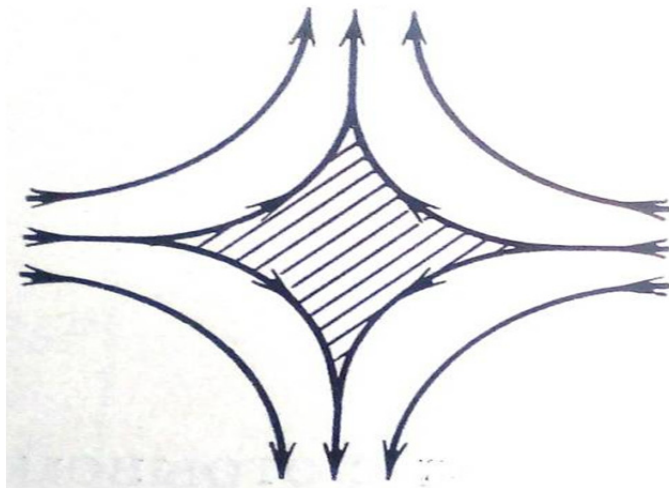
სტაგნაციის ზონა. როგორც ვერეს დახურული კალაპოტის სქემა (ნახ.1) გვიჩვენებს, მეორე გვირაბის წინ ვერე მკვეთრად უხვევს. ამიტომ, შეიძლება ვივარაუდოდ, რომ წყალმოვარდნის დროს ეს ადგილი გახდა წყლის მასშტაბური შეგუბების ერთ-ერთი ლოკალური წერტილი. ამას, გვირაბის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის ზრდასთან ერთად, სავარაუდოდ ხელი შეუწყო ვერეს კალაპოტის ბუნებრივმა გეომეტრიამ. სავარაუდოა, რომ ამიტომ კატასტროფის შემდეგ დახურული კალაპოტის აღდგენის პროცესში ამ ადგილს განსაკუთრებული ყურადღება მიაქცევს. ამიტომ, მომავალში პრობლემის თავიდან აცილების მიზნით, მოხდა მეორე გვირაბის შესასვლელი პორტალის მოდერნიზაცია მიმმართველი კედლების მონტაჟის საშუალებით. ეს მიშენება ძაბრის მსგავსია და მისი დანიშნულებაა ხელი შეუწყოს წყლის შედინებას გვირაბში. მიშენების პირველი სეგმენტები გვირაბის ღერძის პარალელურია, ხოლო მეორე სეგმენტები, რომელთა სიგრძე დაახლოებით 5 მეტრია, ქმნიან კუთხეებს: $\gamma \approx 20^\circ$ და $\delta \approx 30^\circ$. ჩვენ მიგვაჩნია, რომ ასეთი ტექნიკური ცვლილება, არა თუ წყალმოვარდნის, არამედ საკმარისად ინტენსიური წვიმის შემთხვევაშიც კი, შეიძლება გახდეს წყლის შეგუბების მიზეზი, ანუ შეამცირებს წყლის ხარჯს გვირაბში. საქმე ისაა, რომ მიმმართველი კედლები, იმ შემთხვევაში, თუ ისინი დაყენებული არიან არასწორად, აუცილებლად შექმნიან შემხვედრ წყლის ნაკადებს, რომელთა შეჯახება მოხდება გვირაბის შესასვლელთან ახლოს. შემხვედრი ნაკადების წარმოქმნას, ანუ დინების სეპარაციას კედლებთან შეჯახებამდე, შეიძლება ხელი შეუწყოს აგრეთვე იმ ფაქტმა, რომ მეორე გვირაბის წინ ვერეს კალაპოტს გააჩნია მეჩეჩი. ამიტომ, თუ მოხდება დაშორიშორებული ნაკადების შეჯახება, დაარა მათი რბილიშერწყმა, რომელიც შესაძლებელია მხოლოდ პარალელური ნაკადების ურთიერთქმედებისას, შეჯახების შემდეგ სავარაუდოა უკუნაყადების წარმოქმნა. დახურული კალაპოტის აღდგენის შემდეგ ინტენსიური წვიმების დროს წყლის შეგუბება მეორე გვირაბის წინ მოხდა. ამის პირდაპირი ინდიკატორია წყლის დონე გვირაბში, რაც დაფიქსირებული იქნა ფოტოსურათებზე მაგალითად: 11.06.2017 წ. და 7.07.2017 წ. განსაკუთრებით აღსანიშნავია უკანასკნელი შემთხვევა, როცა დაუზუსტებელი მონაცემებით ნალექებმა შეადგინეს $\approx 20 \text{ მმ}$, რაც არის არა უმეტეს 20% იმ ნალექებისა, რომელთაც გამოიწვიეს 13.06.2015 წ. კატასტროფული წყალდიდობა. ეს ფაქტი უდავოდ იმსახურებს განსაკუთრებულ ყურადღებას, რადგან ჩვენი აზრით, პირდაპირ არის დაკავშირებული არასწორ ტექნიკურ გადაწყვეტილებასთან. ასეთი შეხედულების

დასასაბუთებლად შესაფერისად მიგვაჩნია მიემართოთ იდეალური სითხის ჭავლების თეორიას. კერძოდ მიგვაჩნია, რომ, თუ მოვახდენთ წყლის ნაკადების აპროქსიმაციას ჭავლებით, შესაძლებელი იქნება მეორე გვირაბის წინ წყლის შეგუბების ფიზიკური მიზეზის ცხადად წარმოჩინება.



ნახ 3. ვერეს დახურული კალაპოტის სქემა

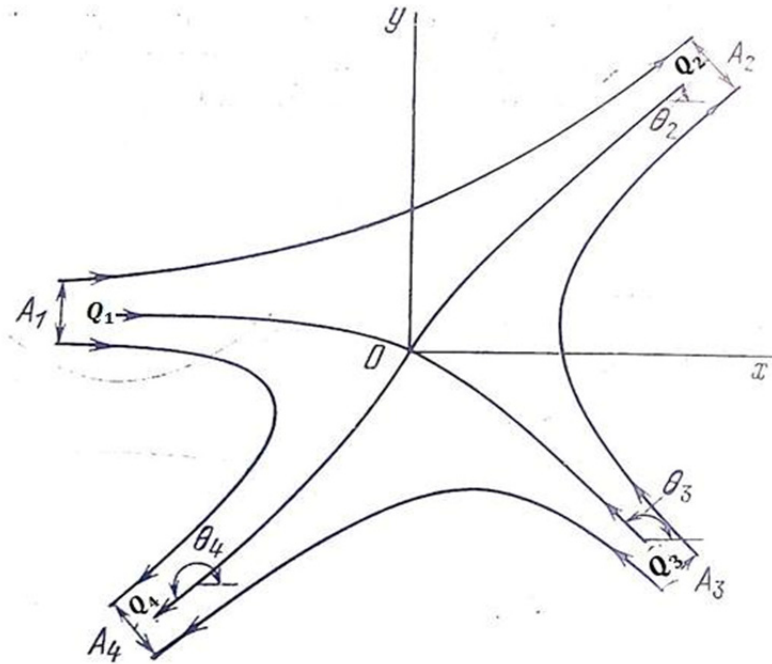
იდეალური უკუმშვადი სითხის ჭავლების ჰიდროდინამიკურ თეორიაში განსაკუთრებული ადგილი უჭირავს ჭავლების შეჯახების პრობლემას. ცნობილია ორი ან რამდენიმე ჭავლის შეჯახების ამოცანის რამდენიმე ვარიანტი. ყველა მათგანის ანალიზური ამონახსნი ზოგადად არაცალსახაა, რადგან დამოკიდებულია თავისუფალ პარამეტრზე [9]. ჩვეულებრივ, ეს პარამეტრია კუთხე პირდაპირ ჭავლსა და დაჯახების შედეგად წარმოქმნის უკუჭავლს შორის.



ნახ 4.

არაცალსახობის მიზეზის გრაფიკულ ილუსტრაციას წარმოადგენს ნახ. 4, რომელიც შეესაბამება ორი ერთნაირი ინტენსივობის (წყლის ხარჯის) მქონე ჭავლის პირდაპირი კუთხით შეჯახებას. ამ იდეალიზირებულ კერძო შემთხვევაში შედეგი ცალსახაა, რადგანაც შეჯახების შემდეგ წარმოქმნილი ჭავლები პირდაპირი ჭავლების იდენტურია. ამასთან, შეჯახების არეში წარმოიქმნება ე.წ. სტაგნაციის ზონა, რომელსაც ჭავლების პარამეტრების შესაბამისი გარკვეული ხაზოვანი ზომა გააჩნია. თუ პირველადი ჭავლების ინტენსივობა განსხვავებულია, ხოლო მათი შეჯახება ხდება ნებისმიერი კუთხით, შესაბამისი ამოცანის

ანალიზური ამონახსნი არაცალსახაა, რადგან, როგორც ავღნიშნეთ, მოითხოვს თავისუფალი პარამეტრის აპრიორი ცოდნას. თუმცა, როცა ხდება ანალიზური ამონახსნის რიცხვითი მოდელირება, ეს ნაკლი შეიძლება ხელის შემშლელი არ აღმოჩნდეს მიახლოებითი რაოდენობრივი შეფასებისათვის. მაგრამ, სრულფასოვანი თვისებრივი ანალიზი, რომელიც წარმოაჩენს ჭავლების შეჯახების პროცესის ყველა ფიზიკურ მხარეს, შესაძლებელია მხოლოდ ანალიზური ამონახსნის ასიმპტოტური ყოფაქცევის საფუძველზე. ასეთი ტიპის ნაშრომებს შორის ჩვენი მიზნისათვის განსაკუთრებით საინტერესოა [10], რომელის გეომეტრიული სქემა მოცემულია ნახ. 5.



ნახ. 5.

ამ ნახაზზე Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 – წარმოადგენს A_1, A_2, A_3, A_4 ჭავლების სიგანეს, ანუ ინტენსივობას ბრტყელ მიახლოებაში (წყლის ხარჯი), $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ – შესაბამისი ჭავლების კუთხე კოპლექსური სიბრტყის X-ღერძთან.

იდეალური სითხის ჭავლების სხვა ამოცანების ანალიზური ამონახსნების მსგავსად, ამონახსნი [10] ბრტყელია და შეიცავს თავისუფალ პარამეტრს. თუმცა შემდგომში აღმოჩნდა, რომ ასეთი შეზღუდვის ნაწილობრივი გამოსწორება შესაძლებელი ყოფილაკვლავ კონფორმული ასახვის მეთოდით. ცნობილია ასეთი რამდენიმე ამოცანა, რომელთა შორის აღსანიშნავად მიგვაჩნია ნაშრომი [11]. აქ განსაზღვრული ანალიზური კავშირი ჭავლების პარამეტრებს შორის არსებითად აძლიერებს [10] ნაშრომის ღირებულებას

$$Q_{2,4} = \frac{Q_1 Q_3 (1 - \cos \theta_3)}{Q_1 (1 - \cos \theta_{2,4}) + Q_3 (\cos \theta_{2,4} - \cos \theta_3)}. \quad (15)$$

(15) გამოსახულების სახით არსებობს პირობა, რომელიც აკავშირებს θ_3 კუთხით შეჯახებული ჭავლების ინტენსივობას დაჯახების შედეგად წარმოქმნილი უკუჭავლების ინტენსივობასთან, რისთვისაც საკმარისი ყოფილა ახალი ჭავლებიდან ერთ-ერთის, მაგალითად, A_2 ჭავლის Q_2 ინტენსივობისა მისი X ღერძთან დახრის θ_2 კუთხის ცოდნა. შესაბამი-

სად, შესაძლებელი ხდება ფორმულა (15)-იდან განისაზღვროს Q_4 , რისთვისაც, [11]-ის თანახმად, საჭიროა ვისარგებლოთ დამატებითი პირობით: $\pi \leq \theta_4 \leq \pi + \theta_3$. ამ შემთხვევაში უკუჭავლის მიმართულება კვლავ თავისუფალ პარამეტრად რჩება, თუმცა უკვე შესაძლებელი ხდება Q_4 ინტენსივობის განსაზღვრა კომპლექსური ტოლობიდან [10]

$$-Q_1 - Q_2 e^{i\theta_1} + Q_3 e^{i\theta_2} + Q_4 e^{i\theta_4} = 0. \quad (16)$$

ამრიგად, არსებობს ასიმპტოტური ანალიზის საშუალება მნიშვნელოვნად განსხვავებული ინტენსივობის მქონე სხვადასხვა ჭავლების შეჯახების შემთხვევაში, ანუ $\frac{Q_1}{Q_3}$ ფარდობის პრაქტიკულად ყველა შესაძლებელი მნიშვნელობისათვის. სწორედ მსგავსი ვითარება შესაძლებელია წარმოიქმნას ვერეს დახურული კალაპოტის მეორე გვირაბის შესასვლელის წინ, წყლის დონის ზრდის პროცესში, როცა თავდაპირველი წყლის ნაკადი, სავარაუდოდ, თანდათან უფრო უპირატესად უნდა შეეჯახოს მოპირდაპირე მიმართველ კედელს. შესაბამისად A_1 ჭავლი თანდათან უფრო ინტენსიური იქნება, ვიდრე A_3 . მაგალითად, შევავსოთ A_2 პირდაპირი ჭავლის ინტენსივობა მოდელური შემთხვევისათვის: $Q_1 = 2Q_3$. γ და δ კუთხეების ზემოთ მოცემული მნიშვნელობებისათვის $\theta_3 \approx 130^\circ$, ხოლო θ_2 განუსაზღვრელი რჩება. თუმცა, თუ გვირაბის ღერძი Y ორდინატს ემთხვევა, ამ ღერძის მიმართ ჭავლების დახრიდან გამომდინარე გვექნება: $\frac{\pi}{2} - \delta \leq \theta_2 \leq \frac{\pi}{2} - \gamma$. ე.ი., სავარაუდოდ, $60^\circ \leq \theta_2 \leq 70^\circ$. თუ მხედველობაში მივიღებთ აღნიშნულ შეზღუდვას (15) გამოსახულებიდან პირდაპირი ჭავლისათვის გვექნება $Q_2 \approx 1.7 Q_3$. ამრიგად, რადგანაც შეჯახებამდე ჯამური წყლის ხარჯი $Q = 3Q_3$, მივიღებთ, რომ A_4 ჭავლის ინტენსივობა $Q_4 \approx 1.3 Q_3$. რაც შეეხება უკუ ჭავლის მიმართულებას, ანუ θ_4 კუთხეს, მის სიდიდეს, წყლის შეგუბების ეფექტზე გავლენის თვალსაზრისით, პრინციპული მნიშვნელობა არ აქვს. თუმცა, სწორედ უკუ ჭავლი აყალიბებს სტაგნაციის ზონას მაშინ, როდესაც წყლის შეგუბების გამომწვევი სხვა ფაქტორები არ არსებობენ, ან მათი მოქმედება ნივლეირებულია. ამრიგად, მოსალოდნელია, რომ ხაოიანობის ეფექტის მსგავსად, მეორე გვირაბის წინ დამონტაჟებული მიმართველი კედლები შეამცირებენ წყლის ხარჯს მეორე გვირაბში. ამრიგად, თუ ნალექი ექსტრემალურ დონეს მიაღწევს, ყველა ნეგატიური ფაქტორის ერთობლივი მოქმედება დახურულ კალაპოტში გარდაუვლად გამოიწვევს წყლის სწრაფ შეგუბებას მდინარე ვერეს ხეობაში. კერძოდ, როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ყიფშიძის ქუჩის მიმდებარე ვერეს ხეობის მონაკვეთზე 13.06.2015წ. ღამეს ჩამოყალიბებული სპონტანური საგუბარის სავარაუდო მოცულობა უნდა ყოფილიყო $W_2 \approx 1.6 \cdot 10^6 \text{ მ}^3$. მისი გავსების შემდეგ მოხდა წყლის გადადინება, რამაც მნიშვნელოვნად გაზარდა კატასტროფული წყალდიდობის მასშტაბი.

წყლის ხარჯის მოდელური შეფასება

ცნობილია რამდენიმე განსხვავებული მონაცემი, რომელიც დაკავშირებულია წყლის ხარჯთან 13.05.2015 წლის კატასტროფული წყალმოვარდნის დროს [7,8]. ჩვენი შეხედულებით, ეს მონაცემები სადავოა. მიგვაჩნია, რომ შეფასების საფუძველი უნდა იყოს არა ზედმეტად დეტერმინირებული, თანაც არც თუ საიმედო, რაოდენობრივი მონაცემები, არამედ მათემატიკურად გამყარებული თვისებრივ-რაოდენობრივი ანალიზი. ამისათვის შეიძლება მივმართოთ ჰიდროდინამიკურ თეორიას, რომელიც იძლევა რეალური ვითარების კორექტულად მოდელირების საშუალებას. კერძოდ, წყალმოვარდნის დროს წარმოქმნილი

სპონტანური საგუბარების დაცლის პროცესის ანალიზის დროს საჭიროა გამოვიყენოთ ფიზიკური ანალოგია რეზერვუარიდან დიდი ზომის ხვრელში წყლისგადინების მოვლენასთან. ამ დროს საჭიროა წყლის ხარჯის ფორმულაში გათვალისწინებული უნდა იყოს ე.წ. წყლის ნაკადის კუმშვის ეფექტი. ამ მოვლენას რაოდენობრივად ასახავს ემპირიული გზით განსაზღვრული კოეფიციენტი $\epsilon=0.6-0.7$. პირველი მნიშვნელობა შეესაბამება ისეთ რეზერვუარს, რომლის სიმაღლე ხვრელიდან საგუბრის ზედაპირამდე მინიმუმ 3-ჯერ ნაკლებია ხვრელის დიამეტრზე, ხოლო მეორე-ე.წ. „სრულყოფილ“ სიტუაციას, ანუ როცა $h > 3d$. ამიტომ, მიუხედავად იმისა, რომ დახურული კალაპოტის გვირაბების სიმაღლე $h = 9d$, რადგანაც მააპროქსიმირებელი მილის დიამეტრი $D = 8 d$, შეგვიძლია მივიღოთ, რომ $\epsilon \approx 0.65$. ამიტომ, წყლის ხარჯის სიდიდის შეფასებისათვის ქვემოთ გამოყენებული იქნება ფორმულა (2)-ის შემდეგი მოდიფიკაცია [2,4]

$$Q = 0.65\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \bar{v}, \quad (17)$$

სადაც \bar{v} – წარმოადგენს გვირაბში (რეზერვუარის ხვრელში) წყლის დინების საშუალო ჰიდროდინამიკურ სიჩქარეს. ეს პარამეტრი განსხვავდება გვირაბის შესასვლელში წყლის სიჩქარისაგან, რომელიც დამოკიდებულია ჰიდრაულიკურ წინააღმდეგობაზე. ამიტომ ის უნდა განისაზღვროს (13),(10),(6),(7),(9) და (8) ფორმულების საშუალებით. პირველ რიგში საჭიროა ვიცოდეთ წყლის მაქსიმალური სიჩქარე გვირაბის შესასვლელში, რომელიც დამოკიდებულია საგუბარში წყლის დონეზე. როცა გვირაბის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა გამოწვეულია მისი შიდა ზედაპირის ხაოიანობით, ეს პარამეტრი გვირაბში წყლის დინების მოძრაობის სიჩქარის ერთ-ერთი მახასიათებელია. რადგანაც ეს სიჩქარე ცვლილია, შემდგომი მიახლოებითი რიცხვითი შეფასებებისათვის საჭიროა განისაზღვროს მისი საშუალო სიდიდე. ამისათვის ყველაზე უფრო უპრიანია (13) ინტეგრალური ფორმულის გამოყენება, თუმცა, აგრეთვე დასაშვებია მექანიკური საშუალოს განსაზღვრა (12) ფორმულის საშუალებით. კერძოდ, რადგანაც $H_0 = 17d$ (13)-იდან გვექნება $\bar{u}_1 \approx 12.2 \text{ მწმ}^{-1}$, ხოლო (12)-იდან $\bar{u}_2 = \frac{u_{max}}{2} \approx 9,2 \text{ მწმ}^{-1}$. რადგანაც ამ სიდიდეებს შორის სხვაობა საკმაოდ მცირეა, შემდგომში გამოვიყენოთ მათი საშუალო $\bar{u}_2 \approx 11.7 \text{ მწმ}^{-1}$, როგორც გვირაბში წყლის შედინების მახასიათებელი სიჩქარე.

შემდეგი ნაბიჯია დინამიური სიჩქარის მნიშვნელობის განსაზღვრა (10) ფორმულიდან გვირაბის შიდა ზედაპირის $k=15\text{მმ}$ ხაოიანობისათვის; $\mathcal{V}_* \approx 0,7 \text{ მწმ}^{-1}$ ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ნახევრადემპირიული ფორმულების განსხვავებულობის გამო გამოვიყენოთ ორივე მათგანი. ამრიგად, (6) და (7) მოგვცემს: $\lambda_1 \approx 0.047$ და $\lambda_k \approx 0.13$. შესაბამისად, (8)-იდან გვექნება გვირაბში წყლის დინების საშუალო ჰიდროდინამიკური სიჩქარის ორი მნიშვნელობა: $\bar{v}_1 \approx 9.1 \text{ მწმ}^{-1}$ და $\bar{v}_2 \approx 5,5 \text{ მწმ}^{-1}$. (9) ფორმულიდან მიიღება მხოლოდ ერთი სიდიდე: $\bar{v}_3 \approx 5.4 \text{ მწმ}^{-1}$. ამრიგად, (17) ფორმულა იძლევა წყლის ხარჯის შემდეგ სავარაუდო მნიშვნელობებს:

$$Q_1 \approx 298 \text{ მ}^3 \text{ წმ}^{-1}, Q_2 \approx 180 \text{ მ}^3 \text{ წმ}^{-1}, Q_3 \approx 177 \text{ მ}^3 \text{ წმ}^{-1}. \quad (18)$$

ამრიგად 13.05.2015 წლის კატასტროფული წყალდიდობის დროს, სვანიძის ქუჩაზე წარმოქმნილი საგუბარის დაცლის პროცესში, დახურული კალაპოტის პირველ გვირაბში წყლის ხარჯის სიდიდის ცალსახად განსაზღვრა შეუძლებელია. პირველ რიგში, ეს ფაქტი

დაკავშირებულია ლაბორატორიული ექსპერიმენტებით დადგენილი მორფოლოგიური კავშირების ნახევრად ემპირიული ხასიათიდან. ამის გამო შეუძლებელი აღმოჩნდა ჰიდროდინამიკური პარამეტრების ფუნქციონალური დამოკიდებულების გამოსახვა რომელიმე უნივერსალური ანალიზური ფორმულით დადგენილი კავშირების რაოდენობრივი მახასიათებლების ზუსტი განსაზღვრა. სწორედ ამიტომ (8) ფორმულაში გამოყენებული იყო ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის ორი განსხვავებული სიდიდე, რაც შესაბამისად აისახა მნიშვნელოვან სხვაობაში წყლისხარჯის სიდიდეში. თუმცა (8)-ის ალტერნატიული (9) ფორმულით მიღებული Q_3 სიდიდე ფაქტიურად დაემთხვა Q_2 -ს, რაც გარკვეულწილად შეიძლება ნიშნავდეს (7) ფორმულის უპირატესობას (6)-თან შედარებით. ჩვენი შედეგების [7,8] ნაშრომების მონაცემებთან შედარება გვიჩვენებს მნიშვნელოვან რაოდენობრივ სხვაობას, რაც აშკარად დაკავშირებულია წყლის ხარჯის გამოთვლის მეთოდისკასთან. კერძოდ [6]-ში გამოყენებულ იყო ვერეს კალაპოტში დინების მახასიათებელი სიჩქარის ორი მნიშვნელობა: $v_1 = 4\theta\text{წმ}^{-1}$ და $v_2 = 6\theta\text{წმ}^{-1}$, რომელთათვისაც განსაზღვრული იქნა წყლის ხარჯის ორი სავარაუდო ინტერვალი: $Q_1 \approx 220 - 480\theta^3\text{წმ}^{-1}$ და $Q_2 \approx 320 - 720\theta^3\text{წმ}^{-1}$. ასევე, დინების სიჩქარის იგივე v_2 სიდიდისათვის გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს გარემოს ეროვნული სააგენტოს ანგარიშში [7] მოცემულია სიდიდე $Q = 468\theta^3\text{წმ}^{-1}$. აქ აგრეთვე ნახსენებია წყლის ხარჯის ისტორიული მაქსიმუმის სიდიდე $Q=259\theta^3\text{წმ}^{-1}$, რომელიც განისაზღვრა 1960 წლის 5 ივლისის წყალმომარდნის ირიბი მონაცემებით. მიუხედავად იმისა, რომ არ ვიცით, თუ რანაირად მოხდა ასეთი ხარჯის განსაზღვრა, ეს სიდიდე საკმაოდ რეალურად მოსჩანს, რადგან (18)-ის თანახმად, ახლოსაა Q_3 -თან. ასეთი მსგავსება ადასტურებს ვარაუდს 13.05.2015 წ. წყალმომარდნა და 04.07.1960 წყალმომარდნის თანაზომადობასთან დაკავშირებით.

მოცემული ნაშრომის ერთ-ერთი მიზანია წყალმომარდნის დროს სვანიდის ქუჩაზე და თამარაშვილის მაგისტრალსა და გაბაშვილის ქუჩებს შორის წარმოქმნილი დროებითი საგუბარების მოცულობის რეალურად შეფასება. ამასთან დაკავშირებით უნდა ავლნიშნოთ, რომ უშუალოდ კატასტროფის შემდეგ I საგუბარის სავარაუდო მოცულობა აშკარად არ იყო კორექტულად შეფასებული. შესაძლოა, რომ შეცდომა გამოიწვია ახალდაბის მიდამოში ჩამოწოლილი მძლავრი მეწყრის ეფექტის მცდარმა ინტერპრეტაციამ, რომლის მიხედვით მოხდა ხეობის ჩაკეტვა და ამის გამო, დიდი მოცულობის მქონე ღვარცოფული მასის დაგროვება. ამ შეხედულების უსაფუძვლობა აშკარაა, თუ მაგალითად, დავეყრდნობით წყალმომარდნის ერთერთი უშუალო დამკვირვებლის ინფორმაციას, რომლის თანახმად სვანიდის ქუჩაზე წარმოქმნილი I საგუბარი დაიცალა დაახლოებით 20 წუთის განმავლობაში [6]. ამ ინფორმაციის გადასამოწმებლად შეიძლება გამოვიყენოთ ჩვენს მიერ ზემოთ განსაზღვრული I საგუბარის სავარაუდო მოცულობა $W_1 \approx (3.1 \cdot 10^5 - 4.4 \cdot 10^5)\theta^3$. დამკვირვებლის ამ ცნობის შესაბამისად, საგუბარის მოცულობის ამ ინტერვალში, მის დაცლისათვის საჭირო იყო წყლის ხარჯი $Q_* \approx /258 - 370/\theta^3\text{წმ}^{-1}$. შესაძლოა, ამ ინტერვალის ქვედა სიდიდე საკმაოდ რეალური იყოს, რადგანაც მეტნაკლებად შესაბამისობაშია 5.07.21960 წ. ისტორიულ მონაცემთან. გარდა ამისა, ჩვენს მიერ მიღებული მონაცემებით (18) გვექნება I საგუბარის დაცლის მახასიათებელი დროის ორი ინტერვალი, რომელთაგან პირველი ფაქტიურად ემთხვევა დამკვირვებლის მიერ დაფიქსირებულ დროს

$$t_1 = W_1/Q_1 \approx 17 - 25 \text{ წთ}, t_2 = W_1/Q_{2,3} \approx 29 - 40 \text{ წთ.}$$

თუმცა, მიუხედავად ასეთი თანხედენისა, ბუნებრივია, რომ არ შეიძლება გამოვრიცხოთ გარკვეული სკეპტიციზმი დამკვირვებლის მიერ მოწოდებული ინფორმაციის სანდოობასთან დაკავშირებით.

დასკვნა. მრავალწლიანი გამოცდილებით ცნობილი იყო, რომ მდინარე ვერეს ადრეული პირველი ორი გვირაბის შესასვლელი პრაქტიკულად ყოველთვის წარმოადგენდა ყველა მასშტაბური წყალდიდობის საწყის ადგილს. როგორც 13.06.2015 წლის კატასტროფულმა წყალმოვარდნამ აჩვენა, ხელოვნური დახურული კალაპოტის შემადგენელი ახალი გვირაბების აგებისა და ძველი გვირაბების მოდერნიზაციის შემდეგ წყალდიდობის მასშტაბები კიდევ უფრო გაიზარდა. ამას, სავარაუდოდ, პირველი გვირაბის შესასვლელის დროებით ჩახერგვასთან ერთად, მნიშვნელოვნად შეუწყო ხელი დახურული კალაპოტის შიდა ზედაპირის ხაოიანობამ და ამ გვირაბის მინაშენის კრიტიკულმა სიმრუდემ. განსაკუთრებულ ყურადღებას ითხოვს ფაქტი, რომ სივრცეში პირველი გვირაბის გამოსასვლელსა და ბოლო გვირაბის შესასვლელს შორის დატბორვა განვითარდა პირველი გვირაბის შეზღუდული გამტარუნარიანობის დროს, როცა მისი შესასვლელი ჩახერგილი იყო. ამ დროს თამარაშვილის მაგისტრალი, რომლის ქვეშ გადის პირველი გვირაბი, წყალგამყოფი აღმოჩნდა, განსხვავებით ვაკე-საბურთალოს დამაკავშირებელი ბერძენიშვილის ქუჩისაგან, რომლიდანაც მოხდა წყლის გადადინება ყიფშიძის ქუჩის მიმდებარე მონაკვეთზე მეორე საგუბარის წარმოქმნის გამო. ამიტომ, საკმაოდ სარწმუნოდ წარმოგვიდგება მოსაზრება, რომ პირველი გვირაბის გარდა, ლოკალური დატბორვის ეფექტი წარმოიქმნა აგრეთვე სხვა გვირაბების შესასვლელებშიც. პირველ რიგში, ასეთი ადგილი აღმოჩნდა მეორე გვირაბი, და სავარაუდოდ, ბოლო მოდერნიზირებული გვირაბი, რომელიც აერთებს ვერეს მტკვართან. ამიტომ მიგვაჩნია, რომ მომავალში ვერეს ხეობაში წყალდიდობის განმეორების კატასტროფული შედეგების თავიდან აცილების მიზნით საჭიროა დახურული კალაპოტის ყველა ტექნიკური ხარვეზის სრულფასოვანი ანალიზი. ამის დასტურად ქვემოთ მოყვანილია რამდენიმე ამონარიდი ნორმატიული მოთხოვნების კრებულიდან [12].

1. ზოგადი დებულებები

1.1. ახალი და არსებული ჰიდროტექნიკური გვირაბების რეკონსტრუქციის ძირითადი ტექნიკური გადაწყვეტილებები (მუშაობის ჰიდრაულიკური რეჟიმი, გაყვანის სიღრმე, განლაგება გეგმაში და გრძივ პროფილში, განივი კვეთა, მოპირკეთების ტიპი და სხვა) მიღებული უნდა იქნას ტექნიკურ-ეკონომიკური მაჩვენებლების ვარიანტების შედარების საფუძველზე ჰიდროკვანძის, მელიორაციული სისტემის ან წყალმომარაგების სისტემების ნაგებობის ზოგადი შემადგენლობის გათვალისწინებით, მათი ექსპლუატაციის პირობების, გვირაბების დანიშნულების, დაგეგმილი სამუშაოების საშუალებების და ვადების, მშენებლობის რაიონის ტოპოგრაფიული, საინჟინრო-გეოლოგიური, ჰიდროგეოლოგიური, კლიმატური და სხვა პირობების გათვალისწინებით.

საპროექტო გადაწყვეტილების არჩეული ვარიანტი უნდა უზრუნველყოფდეს ნაგებობის გამძლეობას, მდგრადობას და ეკონომიურობას, სამშენებლო და სარემონტო სამუშაოების ინდუსტრიალიზაციის და მექანიზაციის შესაძლებლობას, გვირაბების ოპტიმალურ საექსპლუატაციო ხარისხს.

1.2. I და II კლასის ძირითადი ჰიდროტექნიკური გვირაბების პროექტებში გათვალისწინებული უნდა იქნას საკონტროლო-საზომი აპარატურის მონტაჟი მშენებლობის პრო-

ცესში და მისი ექსპლუატაციის პერიოდში ნაგებობების მუშაობაზე ნატურული (ბუნებრივ გარემოში) დაკვირვებების ჩატარების მიზნით, გვირაბების მოპირკეთების, მისი მიმდებარე გრუნტის, ჰიდრავლიკური და ფილტრაციის რეჟიმების მდგომარეობის შესაფასებლად.

2. გვირაბის ტრასა და განივი კვეთა

2.1. ჰიდროტექნიკური გვირაბების პროექტირებისას შეძლებისდაგვარად უნდა იქნას თავიდან აცილებული უბნები, რომლებიც განლაგებულია გვირაბის მშენებლობის საინჟინრო-გეოლოგიურ და ჰიდროგეოლოგიურ არახელსაყრელ პირობებში (მნიშვნელოვანი ტექტონიკური რღვევები, აირგამოყოფა, მიწისქვეშა წყლების ნაკადი, მეწყერები, კარსტები), ასევე უბნები, რომლებიც ხასიათდება არახელსაყრელი სანიტარული პირობებით (ცხოველთა სამარხები, სასაფლაოები, ნაგავსაყრელები, ფილტრაციის ველები).

2.2. გვირაბის ტრასა უნდა იყოს სწორხაზოვანი და მინიმალური სიგრძის. არასწორხაზოვანი ტრასის მიღება დასაშვებია მხოლოდ იმ შემთხვევებში, როცა ეს გამოწვეულია ჰიდროკვანძის შედგენის მოთხოვნებით, დამატებითი სანგრევის გახსნის აუცილებლობით ან გვირაბის საკმარისი სიღრმის უზრუნველსაყოფად, ასევე, როცა აუცილებელია 2.1 პუნქტში მითითებული გვირაბის არახელსაყრელ პირობებში განლაგების თავიდან აცილება.

2.3. დაწნევითი გვირაბის მთელს სირგმეზე თაღის ჭრილის ქვეშ უზრუნველყოფილი უნდა იქნას წნევის მარაგი არანაკლებ 0,02 პასკალი.

2.4. გვირაბის ტრასის მოხვევის კუთხეები გეგმაში წყლის ჭავლის 10მ/წმ ნაკლები სიჩქარისას მიღებული უნდა იქნას არაუმეტეს 60°, ხოლო მომრგვალების რადიუსი – არანაკლებ გვირაბის ხუთი განის (დიამეტრის) ჯამური სიგანის. მოხვევის კუთხის გაზრდა და მომრგვალების რადიუსის შემცირება მოცემულთან შედარებით, ასევე მათი დაშვებული მნიშვნელობები წყლის ნაკადის 10მ/წმ მეტი სიჩქარის დროს აუცილებელია მიღებულ იქნას ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე.

2.5. გვირაბის მრუდხაზოვანი ტრასის საწყისი და საბოლოო უბნები უნდა იყოს სწორხაზოვანი სიგრძით, არანაკლებ გვირაბის განისა (დიამეტრის), მინიმუმ 6მ.

2.6. გვირაბების გრძივი კვეთის ზომები უნდა განისაზღვროს ჰიდრავლიკური და ტექნიკურ-ეკონომიკური გათვლების საფუძველზე.

2.7. ცვლადი ჰიდრავლიკური რეჟიმისა და გვირაბში წყლის 10მ/წმ მეტი სიჩქარის შემთხვევაში განივი კვეთის ზომები აუცილებელია დაზუსტდეს ლაბორატორიული კვლევების საფუძველზე, ანალოგიურ პირობებში არსებული გვირაბების ექსპლუატაციის გამოცდილების გათვალისწინებით.

2.8. წყლის დონის ზემოთ არსებული საჰაერო სივრცის სიმაღლე უწნევო გვირაბში ნაკადის 10მ/წმ-მდე სიჩქარით დადგენილი მოძრაობისას მიღებული უნდა იქნას ჰიდრავლიკური გათვლებით, მაგრამ არანაკლებ 0,07 გვირაბის სიმაღლისა და არანაკლებ 40 სმ.

ლიტერატურა

1. კერესელიძე ზ., შერგილაშვილი გ. მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დახურული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომების კრებული. ტ LXVI, 2016, გვ. 199-221.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Москва: Наука, 1973, гл. X. , 847 с.

3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Гл.4, Москва, Наука, 1988, 733с.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Гл. XX, Москва, Наука, 1974, 711 с.
5. СП 102.13330.2012.Туннели гидротехнические. Актуализированная редакция, СНиП 2.06.09-8, 2012.
6. კერესელიძე დ., ალავერდაშვილი მ., ცინცაძე თ., ტრაპაიძე ვ., ბრეგვაძე გ.რა მოხდა 2015 წლის 13 ივნისს მდინარე ვერეს წყალშემკრებ აუზში.თბილისი,საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა, 2015 წ. 40გვ.
7. CNN საქართველო მდინარე ვერეს 2015 წლის 13 ივნისის წყალმოვარდნა. ანგარიში მომზადდა „ტყის მდგრადი მართვა საქართველოში“ პროექტის ფარგლებში, ავსტრიის თანამშრომლობა განვითარებისათვის – ADC -ის მხარდაჭერით. თბილისი 2015 წ. 35გვ.
8. Landau L.D., Lifshitz E.M. Hydrodynamics. Moscow, Publishing House NAUKA, 1988, v. 4 (in Russian).
9. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. Москва, Наука, 1979, 536 с.
10. Биргкоф Г., Сарантоннело Э. Струи, следы и каверны. Москва, Мир, 1964.
11. Белоцерковский П. О соударении двух свободных плоских струй идеальной несжимаемой жидкости. В кн.Материалы всесоюзной конференции по краевым задачам. Казань, 1970, изд.казанскогогосуниверситета.
12. Building Normsand Rules. Hydrotechnicaltunnels. Actualizedpublication, SNiP 2.06.09-8 SP 102.13330.2012 (in Russian).

წყლის ხარჯის შეფასება მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნის დროს

კერესელიძე ზ., ხვედელიძე ი.

რეზიუმე

1962 წლიდან უკანასკნელი კატასტროფული წყალმოვარდნის მომენტამდე სვანობის ქუჩაზე მდებარე თბილისის სახ. უნივერსიტეტის ჰიდროლოგიურ სადგურში მიმდინარეობდა უწყვეტი დაკვირვება მდინარე ვერეს ჰიდროდინამიკური რეჟიმის პარამეტრებზე. ნებისმიერი სხვა მდინარის მსგავსად, ვერესათვისაც მთავარი მახასიათებელია წყლის ხარჯის ცვლილება ექსტრემალურ მეტეოროლოგიურ პირობებში. ამ თვალსაზრისით იგი ტიპური მთის მდინარეა, რადგანაც ვერეს, ნახევარსაუკუნოვანი მონიტორინგის მონაცემების თანახმად, ახასიათებს წყლის ხარჯის მკვეთრი ცვლილება: $Q_{max} \approx 10^2 * Q_{min}$ მინ კერძოდ, ხშირად განმეორებადი წყალმოვარდნების დროს სისტერმატიურად იტბორებოდა ვერეს ხეობის უკანასკნელი მონაკვეთი თამარაშვილის მაგისტრალსა და ზოოპარკს შორის. თუმცა, უკანასკნელი წყალმოვარდნის მასშტაბმა ყველა ადრეულ მოვლენას გადააჭარბა. ჩვენი შეხედულებით ამაში გამორჩეულად ნეგატიური როლი შეასრულა ვერეს ხეობაში 2011 წელს ექსპლოატაციაში შესულმა ჩქაროსნული გზის მონაკვეთმა. მისი კონსტრუქციის ძირითადი ელემენტია რამდენიმე გვირაბისაგან შემდგარი დახურული კალაპოტი, რომელსაც აუცილებლად გააჩნია მნიშვნელოვანი ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა, ამ თვალსაზრისით უმნიშვნელოვანესია თამარაშვილის მაგისტრალის ქვეშ გამავალი გვირაბი (მიწისქვეშა ხიდი), რომლის სიგრძე რეკონსტრუქციის შედეგად არსებითად გაი-

ზარდა (108 მ+252 მ). აღნიშნავთ რომ, ახალი გვირაბების გოფირებული შიდა ზედაპირის ხაოიანობა ჰიდრაულიკური ობიექტებისათვის დასაშვებზე გაცილებით უფრო მაღალი იყო, რაც აუცილებლად გამოიწვევდა ექსტრემალურ პირობებში წყლის ხარჯის შემცირებას. ამასთან ერთად პირველი გვირაბში იდამატებით არსებობდა კიდევ ერთი ნეგატიური ფაქტორი-მინაშენის მნიშვნელოვანი სიმრუდე, რომელიც ზედაპირული შეფასებით კრიტიკულის ზღვარზეა. ექსტრემალურ პირობებში გვირაბებში წყლის დინება განვითარებული ტურბულენტობის პირობებში იქნებოდა, თუმცა ამ ეფექტის რაოდენობრივი შეფასების მკაცრი თეორია არ არსებობს. ამიტომ, პირველ მიახლოებაში წყლის ხარჯის შეფასებისათვის გამოვიყენეთ ხაგენ-პუაზილის ფორმულის მოდიფიკაცია

$$Q_1 = \pi R^2 \bar{u}_1, (1)$$

სადაც R - ვერეს პირველი გვირაბის რადიუსია, \bar{u} - წყლის საშუალო სიჩქარ ეგვირაბში შესვლამდე. მაგრამ ტურბულიზაციის ეფექტი აუცილებლად შეცვლიდა საშუალო სიჩქარეს მილში წყლის დინებისას. ამ ეფექტის შეფასებისათვის გამოვიყენეთ ე.წ. დინამიკური სიჩქარე

$$V^* = \left(\frac{\lambda}{8}\right)^{1/2} \bar{u}_1 (2)$$

სადაც λ - ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი.

მოდელური სცენარის მიხედვით ჩვენს მიერ გაანალიზებულია წყლის ხარჯის ცვლილების სხვადასხვა ვარიანტი. ამისათვის გამოყენებულია ექსტრემალური სიჩქარის დიაპაზონი: /6-10/ მ/წმ, და λ /0.03-0.15/. გარდა ამისა, ჩვენი მოდელის საშუალებით შესაძლოა საკმარისი სანდოობით რეტროსპექტიულად შეფასდეს შეგუბებული წყლის მოცულობა როგორც სვანიძის ქუჩაზე ასევე ვერეს ხეობაში თამარაშვილის მაგისტრალსა და ზოპარკს შორის.

Оценка расхода воды во время паводка реки Вере 13. 06. 2015 года

Кереселидзе З.А., Хведелидзе И.Б.

Реферат

С 1962 года Гидрологическая станция Тбилисского государственного университета, расположенная на улице Г. Сванидзе, выполняла наблюдения относительно параметров гидродинамического режима реки Вере вплоть до разрушительного наводнения 13.06.2015 г. Главной особенностью реки Вере, подобной любой другой горной реке, является резкое изменение потока воды в экстремальных метеорологических условиях. Согласно данным, которые были накоплены за время полувекового мониторинга, Вере характеризуется быстрым изменением потока воды: $Q_{max} \approx 10^2 * Q_{min}$ Во время частых наводнений последняя часть ущелья Вере между шоссе Тамарашвили и зоопарком постоянно затоплялась. Однако, масштаб последнего наводнения превысил все предшествующие. По нашему мнению, это было вызвано из-за участка скоростной дороги в ущелье Вере, которая была введена в эксплуатацию в 2011 году. Главный элемент этого проекта – закрытое русло реки. Оно было сконструировано из нескольких тоннелей, у которых несомненно имелось значительное гидравлическое сопротивление. В этом отношении тоннель (подземный мост), проходящий под шоссе Тамарашвили, является

наиболее интересным. В результате реконструкции его длина значительно увеличилась. Примечательно, что шероховатость гофрированной внутренней поверхности новых тоннелей превысила уровень, допустимый для гидравлических объектов. Кроме того, в первом тоннеле очевидно действовал еще один негативный фактор, кривизна пристроенной секции. В экстремальных условиях турбулентного потока для оценки расхода воды была использована модифицированная формула Хагена-Пуазеиля

$$Q = \pi R^2 \bar{u}_1, \quad (1)$$

где R – радиус первого тоннеля, \bar{u}_1 – средняя скорость воды прежде. Однако, эффект турбулентности существенно влияет на среднюю скорость воды. Для оценки этого эффекта была использована т.н. динамическая скорость

$$V^* = \left(\frac{\lambda}{8}\right)^{1/2} \bar{u}_1, \quad (2)$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления.

Для оценки величины расхода воды во время катастрофического наводнения были проанализированы различные варианты режима течения в закрытом русле. Для этого были использованы диапазоны скорости воды/6-10/ м/с гидравлического сопротивления λ – /0.03-0.15/. Кроме этого, наша модель позволила получить ретроспективную оценку объема резервуаров воды, спонтанно возникших на улице Сванидзе, а также на примыкающем к улице Кипшидзе участке ущелья реки Vere.

Evaluation of water flow at Vere during the flood of 13.06.2015

Kereselidze Z., Khvedelidze I.

Abstract

Since 1962 the Hydrological Station of the Tbilisi State University located in Svanidze Street had been carrying out observations on the parameters of the hydrodynamic regime of the river Vere till the last moment of the devastating flood. The main characteristic of the river Vere, like any other rivers, is variation in water flow in harsh meteorological conditions. In this regard it is a typical mountain river. According to the data that have been accumulated during half a century observations the Vere is characterized with rapid changes in the water flow: $Q_{max} \approx 10^2 * Q_{min}$, namely, during frequent and recurrent floods the last section of the Vere Gorge between the Tamarashvili Highway and the Zoo was permanently being flooded. However, the measure of the last flood exceeded the ones of all the predecessors. In our point of view this was caused due to the highway section, which was opened for exploitation in 2011 in the gorge of the river Vere. The main element of its construction is a closed river bed made of several tunnels, which definitely have significant hydraulic resistance. In this regard the tunnel (underground bridge) under the Tamarashvili Highway is the most interesting. As a result of the reconstruction its length significantly increased (108m+252m). It is noteworthy that roughness of the corrugated internal surface of the new tunnels exceeded the rate permissible for hydraulic units. It would obviously decrease the water flow in emergency situations. Besides, in the first tunnel there was one more negative factor – maximum bending of the added section, which is at the maximum limit according to external assessment. In emergency situation the water flow would appear under the turbulent condition developed in the tunnels. However, there is no classical theory for quantitative assessment of this effect. Therefore, for assessment of the water flow we used a modified formula of Hagen-Poiseuille in the first approximation:

$$Q_1 = \pi R^2 \bar{u}_1 . \quad (1)$$

where R is the radius of the first tunnel of the river Vere, \bar{u} is average velocity of the water before flowing into the tunnel. However, the turbulence effect would definitely change the average water velocity during flowing in the pipe, i.e., there would be difference between the water flows at the inlet and the outlet of the tunnel. For the assessment of this effect we used so called dynamic velocity $V^* = \left(\frac{\lambda}{8}\right)^{1/2} \bar{u}_1$. Consequently, the water flow at the outlet of the first tunnel may be determined by the following formula:

$$Q_2 = \frac{\pi R^3}{4\nu} V_*^2 \quad (2)$$

where λ is a coefficient of hydraulic resistance, ν is kinetic viscosity of the water.

We have analyzed different variants of water flow according to the model scenario. For this we used maximum velocities: /6-10/ m/s, and λ /0.03-0.15/. Thus, the model elaborated by us enables quite reliable retrospective assessment of the values of the puddled waters both in the Svanidze Street and the Vere Gorge between the Tamarashvili Highway and the Zoo.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДНЕМЕСЯЧНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ПО МИССЕНАРДУ В АВТОНОМНОЙ РЕСПУБЛИКЕ АДЖАРИЯ И КАХЕТИИ (ГРУЗИЯ)

¹Амиранашвили А.Г., ²Джапаридзе Н.Д., ³Картвелишвили Л.Г.,
³Мегрелидзе Л.Д., ⁴Хазарадзе К.Р.

¹Институт геофизики им. М. Нодиа, ТГУ

²Тбилисский государственный медицинский институт

³Агентство по окружающей среде Грузии

⁴Грузинский государственный учебный университет по физическому воспитанию и спорту

Введение

Как известно, здоровье человека в основном зависит от образа его жизни (50 – 55 %), затем от условий окружающей среды (25 – 30 %), и наконец – от усилий медицины. Различные антропогенные нагрузки на среду обитания людей повышают риски воздействия на их здоровье и жизнь [1-5].

Исследования погодных условий, климата, качества атмосферного воздуха, а также различных гелио-геофизических и космических факторов на организм человека, проводятся во многих странах мира [6-11].

Значительное количество работ посвящено изучению роли отдельных метеорологических и гелио-геофизических элементов, параметров космической погоды, а также их комбинаций (температура воздуха [1,4,10, 12], влажность, скорость ветра, атмосферное давление, солнечная активность (числа Вольфа), геомагнитное поле, солнечная радиация, космические лучи [1, 12-20], легкие ионы [1,21-26], аэрозоли [1,27], озон [1,28,29], другие токсичные примеси в атмосфере и т.д. [1,3-5]) в формировании общей экологической ситуации в среде обитания человека, а также степени воздействия на здоровье людей.

Так, в работе [22] показано, что заповедная зона национального природного парка «Вижницкий» (Украина) характеризуется высоким содержанием легких отрицательных аэроионов, несколько уступает за данным показателем территория зоны стационарной рекреации и минимальное значение зафиксировано в хозяйственной зоне заповедного объекта. Установлена сезонная зависимость величины показателя униполярности разных функциональных зон территорий природно-заповедного фонда.

В работе [25] представлены результаты атмосферно-электрических измерений, полученные в пунктах наблюдений разных типов: в городском (г. Ростов-на-Дону), вблизи акватории Азовского моря (г. Таганрог, с. Приморка) и в высокогорном (Пик Чегет), расположенном в Приэльбрусье. Установлены закономерности пространственно-временных вариаций удельной электрической проводимости (концентрации аэроионов) атмосферы вблизи поверхности земли для разных условий. Приведена оценка влияния естественной радиоактивности и аэрозольного загрязнения на концентрацию аэроионов для пунктов наблюдений вблизи акватории Таганрогского залива Азовского моря. Представлены результаты сравнительного анализа городских и высокогорных данных атмосферно-электрических наблюдений.

Об особенностях эффекта излучения радионуклидов в образовании вторичных аэрозолей в условиях сильно загрязненной атмосферы на примере города Тбилиси (Тбилисский тип смога) было отмечено в [1,26]. Интенсификация ионизацией аэрозольного загрязнения атмосферы в условиях Тбилиси настолько сильна, что это приводит также к ухудшению качества воздуха и в аспекте его ионного состава. В целом Тбилисский тип смога характеризуется невозможной в естественных условиях обратной связью содержания радона, гамма-радиации и космического излучения с концентрацией легких ионов в воздухе, вызванной образованием вторичных аэрозолей в количестве, которое в совокупности с первичными частицами способно присоединять к себе больше ионов, чем их образуется при ионизации [1,26]. Предполагается, что Тбилисский тип смога может иметь место также и в других городах с сильно загрязненной атмосферой.

Хорошо известны эффекты значительного роста различных заболеваний и смертности населения при сильном холоде и экстремальной жаре [30-33], резких колебаниях атмосферного давления [15], высоком уровне загрязненности атмосферы [1-5,27,29], геомагнитных бурях [8,12,14-17] и др.

Для определения степени комфорта или дискомфорта среды обитания человека для его здоровья часто используют различные простые и сложные термальные индексы [30-74].

Простые термальные показатели включают в себя более одного метеорологического параметра и учитывают комбинированное воздействие на организм человека температуры воздуха, влажности, скорости ветра и др. (эффективная температура воздуха ET, Wet-bulb-globe temperature WBGT, климатический индекс туризма TCI) и другие [34-44].

Сложные термальные индексы основаны на моделях энергетического бюджета и теплового баланса организма человека. В последние годы популярны такие показатели, как: ощущаемая температура (PMV), физиологически эквивалентная температура (PET), стандартная эффективная температура (SET), физиологическая субъективная температура и субъективная температура (MENEX), универсальный термальный климатический индекс (UTCI) и т. д. [42, 43, 46-49, 70-72]).

Для расчета сложных термальных индексов дополнительно к указанным выше метеорологическим данным необходима информация о степени покрытия небосвода облаками, интенсивности солнечного излучения и др. Так, например, для расчета PMV, PET и SET используется специальная программа RayMan, которая позволяет определить значения этих термальных индексов с учетом пола, возраста, роста, веса, одетости, движения человека и др. для любого пункта земной поверхности, сезона года и времени суток [71,72]. В частности, в связи с предстоящими олимпийскими играми в Токио в 2020 г. в работе [73] проведен анализ возможных термальных нагрузок на спортсменов при проведении игр.

Воздействие на организм людей указанным выше факторов может проявляться как мгновенно, так и в течение часов, суток, недель, месяцев и более длительного периода времени [1,2,10,19,20,33,35,37,39,41,50,51].

Например, в работах [41,51] представлены результаты изучения связи среднесуточных значений эквивалентно-эффективной температуры воздуха (EET) в Тбилиси со смертностью населения этого города от сердечно-сосудистых заболеваний. Получено, что зависимость смертности от EET принимает классическую форму: высокая смертность при низких температурах, низкая – при комфортных, с дальнейшим увеличением при повышении температуры.

В работе [33] установлено, что связь между среднемесячной температурой воздуха в Кутаиси (Грузия) и такими показателями физиологического состояния людей, как общее количество вызовов скорой медицинской помощи, случаев госпитализации и смерти, имеет форму полинома третьей степени. В целом, в теплые месяцы происходит сокращение общего количества вызовов скорой помощи, случаев госпитализации и летальных исходов. В жаркие месяцы наблюдается ухудшение этих показателей здоровья, сравнимое с холодными месяцами года (увеличение числа вызовой скорой помощи, случаев госпитализации и смерти).

В работе [19] приведены результаты исследования влияния годовой изменчивости температуры воздуха, концентрации приземного озона и интенсивности нейтральной составляющей

галактических космических лучей на смертность населения города Тбилиси в 1984-2010 гг. В частности, было обнаружено, что в пределах вариационного размаха вклад изученных параметров в изменчивость смертности выглядит следующим образом: случайная составляющая температуры воздуха – 8.5%, реальные значения концентрации приземного озона и интенсивности космических лучей – 20.9% и 16.5% , соответственно.

Следует отметить, что существует около 200 термальных индексов различной сложности [34-38,42,42-72]. Каждый индекс имеет свою численную шкалу с соответствующим словесным описанием теплоощущения человеческого тела и указанием возможных рисков для организма, понятным для широкого круга населения (например, “холодно”, “комфортно”, “тепло”, “тепловой или солнечный удар”, “повышенная утомляемость”, “опасность обморожения” и т.д.).

Учитывая, что большинство этих индексов описывается математическими выражениями, между ними обычно имеется высокая корреляционная связь. Однако градации (шкалы) индексов обычно приведены для метеорологических и климатических условий тех стран, где они разработаны (Европа, США, Канада, Австралия, Россия и др.) [34-38]. Поэтому, при подборе того или иного индекса для описания биоклиматической ситуации определенной местности необходимо учитывать адаптированность населения к метеорологическим и климатическим особенностям данной местности. С этой целью, по возможности, следует проводить совместные исследования специалистов по метеорологии, климатологии, биометеорологии и здравоохранению. Подобные исследования, в частности, проведены и в Грузии [1,20,39,41,51,53].

Важно учесть, что подавляющее большинство термальных индексов используются в оперативных целях для определения часовых или суточных уровней теплоощущения людей и не всегда пригодны для описания биоклиматических условий местности в большем масштабе времени (декада, месяц, сезон и др.). Поэтому, формальное использование для этих целей, даже часто применяемых в разных странах термальных индексов, не всегда может быть адекватным.

В связи с указанным подбор термальных индексов, на наш взгляд, следует проводить с учетом по крайней мере следующих условий:

- наличие необходимой исходной метеорологической и климатической информации;
- возможность проверки соответствия шкалы этих индексов физиологическому состоянию людей (смертность, вызовы скорой медицинской помощи, госпитализация и др.);
- универсальность шкалы индексов для различных масштабов осреднения (по крайней мере до месяца);
- широкая используемость подобранных термальных индексов в различных странах, позволяющая корректно сравнивать с ними биоклиматические условия исследуемой местности.

Информация о среднемесячных значениях термальных индексов имеет важное практическое значение, например, для оценки общего биоклиматического потенциала местности в целях развития курортно-туристической индустрии, многолетней динамики этих индексов в связи с изменением климата и др. В этом плане опубликовано достаточно много работ, в которых используются самые различные простые и сложные термальные индексы [6,7,9,10,11,13,20,30,34,35,36,40,52]. Однако не во всех странах (главным образом развивающихся) имеется возможность определять сложные индексы из-за отсутствия необходимой исходной информации. Да и в развитых странах при исследовании долговременной изменчивости биоклимата ученые сталкиваются с этой же проблемой. Поэтому исследования биоклимата территорий с использованием простых термальных индексов еще долго будут актуальными.

При применении среднемесячных данных о значениях термальных индексов обычно используется стандартная шкала и категории этих индексов, используемых для описания реальной (часовой или дневной) биоклиматической ситуации. При месячном осреднении метеорологических данных, как правило, происходит сокращение диапазона шкалы термальных индексов и уменьшение ее чувствительности (огрубление) для оценки степени биоклиматической комфортности окружающей среды для людей. В связи с этим, при определении биокли-

матических условий местности численные значения стандартной шкалы термальных индексов не всегда могут совпадать со словесным описанием категорий этих индексов. Поэтому, если имеются данные о здоровье или смертности населения, при подборе того или иного индекса, целесообразно либо корректировать его шкалу для исследуемой среды обитания человека, либо (что на наш взгляд лучше), выявить наиболее подходящий для этих целей широко используемый в разных странах термальный индекс с универсальной для этих целей шкалой.

Подобное исследование проведено в работе [53], где с использованием результатов [74] представлен сравнительный анализ связи восьми простых термальных индексов [41, 54-68] и климатического индекса туризма [20,69,73] с месячной смертностью населения города Тбилиси по поводу сердечно-сосудистых заболеваний. Значения простых термальных индексов рассчитывались с использованием среднемесячных и средних месячных за 13 часов данных метеорологических элементов. Между всеми изученными простыми термальными индексами наблюдается практически прямая функциональная связь с коэффициентом линейной корреляции не ниже 0.86. Связь простых термальных индексов с климатическим индексом туризма нелинейная и имеет вид полинома третьей степени [53].

Была изучена возможность использования стандартных шкал и категорий указанных индексов в качестве биоклиматического показателя в месячном масштабе времени. В целом, все индексы адекватно соответствуют степени биоклиматической комфортности окружающей среды для людей (низкая смертность при комфортных условиях). Наиболее же репрезентативной для этой цели оказалась эффективная температура воздуха по Миссенарду на 13 часов [53,55,56].

Данная работа является продолжением предыдущих исследований [12,20,33,39-41,50-53, 73-76]. Ниже представлены результаты изучения внутригодовых вариаций среднемесячных значений эффективной температуры воздуха по Миссенарду (ET) в двух диаметрально противоположно расположенных по широте географических районах Грузии: Автономной Республике Аджария (ниже – Аджария) и Кахетинском регионе (ниже – Кахетия).

Используемые данные, описание районов исследования, методика обработки данных

В работе использованы данные национального агентства Грузии по окружающей среде о среднемесячных значениях температуры (T) и относительной влажности воздуха (RH), а также скорости ветра (V) на 13 час. местного времени в период с 1961 по 2010 гг.

Таб. 1

Координаты и высоты восьми метеорологических станций в Аджарии и Кахетии

Пункты	Широта, N°	Долгота, E°	Высота, м, над. ур. моря
Аджария			
Батуми	41.64	41.64	9
Кобулет	41.82	41.78	3
Хуло	41.64	42.3	921
Годердзский перевал (Годердзи)	41.63	42.52	2025
Кахетия			
Телави	41.93	45.48	568
Дедорлисцкаро	41.47	46.08	800
Кварели	41.97	45.83	449
Сагареджо	41.73	45.33	802

В таб. 1 представлена информация о координатах и высотах над уровнем моря восьми метеорологических станций в Аджарии (Батуми, Кобулет, Хуло, Годердзский перевал – Годердзи) и Кахетии (Телави, Дедорлисцкаро, Кварели, Сагареджо). Как следует из этой таб-

лицы в Абхазии станции расположены на высотах от 3 до 2025 м, а в Кахетии – от 449 до 802 м на уровне моря.

На рис. 1 для наглядности представлено расположение этих станций на территории Грузии (масштаб – в правом нижнем углу).

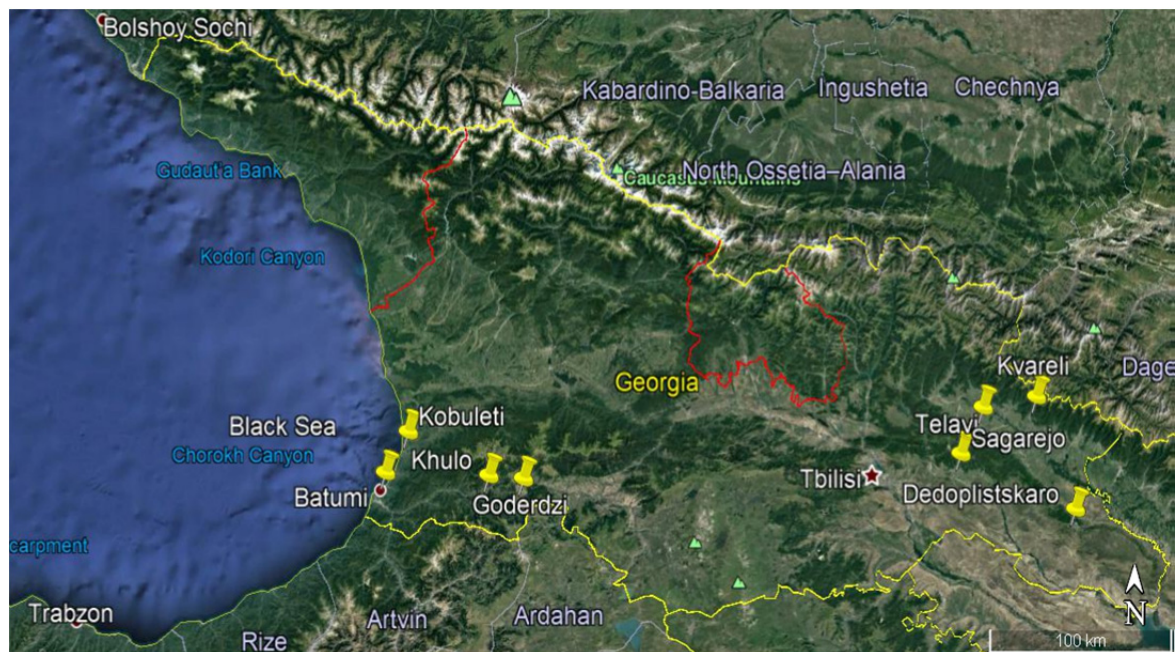


Рис. 1. Расположение метеорологических станций в Абхазии и Кахетии

Абхазия находится в западной части Грузии на побережье Черного моря (рис.1). Площадь – 2900 км², население – 346.3 тыс. чел. (в том числе городского – 195.2 тыс. чел.), столица автономной республики – Батуми (население – 163.4 тыс. чел.) [www.geostat.ge].

Территория Абхазии явственно делится на две части: приморскую Абхазию, которая охватывает долины, низменности и нагорную Абхазию. Приморская и нагорная части различны по своим природным условиям. Приморская отличается характерным для субтропического воздуха высоким термическим режимом (Батуми, Кобулет). Нагорная же, где влияние Чёрного моря из-за горных преград ослаблено, значительно прохладнее и чем выше высота над уровнем моря, тем температура воздуха ниже (Хуло, Годердзи). Климат – влажный субтропический. Среднемесячная температура воздуха (°C) в январе (самый холодный месяц) и августе (самый теплый месяц) соответственно следующая: в Батуми: 6.9 и 22.8, Кобулет: 5.5 и 23.1, Хуло: 1.2 и 19.1, Годердзи: -7.7 и 12.5. Среднемесячная дневная температура воздуха в январе и августе соответственно следующая: в Батуми: 10.8 и 26.4, Кобулет: 10.4 и 27.0, Хуло: 5.3 и 25.4, Годердзи: -4.6 и 17.5.

Абхазия знаменита своими курортами с прекрасными пляжами, историческими памятниками и другими достопримечательностями, привлекающими многочисленных туристов. За последнее десятилетие в развитие туристической инфраструктуры Абхазии сделаны значительные шаги и сегодня она находится на новом витке своего стремительного развития [<https://www.advantour.com/rus/georgia/abjara.htm>].

Кахетия расположена в восточной части Грузии (рис.1). Площадь – 11375 км², население – 314.7 тыс. чел., (в том числе городского – 71.4 тыс. чел.), столица региона – Телави (население – 19.8 тыс. чел.) [www.geostat.ge].

Климат большей части Кахетии субтропический и очень приятный для путешествий. Путешествовать по Кахетии можно круглый год, и единственным районом, куда нельзя попасть зимой, является горная область Тушетия. В Алазанской долине средняя температура января (самый холодный месяц) около 0÷1 °С, в июле (самый теплый месяц) – 22÷24 °С. Алазанская долина и северные склоны Гомборского хребта очень благоприятны для выращивания винограда — именно здесь расположен главный винный центр Грузии.

Среднемесячная температура воздуха (°С) в четырех пунктах исследования в январе и июле соответственно следующая: в Телави: 1.2 и 23.5, Дедоплисцкаро: -0.2 и 22.6, Кварели: 1.8 и 24.1, Сагареджо: 0.7 и 22.4. Среднемесячная дневная температура воздуха в январе и июле соответственно следующая: в Телави: 5.7 и 29.4, Дедоплисцкаро: 4.6 и 28.5, Кварели: 6.6 и 30.6, Сагареджо: 5.4 и 28.4.

В Кахетии множество мест с красивыми озерами и водопадами, старинными винодельнями и пещерными монастырями, памятниками культуры, лечебными курортами и другими интересными для туристов объектами. Как и в Аджарии, здесь за последние годы также заметен существенный прогресс в развитие курортно-туристической индустрии [<https://ru.wikipedia.org/wiki/Кахетия#Климат>].

Значения эффективной температуры воздуха по Миссенарду (ЕТ) рассчитывались по формуле, приведенной в таблице 2. В этой же таблице представлена шкала ЕТ (°С) и соответствующее словесное описание степени теплоощущения человека (категория) в зависимости от значений эффективной температуры воздуха. В последней графе таблицы приведены сокращенные наименования категорий шкалы ЕТ, часто используемые ниже в целях экономии объема текста. В тексте также часто опущена размерность эффективной температуры воздуха °С.

Отметим, что категория ЕТ “Холодно” полностью находится в диапазоне положительных температур. В частности, при этой категории в Тбилиси наблюдается лишь некоторое повышение смертности населения по причинам сердечно-сосудистых заболеваний по сравнению с комфортными условиями (на 14 %) [53]. Поэтому указанную категорию значений ЕТ, на наш взгляд, можно считать нижним пределом биоклиматической благоприятности для так называемого “среднего туриста” (вне зависимости от пола, возраста и др.).

Таб. 2

Формула для расчета ЕТ и степень теплоощущения человека (категория) в зависимости от значений эффективной температуры воздуха

Эффективная температура воздуха [55,56]: $ET = 37 - (37 - T) / (0.68 - 0.0014 \cdot RH + 1 / (1.76 + 1.4 \cdot V^{0.75})) - 0.29 \cdot T \cdot (1 - 0.01 \cdot RH)$				
°С	Category	კატეგორია	Категория	Кат. сокр.
<1	Very cold	ძალიან ცივა	Очень холодно	Оч. хол.
1-9	Cold	ცივა	Холодно	Хол.
9-17	Cool	გრილა	Прохладно	Прохла.
17-21	Comfortable	კომფორტული	Комфортно	Комф.
21-23	Warm	თბილა	Тепло	Теп.
23-27	Hot	ცხელა	Жарко	Жар.
>27	Very Hot	ძალიან ცხელა	Очень жарко	Оч. жар.

При анализе данных использованы хорошо известные стандартные статистические методы исследований. Пропущенные ряды наблюдений были восстановлены по имеющимся данным соседних метеорологических станций с использованием стандартных методик [77].

Ниже использованы следующие обозначения: Mean – среднее значение, Min – минимальное значение, Max – максимальное значение, R² коэффициент детерминации, Low и Upp соответственно значения 99% нижнего и верхнего уровней доверительного интервала среднего.

Результаты

Результаты работы представлены в таб. 3-6 и на рис. 2-9.

В таб. 3 приведена общая информация о средних значениях и категориях ЕТ в восьми пунктах Аджарии и Кахетии в среднем за год, холодный (октябрь-март) и теплый (апрель-сентябрь) сезоны года, их минимальных и максимальных, а также средних минимальных и максимальных значениях. На рис. 2 и 5 соответственно представлены данные о средних значениях ЕТ в указанных пунктах Аджарии и Кахетии в различные месяцы и сезоны года. На рис. 3 и 6 приведены данные о верхнем и нижнем уровнях 99% доверительного интервала среднего значения ЕТ в восьми исследуемых пунктах Аджарии и Кахетии в указанные промежутки времени года. На рис. 4 и 7 представлена графическая информация о средних минимальных и максимальных значениях ЕТ в этих исследуемых районах в различные месяцы и периоды года.

Как следует из таб. 3 и рис. 2 и 5 среднегодовое значение ЕТ для всех пунктов, кроме высокогорного Годердзи (ЕТ= -3.9, “Оч. хол.”) относится к категории “Прохл.” с диапазоном изменения ЕТ от 11.0 (Хуло) до 15.4 (Кварели). В холодное полугодие в Аджарии значение ЕТ в Батуми соответствует категории “Прохл.”, тогда как в Кобулету и Хуло “Хол.”. В Годердзи категория ЕТ “Оч. хол.”. В Кахетии для всех четырех исследуемых пунктов значение ЕТ соответствует категории “Хол.”. В теплое полугодие в Аджарии значение ЕТ в Годердзи соответствует категории “Хол.”, в остальных трех пунктах “Комф.”. В Кахетии в указанный сезон года в Телави, Дедоплискарро и Сагареджо комфортные значения ЕТ, тогда как в Кварели “Теп.”.

Таб. 3

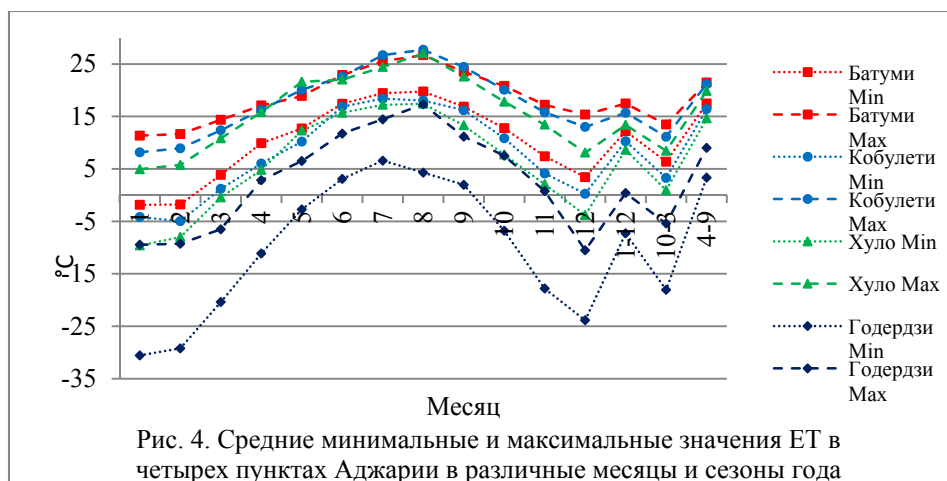
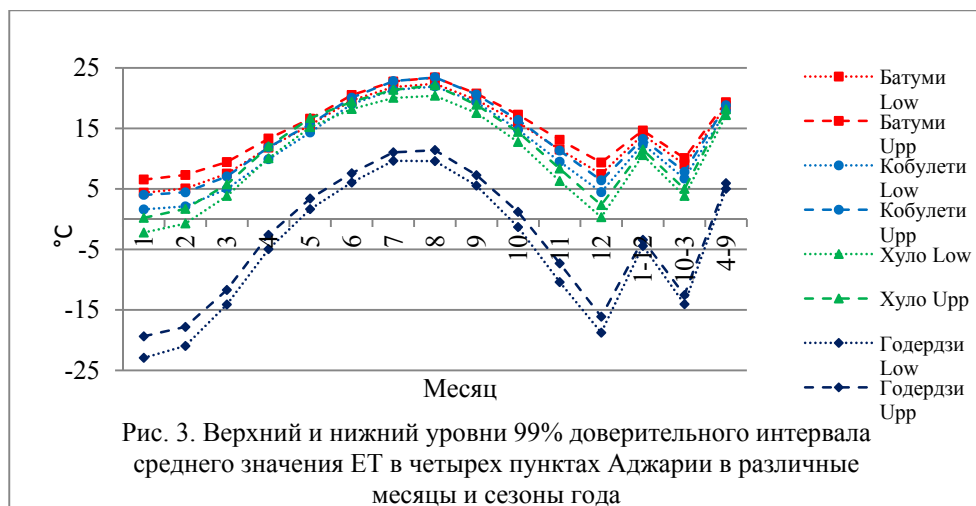
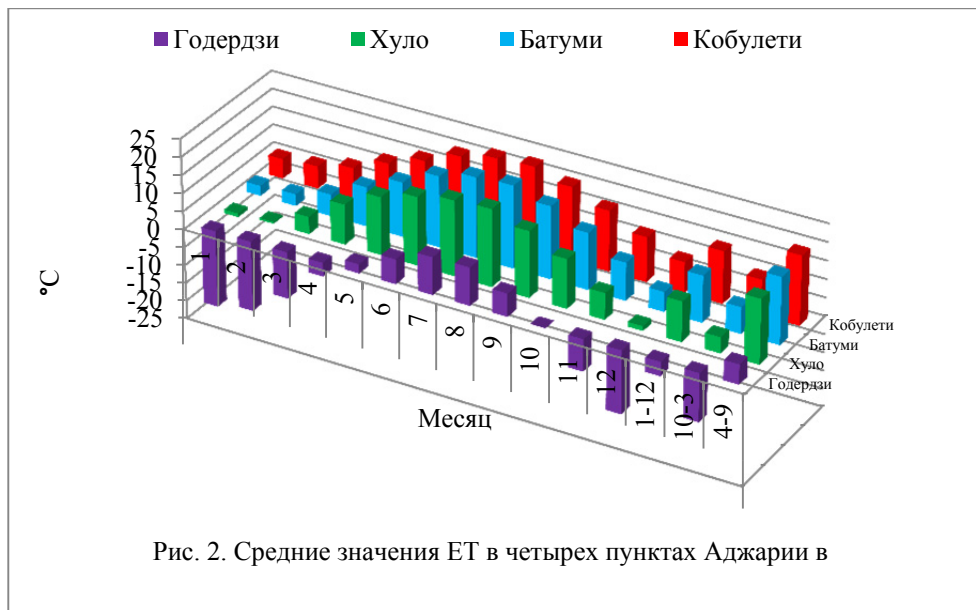
Данные о средних значениях и категориях ЕТ в восьми пунктах Аджарии и Кахетии

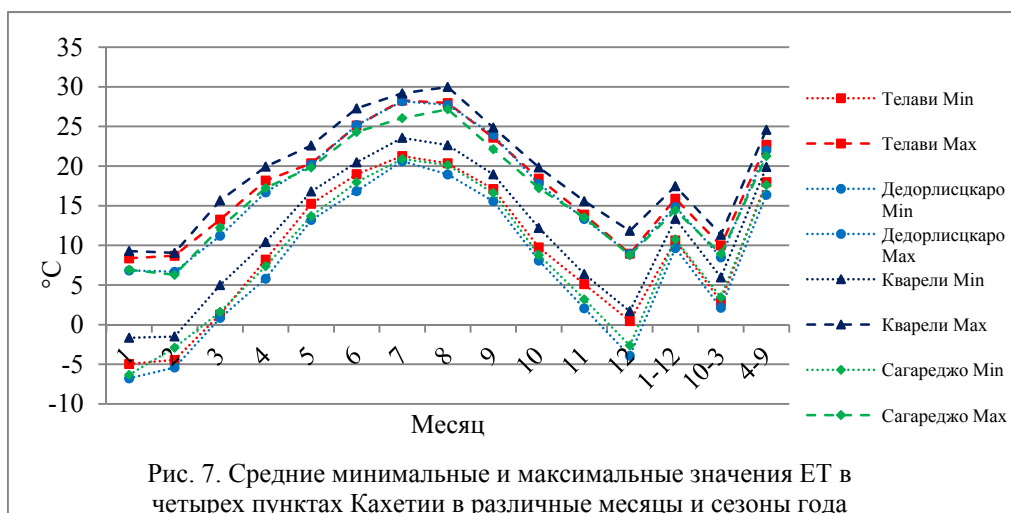
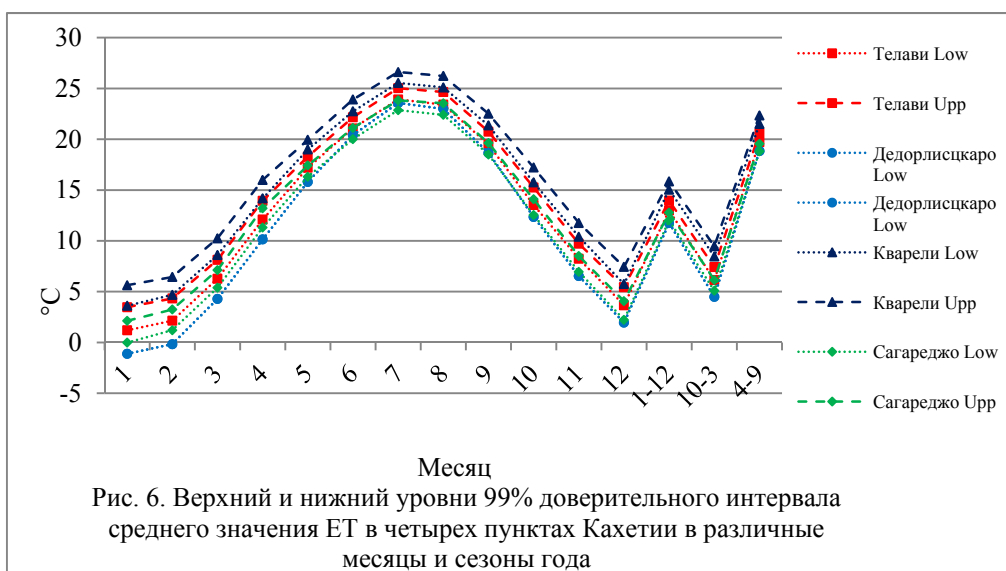
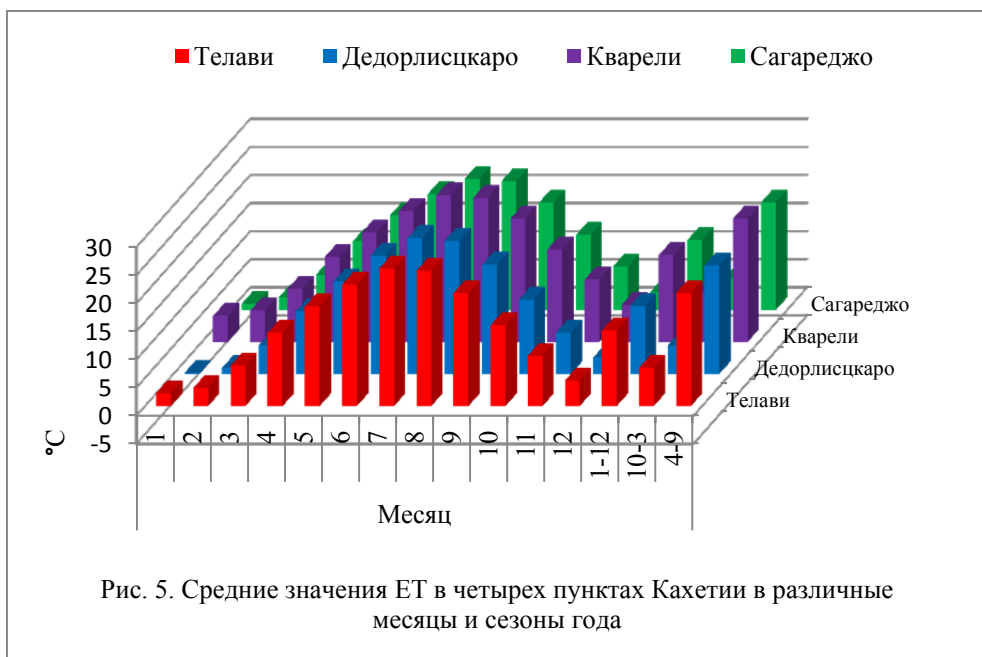
Пункты	Все данные					Среднее за 1961-2010 гг.	
	Среднее за год	Среднее в холодный период	Среднее в теплый период	Min	Max	Min	Max
Батуми	14.3	9.6	19.0	-1.9	26.7	5.5	22.9
	Прохл.	Прохл.	Комф.	Оч. хол.	Жар.	Хол.	Теп.
Кобулету	12.8	7.3	18.4	-5.0	27.7	2.8	22.7
	Прохл.	Хол.	Комф.	Оч. хол.	Оч. жар.	Хол.	Теп.
Хуло	11.0	4.4	17.6	-9.6	27.0	-1.0	21.2
	Прохл.	Хол.	Комф.	Оч. хол.	Жар.	Оч. хол.	Теп.
Годердзи	-3.9	-13.3	5.5	-30.6	17.3	-21.1	10.5
	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Оч. хол.	Комф.	Оч. хол.	Прохл.
Телави	13.5	6.8	20.2	-5.0	28.3	2.3	24.5
	Прохл.	Хол.	Комф.	Оч. хол.	Оч. жар.	Хол.	Жар.
Дедоплискарро	12.2	5.0	19.4	-6.8	28.2	0.2	24.2
	Прохл.	Хол.	Комф.	Оч. хол.	Оч. жар.	Оч. хол.	Жар.
Кварели	15.4	9.0	21.9	-1.7	30.0	4.6	26.1
	Прохл.	Хол.	Теп.	Оч. хол.	Оч. жар.	Хол.	Жар.
Сагареджо	12.4	5.6	19.2	-6.3	27.2	1.1	23.4
	Прохл.	Хол.	Комф.	Оч. хол.	Оч. жар.	Хол.	Жар.

Абсолютные среднемесячные минимальные значения ЕТ для всех восьми исследуемых пунктов соответствуют категории “Оч. хол.”, а максимальные: в Годердзи “Комф.”, Батуми и Хуло “Жар.”, Кобулету и четырех пунктах Кахетии “Оч. жар.” (таб. 2).

Средние минимальные значения ЕТ в исследуемый пятидесятилетний период времени в Батуми, Кобулету, Телави, Кварели и Сагареджо соответствуют категории “Хол.”, а в остальных пунктах “Оч. хол.”. Категории средних максимальных значений ЕТ следующие: в Годердзи “Прохл.”, в Батуми, Кобулету и Хуло “Теп.”, во всех пунктах Кахетии “Жар.” (таб. 2, рис. 4 и 7).

Внутригодовой ход среднемесячных значений ЕТ, а также их средних минимальных и максимальных величин для всех исследуемых пунктов имеет одномодальный характер с максимумом в летнее время и минимумом зимой (рис. 2-7).





Категории среднемесячных значений ET и их верхних и нижних уровней 99% доверительного интервала в восьми пунктах Аджарии и Кахетии

Пункт	Холодное полугодие						
	Месяц	1	2	3	10	11	12
Батуми	Low	Хол.	Хол.	Хол.	Прохл.	Прохл.	Хол.
	Mean			Хол.	Прохл.		Хол.
	Upp			Прохл.	Комф.		Прохл.
Кобулети	Low	Хол.	Хол.	Хол.	Прохл.	Прохл.	Хол.
	Mean						
	Upp						
Хуло	Low	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Оч. хол.
	Mean		Оч. хол.				Хол.
	Upp		Хол.				Хол.
Годердзи	Low	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.
	Mean				Оч. хол.		
	Upp				Хол.		
Телави	Low	Хол.	Хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Хол.
	Mean					Хол.	
	Upp					Прохл.	
Дедорлисцкаро	Low	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Хол.
	Mean	Оч. хол.	Хол.				
	Upp	Хол.	Хол.				
Кварели	Low	Хол.	Хол.	Хол.	Прохл.	Прохл.	Хол.
	Mean			Прохл.	Прохл.		
	Upp			Прохл.	Комф.		
Сагареджо	Low	Оч. хол.	Хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Хол.
	Mean	Хол.					
	Upp	Хол.					
	Теплое полугодие						
	Месяц	4	5	6	7	8	9
Батуми	Low	Прохл.	Прохл.	Комф.	Теп.	Теп.	Комф.
	Mean					Теп.	
	Upp					Жар.	
Кобулети	Low	Прохл.	Прохл.	Комф.	Теп.	Теп.	Комф.
	Mean					Теп.	
	Upp					Жар.	
Хуло	Low	Прохл.	Прохл.	Комф.	Комф.	Комф.	Комф.
	Mean				Комф.	Теп.	
	Upp				Теп.	Теп.	
Годердзи	Low	Оч. хол.	Хол.	Хол.	Прохл.	Прохл.	Хол.
	Mean						
	Upp						
Телави	Low	Прохл.	Комф.	Теп.	Жар.	Жар.	Комф.
	Mean						
	Upp						
Дедорлисцкаро	Low	Прохл.	Прохл.	Комф.	Жар.	Теп.	Комф.
	Mean		Прохл.	Теп.		Жар.	
	Upp		Комф.	Теп.		Жар.	
Кварели	Low	Прохл.	Комф.	Теп.	Жар.	Жар.	Теп.
	Mean			Жар.			
	Upp			Жар.			
Сагареджо	Low	Прохл.	Прохл.	Комф.	Теп.	Теп.	Комф.
	Mean		Прохл.	Комф.	Жар.	Теп.	
	Upp		Комф.	Теп.	Жар.	Жар.	

Категории верхних и нижних уровней 99% доверительного интервала среднемесячных значений ET в основном совпадают с их средними значениями (рис. 3 и 6, таб. 4 – отмечено наклонным жирным шрифтом). Сдвиг категории на одну ступень в сторону холода или тепла в холодное полугодие как в Аджарии, так и Кахетии наблюдается для 6 месяцев (по 12.5 % случаев). В теплое полугодие этот сдвиг в Аджарии отмечается для 4 месяцев (8.3 % случаев), Кахетии – 8 месяцев (16.7 % случаев). При этом в Аджарии в январе, ноябре, с апреля по июнь и в сентябре (6 месяцев в год) для всех пунктов категории значений ET не меняются в пределах 99% доверительного интервала их среднего. В Кахетии для всех пунктов это наблюдается лишь в декабре, апреле и сентябре, а в целом для 8 исследуемых пунктов – в апреле и сентябре (таб. 4). По всей видимости, одна из причин указанного выше, может быть связана с тем, что процесс потепления в Кахетии (Восточная Грузия) происходит более интенсивно, чем в Аджарии (Западная Грузия) [78,79].

Таб. 5

Категории среднемесячных минимальных и максимальных значений ET в восьми пунктах Аджарии и Кахетии

Пункт	Холодное полугодие						
	Месяц	1	2	3	10	11	12
Батуми	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Хол.
	Max	Прохл.	Прохл.	Прохл.	Комф.	Комф.	Прохл.
Кобулет	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Оч. хол.
	Max	Хол.	Хол.	Прохл.	Комф.	Прохл.	Прохл.
Хуло	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Хол.	Оч. хол.
	Max	Хол.	Хол.	Прохл.	Комф.	Прохл.	Хол.
Годердзи	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.
	Max	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Оч. хол.	Оч. хол.
Телави	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Оч. хол.
	Max	Хол.	Хол.	Прохл.	Комф.	Прохл.	Хол.
Дедорлисцкаро	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Хол.	Оч. хол.
	Max	Хол.	Хол.	Прохл.	Комф.	Прохл.	Хол.
Кварели	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Прохл.	Хол.	Хол.
	Max	Прохл.	Прохл.	Прохл.	Комф.	Прохл.	Прохл.
Сагареджо	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Хол.	Хол.	Оч. хол.
	Max	Хол.	Хол.	Прохл.	Комф.	Прохл.	Хол.
	Теплое полугодие						
	Месяц	4	5	6	7	8	9
Батуми	Min	Прохл.	Прохл.	Комф.	Комф.	Комф.	Прохл.
	Max	Комф.	Комф.	Теп.	Жар.	Жар.	Жар.
Кобулет	Min	Хол.	Прохл.	Прохл.	Комф.	Комф.	Прохл.
	Max	Прохл.	Комф.	Теп.	Жар.	Оч. жар.	Жар.
Хуло	Min	Хол.	Прохл.	Прохл.	Комф.	Комф.	Прохл.
	Max	Прохл.	Теп.	Теп.	Жар.	Жар.	Теп.
Годердзи	Min	Оч. хол.	Оч. хол.	Хол.	Хол.	Хол.	Хол.
	Max	Хол.	Хол.	Прохл.	Прохл.	Комф.	Прохл.
Телави	Min	Хол.	Прохл.	Комф.	Теп.	Комф.	Комф.
	Max	Комф.	Комф.	Жар.	Оч. жар.	Оч. жар.	Жар.
Дедорлисцкаро	Min	Хол.	Прохл.	Прохл.	Комф.	Комф.	Прохл.
	Max	Прохл.	Комф.	Жар.	Оч. жар.	Оч. жар.	Жар.
Кварели	Min	Прохл.	Прохл.	Комф.	Жар.	Теп.	Комф.
	Max	Комф.	Теп.	Оч. жар.	Оч. жар.	Оч. жар.	Жар.
Сагареджо	Min	Хол.	Прохл.	Комф.	Комф.	Комф.	Прохл.
	Max	Комф.	Комф.	Жар.	Жар.	Оч. жар.	Теп.

В таб. 5 представлены данные о категориях среднемесячных минимальных и максимальных значений ЕТ в восьми пунктах Аджарии и Кахетии в различные месяцы года. Отметим, что эта данные, как и данные таб. 4, могут иметь практическое применение при планировании развития в исследуемых регионах различных видов курортно-туристической индустрии.

Несмотря на небольшие расстояния между исследуемыми пунктами в Аджарии и Кахетии (в пределах 100 км, рис. 1), отмечается заметная контрастность в категориях среднемесячных значений ЕТ на этих территориях (таб. 4), связанная с рельефом местности и высотой расположения пунктов над уровнем моря (рис. 1, таб. 1).

Так, в Аджарии категории среднемесячных значений ЕТ в Батуми и Кобулети одинаковы для всех месяцев года и охватывают диапазон от “Хол.” до “Прохл.” в холодное полугодие и от “Прохл.” до “Теп.” в теплое полугодие. В Хуло диапазон категорий среднемесячных значений ЕТ находится в пределах “Оч. хол.” ÷ “Прохл.” в холодный период года и “Прохл.” ÷ “Теп.” в теплый период года. В Годердзи указанные категории ЕТ в течение года охватывают весьма узкий диапазон от “Оч. хол.” до “Прохл.” (таб. 4).

В Кахетии с октября по март категории среднемесячных значений ЕТ охватывают диапазон от “Оч. хол.” до “Прохл.”, а с апреля по сентябрь – от “Прохл.” до “Жар.” (таб. 4).

Отметим, что зимой (декабрь-февраль) среднемесячные значения ЕТ в Батуми, Кобулети, Телави, Кварели и Сагареджо соответствуют одной и той же категории “Хол.”, в апреле на всех пунктах (кроме Годердзи) термальный режим атмосферы соответствует категории “Прохл.”, в сентябре на шести пунктах (кроме Годердзи “Хол.”, и Кварели “Теп.”) значения ЕТ соответствуют категории “Комф.”.

Летом в Батуми, Кобулети и Хуло значения ЕТ соответствуют двум категориям “Комф.” и “Теп.”, тогда как в исследуемых пунктах Кахетии – трем: “Комф.” ÷ “Жар.”. При этом категория ЕТ “Комф.” отмечается лишь в Сагареджо в июне. В целом в Кахетии летом теплее, чем в Аджарии (таб. 4).

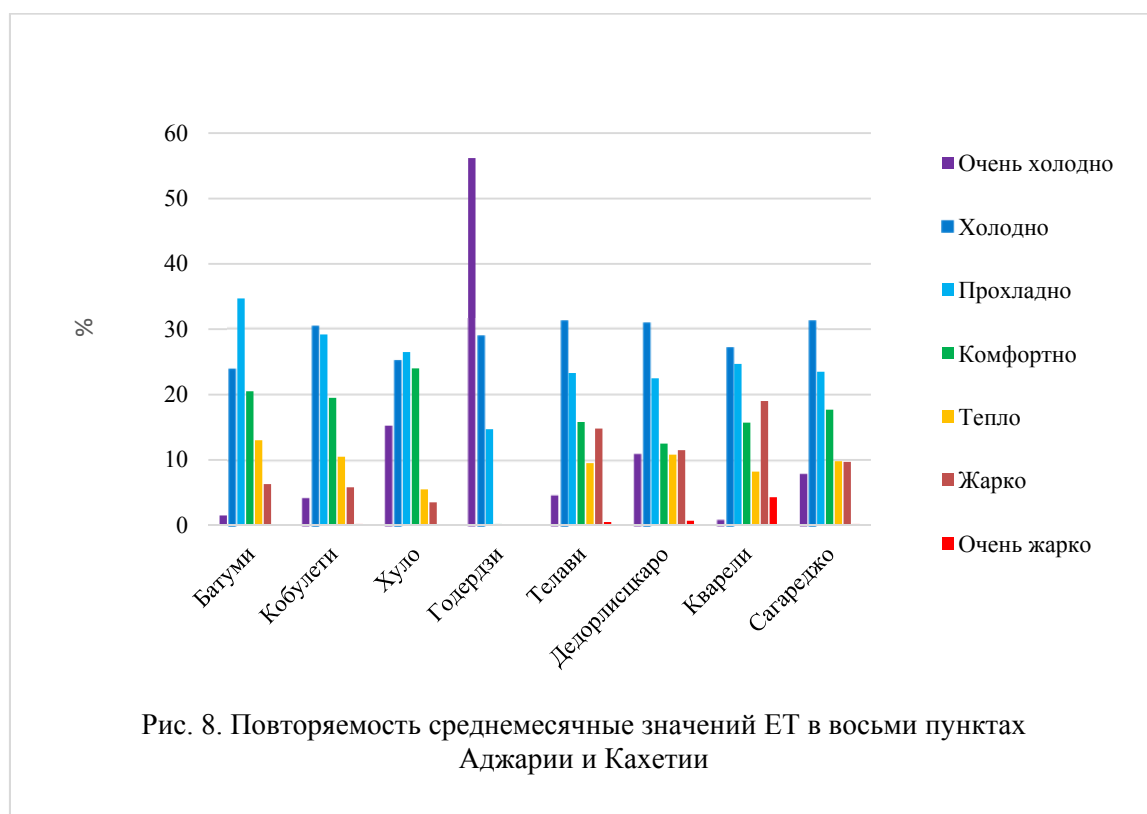
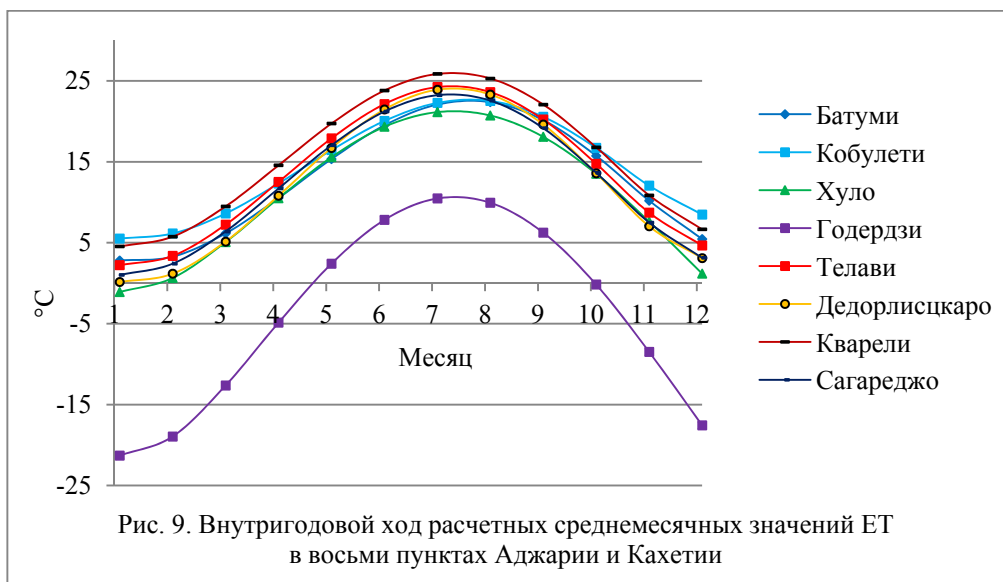


Рис. 8. Повторяемость среднемесячные значения ЕТ в восьми пунктах Аджарии и Кахетии

На рис. 8 представлены гистограммы повторяемости среднемесячных значений ЕТ в восьми пунктах Аджарии и Кахетии. Как следует из этого рисунка, повторяемость категорий значений ЕТ для этих пунктов следующая.

- “Очень холодно”: В Батуми, Кобулети, Хуло и Годердзи – соответственно 1.5, 4.3, 15.3 и 56.2 % случаев. В Кахетии повторяемость этой категории меняется от 1.0 % в Кварели до 11.0 % случаев в Дедоплисцкаро.
- “Холодно”: В Аджарии повторяемость этой категории варьирует от 24% случаев в Батуми до 30.5 % случаев в Кобулети. В Кахетии повторяемость данной категории находится в пределах 27.2÷31.3 % случаев (Кварели÷ Телави соответственно).
- “Прохладно”: В Аджарии эта категория наблюдается от 14.7% (Годердзи) до 34.7% (Батуми) случаев. В Кахетии повторяемость указанной категории варьирует в небольших пределах, от 22.5% (Дедоплисцкаро) до 24.7% (Кварели) случаев.
- “Комфортно”: В Аджарии количество комфортных месяцев в Батуми, Кобулети и Хуло отмечается соответственно в 20.5, 19.5 и 24.0% случаев. В Годердзи этот показатель равен всего 0.2%. В Кахетии повторяемость комфортных месяцев варьирует от 12.5% (Дедоплисцкаро) до 17.7% (Сагареджо) случаев.
- “Тепло”: В Аджарии количество месяцев с этой категорией в Батуми, Кобулети и Хуло наблюдается в 13.0, 10.5 и 5.5% случаев соответственно. В Годердзи месяцев с указанной категорией не отмечается. В Кахетии диапазон повторяемости месяцев с данной категорией находится в пределах 8.2÷10.8% случаев (соответственно Кварели÷Дедоплисцкаро).
- “Жарко”: В Аджарии повторяемость указанной категории варьирует от 3.5% (Хуло) до 6.3% (Батуми) случаев. В Годердзи – 0%. В Кахетии наименьшая повторяемость данной категории в Сагареджо (9.7% случаев), наибольшая – в Кварели (19.0% случаев).
- “Очень жарко”: В Аджарии эта категория наблюдается лишь в Кобулети (0.2% случаев). В Кахетии наименьшая повторяемость указанной категории отмечается в Сагареджо (0.2% случаев), наибольшая – в Кварели (4.3 % случаев).



Внутригодовой ход среднемесячных значений ЕТ для всех исследуемых пунктов Аджарии и Кахетии с очень высокой достоверностью описывается полиномом пятой степени. На рис. 9 представлены соответствующие расчетные кривые этого хода, а в таб. 6 приведены значения коэффициентов соответствующего уравнения регрессии.

Коэффициенты уравнения регрессии внутригодового хода среднемесячных значений ЕТ в восьми пунктах Аджарии и Кахетии (X – номер месяца)

Пункт	$ET = a \cdot X^5 + b \cdot X^4 + c \cdot X^3 + d \cdot X^2 + e \cdot X + f$						R ²
	a	b	c	d	e	f	
Батуми	0.00124	-0.0255	0.0244	1.581	-4.097	5.32	0.999
Кобулети	0.00133	-0.0303	0.1168	0.855	-2.343	6.92	0.999
Хуло	-0.00016	0.0183	-0.4590	3.662	-6.309	2.00	0.998
Годердзи	-0.00026	0.0275	-0.6741	5.357	-9.404	-16.60	0.998
Телави	0.00127	-0.0215	-0.0806	2.262	-4.796	4.87	0.999
Дедорлисцкаро	0.00170	-0.0326	0.0046	2.111	-4.907	2.97	0.999
Кварели	0.00122	-0.0211	-0.0654	2.073	-4.272	6.83	0.999
Сагареджо	0.00120	-0.0197	-0.0907	2.226	-4.393	3.30	0.998

Наконец, сравним существующий термальный режим в некоторых местностях Аджарии и Кахетии с термальным режимом на этих и прилегающим к ним территориях около трех сотен лет назад, словесно описываемым Вахушти Багратионом в своем знаменитом труде “География Грузии” [80].

1. Чанети (Тчанети). Тянется по берегу Черного моря от Гонии до границы Трапезонда. “Климат по берегам моря жаркий, в горных частях благодатный. Зима бывает теплая, лето нестерпимое“ ([80], с. 191). Сравнение термального режима на описываемой территории (рис. 1) в прошлом с реальными на нынешнее время температурой воздуха и категориями значений ЕТ в Батуми, Кобулети и Хуло в целом показывает, что биоклиматическая ситуация здесь не особенно изменилась.
2. “А в Иору не впадает никакая река или речка до Сагареджо, и до того с Алазани тянется поле, и место это зимой теплое, травянистое, малоснежное, с дичью, птицею, приятной температурой воздуха, но летом жаркое, нездоровое, невыносимое” ([80], с. 104). Сравнение этого описания с температурой воздуха и категориями значений ЕТ в Сагареджо в настоящее время также указывает на довольно стабильное состояние биоклимата в этом регионе за последние три столетия.

Однако следует отметить, что в последние десятилетия в Мире, в том числе и в Грузии, наблюдаются процессы интенсивного потепления климата. В случае сохранения темпов этого потепления, в будущем биоклиматическая ситуация в различных регионах Грузии может существенно измениться, по крайней мере для отдельных месяцев и сезонов года. Поэтому вопросам прогнозирования различных элементов биоклимата (в том числе и ЕТ) на несколько десятилетий вперед нами будет уделено особое внимание.

Заключение

В Батуми, Кобулети, Телави, Дедоплисцкаро, Кварели и Сагареджо термальный режим атмосферы круглый год благоприятен для так называемого “среднего туриста”. В Хуло и Годердзи не все месяцы холодного полугодия благоприятны для массового туризма и здесь в указанный сезон года следует развивать специализированные виды туризма (гастрономический, горнолыжный, экстремальный и др.).

В указанных районах исследования в течение последних трех столетий отмечается довольно стабильное состояние биоклиматических условий. Однако, в связи с наблюдаемым в Мире в последние десятилетия процесса интенсивного потепления климата, вопросам прогнозирования различных элементов биоклимата в Грузии (в том числе и ЕТ) на несколько десятилетий вперед будет уделено особое внимание.

Литература

1. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical smog in Tbilisi. Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 63, Tb., 2012, 160 p., (in Georgian).
2. Amiranashvili A., Khurodze T., Shavishvili P., Beriashvili R., Iremashvili I. Dynamics of the Mortality of the Population of Tbilisi City and its Connection with the Surface Ozone Concentration. Journ. Of Georgian Geophysical Soc., Iss. (B), Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol.16 b, Tbilisi, 2013, pp. 31-38.
3. Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of Protection and Fight with Their Negative Consequences. Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp. 155-164. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
4. Vasin V.A., Yefimenko N.V., Granberg I.G., Povolotskaya N.P., Golitsyn G.S., Ginzburg A.S., Mkrtchyan R.I., Zherlitsina L.I., Kortunova Z.V., Maksimenkov L.O., Pogarskiy F.A., Savinykh V.V., Senik I.A., Sklyar A.P., Rubinshteyn K.G. Nekotoryye osobennosti izucheniya svyazi serdechno-sosudistyykh zabolevaniy s ekologicheskimi i meteorologicheskimi faktorami na nizkogornyykh kurortakh Rossii. Vrach skoroy pomoshchi, ISSN: 2074-742X, № 5, 2009, pp. 61-62, (in Russian).
5. Lagidze L., Matchavariani L., Tsivtsivadze N., Khidasheli N., Paichadze N., Motsonelidze N., Vakhtangishvili M. Medical Aspects of Atmosphere Pollution in Tbilisi, Georgia. Journal of Environmental Biology, Vol.36, Special Issue, 2015, pp. 101-106.
6. Kalkstein L.S. Biometeorology – looking at the links between weather, climate and health. WMO. Bulletin 2, 2001, v. 50, pp. 1–6.
7. Golitsyn G.S., Granberg I.G., Efimenko N.P., Povolotzkaya N.P. Atmosphere and Health. Zemlya i vseennaya, ISSN: 0044-3948, № 3, 2009, pp. 27-36, (in Russian).
8. Povolotskaya N.P., Trubina M.A., Engelgardt L.T. A.L. Chizhevsky – Founder of Cosmic Ecology. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 25-29.
9. Mc Michael A.J., Woodruff R.E., Hales S. Climate Change and Human Health: Present and Future Risks. Lancet, 367, 2006, pp. 859-868.
10. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L., Khazaradze K. Expected Change of the Extremal Air Temperature and its Influence on the Mortality (Based on the Example to Tbilisi City), International Cooperation Network for East European and Central Asian Countries: EECA Conference – October 7-8, 2010, Yerevan, Armenia, <http://be.sci.am/>.
11. Perevedentsev Yu.P., Zandi Rahman, Aukhadeev T.R., Shantalinskii K.M. Assessment of Climate Influence on a Man in Droughty Conditions of Southwest Iran. Vestnik Udmurtskogo Universiteta, Biologia. Nauki o Zemle, T. 25, Vip. 1, 2015, pp.104-113, (in Russian).
12. Amiranashvili A.G., Gogua R.A., Matiashvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Khazaradze K.R., Kharchilava J.F., Khurodze T.V., Chikhladze V.A. The Estimation of the Risk of Some Astro-Meteo-Geophysical Factors for the Health of the Population of the City of Tbilisi. Int. Conference “Near-Earth Astronomy 2007” Abstract, Terskol, Russia, 3-7 September 2007, p. 86.
13. Davis R.E., Gregor G.R., Enfield K.B. Humidity: A review and primer on atmospheric moisture and human health. Environmental Research, v. 144, Part A, January 2016, pp. 106-116.
14. Shaposhnikov D., Revich B., Gurfinkel Yu., Naumova E. The influence of meteorological and geomagnetic factors on acute myocardial infarction and brain stroke in Moscow, Russia. Int. J. of Biometeorology, v. 58, iss. 5, 2014, pp. 799–808.

15. Azcárate T., Mendoza B., Levi J.R. Influence of geomagnetic activity and atmospheric pressure on human arterial pressure during the solar cycle 24. *Advances in Space Research*, v. 58, iss. 10, 2016, pp. 2116-2125.
16. Palmer S., Rycroft M., Cermack M. Solar and geomagnetic activity, extremely low frequency magnetic and electric fields and human health at the Earth's surface. *Surv. Geophys.*, v. 27, 2006, pp. 557–595. doi:10.1007/s10712-006-9010-7
17. Caswell J.M., Carniello T.N., Murugan N.J. Annual incidence of mortality related to hypertensive disease in Canada and associations with heliophysical parameters. *Int. J. Biometeorol.*, v. 60, 2015, pp. 9–20. doi:10.1007/s00484-015-1000-3
18. Zenchenko T.A., Dimitrova S., Stoilova I., Breus T.K. Individual responses of arterial pressure to geomagnetic activity in practically healthy subjects. *Klin. Med.*, v. 87(4), 2009, pp.18–24.
19. Amiranashvili A.G., Bakradze T. S., Berianidze N.T., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. Effect of Mean Annual Changeability of Air Temperature, Surface Ozone Concentration and Galactic Cosmic Rays Intensity on the Mortality of Tbilisi City Population. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN: 1512-1127, v.19B, Tbilisi, 2016, pp. 135-143.
20. Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Matzarakis A., Povolotskaya N.P., Senik I.A. Tourism Climate Index of in the Some Regions of Georgia And North Caucasus. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN: 1512-1127, v. 20B, 2017, pp. 43–64.
21. Slepikh V.V., Povolotskaya N.P., Korshunova Z.V., Terre N.I., Fedorov V.A. Ionization background of the trees and plants of Kislovodsk park. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy-fizicheskoy kul'tury*, ISSN: 0042-8787, eISSN: 2309-1355, N 3, 2006, pp. 37-39, (in Russian).
22. Masikevich, A., Kolotilo, M., Yaremchuk, V. Estimation of the State of Atmospheric Air in the Functional Zones of the National Nature Park "Vyzhnytsky". *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 26 (1302), 2, 2018, pp. 78-82, (in Ukrainian), doi:10.20998/2413-4295.2018.26.36.
23. Amiranashvili A., Matiashvili T., Nodia A., Nodia Kh., Kharchilava J., Khunjua A., Khurodze T., Chikhladze V. Air Electrical Conductivity Changeability as the Factor of Atmosphere Purity. *Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics*, ISSN 1512-1135, v. 60, Tb., 2008, pp. 186 – 194, (in Russian).
24. Amiranashvili A., Bliadze T., Melikadze G., Tarkhan-Mouravi I., Chikhladze V. Content of Light Aeroions as Factor of the Air Purity of Some Health Resorts of Georgia. *Modern Problems of Using of Health Resort Resources, Collection of Scientific Works of International Conference, Sairme, Georgia, June 10-13, 2010*, ISBN 978-9941-0-2529-7, Tbilisi, 2010, pp. 145-151, (in Russian).
25. Kudrinskaya T. V., Kupovykh G. V., Redin A. A. Studying the Ionization of Atmospheric Surface Layer in Different Geophysical Conditions. *Russian Meteorology and Hydrology*, April 2018, Vol. 43, Issue 4, pp. 258–263.
26. Amiranashvili A. G. Boleslovas Styra. 105 Years from the Birthday. His Role in the Formation, Development and Modern Evolution of Nuclear Meteorology in Georgia. *Journal of the Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN: 1512-1127, v. 20B, 2017, pp.73-87.
27. Hori A., Hashizume M., Tsuda Y., Tsukahara T., Nomiya T. Effects of weather variability and air pollutants on emergency admissions for cardiovascular and cerebrovascular diseases. *Int. J. Environ Health Res.*, v. 22(5), 2012, pp.416–430. doi:10.1080/09603123.2011.650155
28. Amiranashvili A., Chikhladze V., Bliadze T. Contemporary State of a Question About the Spatial-Temporary Distribution of Photochemical Smog and Ozone. *Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics*, v. LXI, ISSN 1512-1135, Tb., 2009, pp. 179-186, (in Russian).

29. Amiranashvili A., Chikhladze V., Bliadze T. Contemporary State of a Question About the Action of Photochemical Smog and Surface Ozone on Human Health. *Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics*, v. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 177-188, (in Russian).
30. Tkachuk S.V. The Indexes of Weather Comfort Conditions Review and their Relation to Mortality. *Proceedings of Hydrometcentre of Russia*, Vol. 347, 2012, pp. 223–245, (in Russian).
31. Ruuhela R., Jylha K., Lanki T., Tiittanen P., Matzarakis A. Biometeorological Assessment of Mortality Related to Extreme Temperatures in Helsinki Region, Finland, 1972-2014. *Int. Journ. Of Environmental Research and Public Health*, vol. 14, iss. 8., 2017, 19 p.
32. Muthers S., Laschewski G., Matzarakis A. The Summers 2003 and 2015 in South-West Germany: Heat Waves and Heat-Related Mortality in the Context of Climate Change. *Atmosphere*, November 2017, 13 p., DOI: 10.3390/atmos8110224, <https://www.researchgate.net/publication/321085363>
33. Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Khazaradze R.R. Effects of Variations of the Monthly Mean Air Temperature on the Population Health of Imereti Region of Georgia. *International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“*, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 38-41.
34. Steadman R.G. Norms of Apparent Temperature in Australia. *Aust. Met. Mag.*, Vol. 43, 1994, pp. 1-16.
35. Landsberg H.E. The Assessment of Human Bioclimate. A Limited Review of Physical Parameters. *Technical Note No 123, WMO, No 331*, 1972, 37 p.
36. BSR/ASHRAE Standard 55P, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy 2/24/03 Most Current Draft Standard, 2003, 50 p.
37. Tkachuk S.V. Comparative Analysis of Bioclimatic Indexes for Prediction Using a Mesoscale Model. *Uchenie Zapiski Rossiiskogo Gosudarstvennogo Gidrometeorologicheskogo Universiteta*, No 20, 2011, pp. 109-118, (in Russian), http://weatherlab.ru/sites/default/files/library/Sravn_ind.pdf
38. Freitas C. R., Grigorieva E. A. A Comprehensive Catalogue and Classification of Human Thermal Climate Indices. *Int. J. Biometeorol*, 59, 2015, pp. 109–120, DOI 10.1007/s00484-014-0819-3
39. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Kartvelishvili L., Nodia Kh., Khurodze T. Influence of Air Effective Temperature and Geomagnetic Storms on the Population of Tbilisi City. *Trans. of the Institute of Hydrometeorology*, v. No 115, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 2008, pp. 434 – 437, (in Russian).
40. Amiranashvili A., Mirianashvili K., Fedorova N., Levit V., Fabiana Medeiros Carnaúba, Aliton Oliveira da Silva. Comparative analysis of air equivalent effective temperature in some cities of Georgia and Brazil, *Proc. of Int. Conf. “Environment and Global Warming”*, Dedicated to the 100th Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, *Collected Papers New Series, N 3(82)*, ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, pp. 105-110.
41. Amiranashvili A., Danelia R., Mirianashvili K., Nodia A., Khazaradze K., Khurodze T., Chikhladze V. On the Applicability of the Scale of Air Equivalent-Effective Temperature in the Conditions of Tbilisi City. *Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics*, v. LXII, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2010, pp. 216-220, (in Russian).
42. Farajzadeh H., Saligheh M., Alijani B., Matzarakis A. Comparison of selected thermal indices in the northwest of Iran. *Natural Environment Change*, v. 1, N 1, 2015, pp. 61- 80.
43. Mihăilă D., Piticar A., Briciu A. E., Bistricean P. I., Lazurca L. G., Puțunică A. Changes in bioclimatic indices in the Republic of Moldova (1960–2012): consequences for tourism. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 77, 2018, pp. 521–548. doi: 10.21138/bage.2550
44. Dalinkevičiūtė S., Kažys J. Klimatinės paplūdimių turizmo sąlygos Lietuvos jūros krante. *Geologija. Geografija*, T. 4, Nr. 1, 2018, pp. 1–14, (in Lithuanian), DOI: 10.6001/geol-geogr.v4i1.3719
45. Urban A., Kysely J. Comparison of UTCI with Other Thermal Indices in the Assessment of Heat and Cold Effects on Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 11, 2014, pp. 952-967.

46. Shahraki F., Esmaelnejad M., Bostani M. K. Determining the Climate Calendar of Tourism in Sistan-Baluchestan Province, Iran. *Romanian Review of Regional Studies*, ISSN: 1841-1576, el ISSN: 2344-3707, vol. 10, Iss. 2, 2014, pp. 87-94.
47. Roshan G., Yousefi R., Kovács A., Matzarakis A. A Comprehensive Analysis of Physiologically Equivalent Temperature Changes of Iranian Selected Stations for the Last Half Century. *Theor. Appl. Climatol.*, ISSN: 0177-798X, eISSN 1434-4483, 2016, <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1950-3>
48. Mohammadi B., Gholizadeh M. H., Alijani B. Spatial Distribution of Thermal Stresses in Iran Based on PET and UTCI Indices. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16(5), 2018, pp. 5423-5445.
49. Zare S., Hasheminejad N., Shirvan H.E., Hemmatjo R., Sarebanzadeh K., Ahmadi S. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, 19, 2018, pp. 49-57.
50. Amiranashvili A.G., Cornélissen G., Amiranashvili V., Gheonjian L., Chikhladze V.A., Gogua R.A., Matiashvili T.G., Paatashvili T., Kopytenko Yu.A., Siegelova J., Dusek J., Halberg F. Circannual and circadecennian stages in mortality from cardiovascular causes in Tbilisi, Republic of Georgia (1980-1992). *Scriptamedica (Brno)*, 75, 2002, pp. 255-260.
51. Khazaradze K. R. Comparative Analysis of Mean-Daily Value of Air Equivalent-Effective Temperature in Tbilisi and Kojori. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, v. 20B, 2017, pp. 65–72.
52. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A. Saakashvili N.M., Tabidze M.Sh., Tarkhan-Mouravi I.D. Bioclimatic Characteristics of Recreational Zones – Important Component of the Passport of the Health Resort – Tourist Potential of Georgia, Pressing Problems in Hydrometeorology and Ecology, Papers of the Int. Conf. Dedicated to the 90th Anniversary of Academician G. Svanidze, September 27-29, Tbilisi, 2011, Trans. Of the Institute of Hydrometeorology at the Georgian Technical University, vol. 117, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 2011, pp. 89-92.
53. Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. On the Connection of Monthly Mean of Some Simple Thermal Indices and Tourism Climate Index with the Mortality of the Population of Tbilisi City Apropos of Cardiovascular Diseases. *Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN: 1512-1127, v. 21(1), 2018, pp.48-62
54. Sheleykhovski G.V. *Mikroklimat yuzhnykh gorodov*, M., 1948, 118 s.
55. Houghton F.C., Yagloglou C.P. Determination of the Comfort Zone. *ASHVE, Transactions*, 29, 1923, 361.
56. Missenard F.A. Température effective d'une Atmosphere Généralisation Températurerés ultante d'un Milieu. *Encyclopédie in dustrielleet Commerciale, Etude physiologique et technique de la ventilation. Librerie de l'Enseignement Technique*, Paris, 1933, 131-18.
57. Houghton F.C., Vagloglou C.P. Determining Lines of Equal Comfort. *J. Amer. Soc. Heat. And Ventilating Engineers*, Vol. 29, 1923, pp. 165-176.
58. Missenard A. *L' Homme et le Climat*, Paris, 1937, 186 p.
59. Auer I., Bogner M., Hammer N., Koch E., Rudel E., Svabik O., Vielhaber C.H. *Das Bioklima von Gmunden, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik* Wie, 1990.
60. Masterson J., Richardson F.A. *Humidex: a Method of Quantifying Human Discomfort Due to Excessive Heat and Humidity*. Environment Canada, Downsview, Ontari, 1979.
61. Dufton A.F. *Equivalent Temperature and its Measurement*, B R Technical Paper 13, HMSO, 1932.
62. Dufton, A.F. The use of Kata Termometers for the Measurement of Equivalent Temperature. *J. Hygiene, Camb.*, 1933, 33:349.

63. Bedford T. Equivalent Temperature, What it is, how it's Measured. Heating, Piping, Air conditioning, 1951.
64. Yaglou C.P., Minard D. Control of Heat Casualties at Military Training Centers. Am MED Assoc Arch IND Health, 1957, 16:302–316.
65. Kyle W.J. The Human Bioclimate of Hong Kong. In: Proceedings of the Contemporary Climatology Conference, Brno, Brazdil R, Kolář M (Eds.), 345–50, Tisk Litera, Brno, 1994.
66. Becker F. Bioklimatische Reizstufen für eine Raumbeurteilung zur Erholung, Forschungs- und Sitzungsberichte der Akademie für Raumforschung und Landesplanung Hannover, 1972, 76:45–61.
67. Jahanbakhsh S. Assessment Environmental of human climate Tabriz and thermal requirements of building, geographic. Research Quarterly, No 48, 1998.
68. Farajzadeh H., Matzarakis A. Evaluation of thermal comfort conditions in Ourmieh Lake, Iran. Theoretical and Applied Climatology, V.107, Iss. 3–4, 2012, pp. 451–459.
69. Mieczkowski Z. The Tourism Climate Index: A Method for Evaluating World Climates for Tourism. The Canadian Geographer 29, 1985, pp. 220-233.
70. Matzarakis A., 2007. Climate, thermal comfort and tourism. Climate Change and Tourism- Assessment and Coping Strategies, 2007, pp.139-154.
71. Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. Int. J. Biometeorol., 54(2), 2010, pp. 131–139.
72. Matzarakis A., Dominik Fröhlich D., Stéphane Bermon S., Adami P.E. Quantifying Thermal Stress for Sport Events – The Case of the Olympic Games 2020 in Tokyo. Atmosphere, 9, 479, pp. 1-13, 2018; doi: 10.3390/atmos9120479; www.mdpi.com/journal/atmosphere.
73. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Matzarakis A. Comparative Characteristics of the Tourism Climate Index in the South Caucasus Countries Capitals (Baku, Tbilisi, Yerevan). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue (B). Physics of Atmosphere, Ocean, and Space Plasma, ISSN: 1512-1127, v.17b, 2014, pp. 14-25.
74. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Chikhladze V., Japaridze N., Khazaradze K. The monthly variations in mortality from the cardiovascular diseases in Tbilisi. Georgian Medical News, N 5 (242), 2015, pp. 53-59.
75. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Matzarakis A., Kartvelishvili L. Tourism Climate Index in the Coastal and Mountain Locality of Adjara, Georgia. International Scientific Conference “Sustainable Mountain Regions: Make Them Work”. Proceedings, Borovets, Bulgaria, ISBN 978-954-411-220-2, 14-16 May, 2015, pp. 238-244, <http://geography.bg/MountainRegions Sofia2015>.
76. Amiranashvili A. G., Japaridze N. D., Kartvelishvili L. G., Khazaradze R. R. Tourism Climate Index in Telavi (Eastern Georgia). The Questions of Health Resort Managing, Physioteraphy and Rehabilitation, International Collection of Scientific Articles, Vol. I, ISSN 2449-271X, Tbilisi, 2016, pp. 76-81.
77. Kobisheva N., Narovlianski G. Climatological processing of the meteorological information, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 294 p., (in Russian).
78. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate Change in Georgia: Statistical and Nonlinear Dynamics Predictions, Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, ISSN: 1512-1127, v. 15a, 2011-2012, pp. 67-87.
79. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Trofimenko L. Dynamics of the thirty-year moving average values of the air temperature in Tbilisi and St.-Petersburg with 1851 to 2010 and their extrapolation to 2051-2080. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 12-16, <http://icae-2015.tsu.ge/>
80. Tsarevich Vakhushiti. Geografia Gruzii. Tiflis, 1904, 289 p., <http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/3968> , (in Russian).

**ჰაერის საშუალო თვიური ეფექტური ტემპერატურის სტატისტიკური
მახასიათებლები მისენარდის მიხედვით აჭარის ავტონომიურ
რესპუბლიკასა და კახეთში (საქართველო)**

**ამირანაშვილი ა., ჯაფარიძე ნ., ქართველიშვილი ლ.,
მეგრელიძე ლ., ხაზარაძე ქ.**

რეზიუმე

წარმოდგენილია მისენარდის ფორმულის მიხედვით განსაზღვრული ჰაერის საშუალო ეფექტური ტემპერატურის (ET) სტატისტიკური ანალიზი ორი დიამეტრულად სხვადასხვა გეოგრაფიულ განედებზე მდებარე საქართველოს პუნქტებისათვის, როგორცაა აჭარა და კახეთის რეგიონი. კვლევის პერიოდად აღებულია 1961-2010 წ.წ. ეფექტური ტემპერატურის მნიშვნელობები იქნა განსაზღვრული აჭარის რეგიონის ოთხი პუნქტისათვის (ბათუმი, ქობულეთი, ხულო, გოდერძის გადასასვლელი) და კახეთის რეგიონის ოთხი პუნქტისათვის (თელავი, დედოფლისწყარო, ყვარელი, საგარეჯო). შესწავლილია (ET)-ს შიდაწლიური განაწილება, მისი განმეორებადობა, კატეგორიების მიხედვით, მოყვანილია დაწვრილებითი ინფორმაცია საშუალო თვიური მონაცემების და აგრეთვე მის ზედა და ქვედა დონეებზე 99 %-იანი საიმედოობის მიხედვით და სხვა. კვლევის შედეგები შესაძლებელია გამოყენებული იქნას პრაქტიკაში საქართველოს ტერიტორიის ბიოკლიმატური დარაიონებისას, საკურორტო-ტურისტული ინდუსტრიის განვითარებისას.

**Статистические характеристики среднемесячных значений
эффективной температуры воздуха по Миссенарду в Автономной
Республике Аджария и Кахетии (Грузия)**

**Амиранашвили А.Г., Джапаридзе Н.Д., Картвелишвили Л.Г.,
Мегрелидзе Л.Д., Хазарадзе К.Р.**

Реферат

Представлены результаты статистического анализа среднемесячных данных о значениях эффективной температуры воздуха по Миссенарду (ET) в двух диаметрально противоположно расположенных по широте географических районах Грузии: Автономной Республике Аджария (ниже – Аджария) и Кахетинском регионе (ниже – Кахетия). Период исследования – 1961-2010 гг. Значения ET рассчитывались по данным четырех метеорологических станций Аджарии (Батуми, Кобулети, Хуло, Годердзский перевал) и Кахетии (Телави, Дедоплисцкаро, Кварели, Сагареджо). Изучено внутригодовое распределение значений ET, получена их повторяемость по категориям ET, приведена подробная информация о категориях среднемесячных значений ET, а также их верхних и нижних уровнях 99% доверительного интервала и др. Результаты исследования могут найти практическое применение для биоклиматического районирования территории Грузии, развития курортно-туристической индустрии и др.

Statistical Characteristics of the Monthly Mean Values of Air Effective Temperature on Missenard in the Autonomous Republic of Adjara and Kakheti (Georgia)

**Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L.,
Megrelidze L., Khazaradze K.**

Abstract

Results of the statistical analysis of the mean monthly data about the values of air effective temperature on Missenard (ET) in two diametrically opposite located on the latitude geographical regions of Georgia: autonomous republic of Adjara (below Adjara) and Kakheti region (below Kakheti) are represented. The period of a study: 1961-2010. Values of ET expected according to the data of four meteorological stations of Adjara (Batumi, Kobuleti, Khulo, Goderdzi crossing) and Kakheti (Telavi, Dedoplistskaro, Kvareli, Sagarejo). The intra-annual distribution of values of ET is studied, their repetition on the categories of ET is obtained, detailed information about the categories of mean monthly values of ET, and also their upper and lower levels 99% of confidence interval is given, etc. The results of a study can find practical application for the bioclimatic division into districts of the territory of Georgia, development of health resort- tourist industry, etc.

СОСТОЯТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ГАУССОВСКОЙ СТАТИСТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

¹Зеракидзе З., ²Кириа Дж., ²Кириа Т., Чания М.

¹Горийский государственный университет

²Институт геофизики им. М. Нодиа, ТГУ

³Сухумский государственный университет

1. Общая характеристика задачи

Пусть X -сепарабельное Гильбертово пространство, а $\mu(A, \cdot)$ Гауссовская мера на $(X, B(x))$.

В этой статье изучается семейство Гауссовских мер $\mu(A, \cdot)$ со средним значением 0 и корреляционным оператором A , меняющимся в некотором множестве M . Нас будут интересовать условия, при которых существует состоятельный критерий для корреляционных операторов, т.е. такая последовательность операторозначных измеримых функций $\bar{A}_n(x)$, при которой для всех операторов $A \in M$ сходится по мере в некотором смысле к A .

Для этого необходимо и достаточно чтобы

$$Sp \left[A_2^{-1/2} A_1 A_2^{-1/2} - E \right]^2 = +\infty,$$

Где E – единичный параметр (см. [1]-[3]).

Как правило, требуется равномерная сходимость этого следа по всем $A_1, A_2 \in M$, лежащем на некотором «расстоянии» друг от друга, причем это „расстояние” в каждом случае свое и оно же определяет и характер сходимости последовательности $\bar{A}_n(x)$, к A . Кроме того будут рассматриваться только такие семейства M , для которых области значений операторов $A^{1/2}$, совпадают для всех операторов $A \in M$;

Замыкание этих областей совпадает с X и операторы $A_1^{-1/2} A_2^{1/2}$ ограничены. В дальнейшем рассмотрим методы получения состоятельных критериев с помощью минимизации некоторой последовательности квадратических функционалов. Накладываемое на множество M условие позволяет представить все $A^{1/2}$, где $A \in M$, в виде $A^{1/2} = U A_0^{1/2}$, где U – ограниченный оператор, имеющий ограниченный обратимый, а A_0 – некоторый фиксированный оператор из M . Поэтому для оценки оператора A достаточно оценить оператор U . Это оказывается более удобным в силу существующего у него ограниченного обратного оператора.

2. Метод максимума правдоподобия

Напомним, что X сепарабельное гильбертово пространство с σ -алгеброй борелевских множеств $B(X)$, а $\mu(A, \cdot)$ семейство гауссовских мер с нулевыми средними и корреляционными операторами A , $A \in M$ на $(X, B(X))$.

Выберем последовательность $X_n \subset X_{n+1}$ конечномерных подпространств так, чтобы $\cup X_n$ было плотно в X . Положим

$$\mu_n(A, \cdot) = \mu(P_n A P_n, \cdot),$$

где P_n – оператор проектирования на подпространство X_n ,

$\mu_n(A, \cdot)$ – проекция меры $\mu(A, \cdot)$ на X_n . Фиксируем некоторый оператор $A_1 \in M$ и похожим

$$\Phi_n(A_1^{(n)}, A^{(n)}, x) = -2 \ln \frac{d\mu_n(A, \cdot)}{d\mu_n(A_1, \cdot)}, \quad (1)$$

Где $A_1^{(n)} = P_n A_1 P_n$, $A^{(n)} = P_n A P_n$. Оператор $A^{(n)}$ обратим в X_n . Введем переменную

$$Z = A_1^{1/2} A^{-1/2} \quad (2)$$

Положим $Z_n = A_1^{(n)1/2} A^{(n)-1/2}$, $Z_n^* = A^{(n)-1/2} A_1^{(n)1/2}$ (3)

$$H_n(\omega_n) = - \sum_{k=2}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{k} \text{Sp} D_n^k, \quad (4)$$

$$D_n = Z_n Z_n^* - P_n = W_n W_n^* + W_n + W_n^*, \quad W_n = Z_n - P_n$$

(Z^* - оператор сопряжений с Z). (5)

Обозначим

$$\tilde{M} = \left\{ Z : Z A^{1/2} = A_1^{1/2}, A \in M \right\}$$

Предположим, что существует числовая последовательность $\gamma_n > 0$, $\gamma_n \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$ такая, что

$$\sum_{n=1}^{\infty} \gamma_n \text{Sp} \left[A_1^{(n)} A^{(n)1/2} - P_n \right] \left[A_1^{(n)1/2} A^{(n)-1/2} - P_n \right]^* < \infty \quad (6)$$

(сходимость относительно A равномерная).

Обозначим через H_M гильбертово пространство, элементами которого служит последовательности операторов

$$W = \left\{ w_1', w_2', \dots, w_n', \dots \right\}$$

Где w'_n – оператор вида $P_k C_k P_k$, C_k – оператор в X , а скалярное произведение в H_M введено равенством

$$\left(\left\{ w'_1, w'_2, \dots, w'_n, \dots \right\} \left\{ w''_1, w''_2, \dots, w''_n, \dots \right\} \right)_M = \sum_{k=1}^{\infty} \gamma_k S_p W'_k W''_k \quad (7)$$

Норму W обозначим $\|W\|_M$. Обозначим через $W(A)$ элемент из H_M , определенный равенством $W(A) = \{W_1, W_2, \dots, W_n, \dots\}$, где W_n указаны выше. Очевидно, функция $W(A)$ непрерывна по A . Поэтому множество являющиеся образом M при отображении $W(\cdot)$, компактно в H_M . Легко видеть, что отображение $W(\cdot)$ взаимно однозначно, поэтому и обратное отображение непрерывно.

Лемма 1. Пусть найдется $a < 2$ такое, что для всех $A_1, A_n \in M$ выполнено неравенство

$$\frac{1}{a} \leq \|A_1^{1/2} A_2^{-1/2}\| \leq a. \quad (8)$$

Тогда

$$1) \frac{1}{a} \leq \|A_1^{(n)1/2} A_2^{(n)-1/2}\| \leq a;$$

$$2) \|D_n\| \leq \delta < 1;$$

3) функция $H_n(W_n)$ определена.

Доказательство. Докажем условие 1). Очевидно, что (8) можно заменить следующими неравенствами:

$$\frac{1}{a} \leq \frac{\|A_1^{1/2} U\|}{\|A_2^{1/2} U\|} \leq a \quad \text{Или} \quad \frac{1}{a} \leq \frac{(A_1 U, U)}{(A_2 U, U)} \leq a \quad (9)$$

Для любого U и $A_1 A_2 \in M$. Если заменить U на $P_n U$, то согласно (9) получим

$$\frac{(A_1 P_n U, P_n U)}{(A_2 P_n U, P_n U)} \leq \frac{(A_1^{(n)} U, U)}{(A_2^{(n)} U, U)} \leq \frac{\|A_1^{(n)1/2} U\|^2}{\|A_2^{(n)1/2} U\|^2}$$

Следовательно

$$\frac{1}{a} \leq \frac{\|A_1^{(n)1/2} U\|}{\|A_2^{(n)1/2} U\|} \leq a \quad (10)$$

Полагая $U = A_2^{n-1/2} V$ из (10) получим требуемое.

Теперь докажем условие 2. Из неравенства (10) после замены U , учитывая (3) и (5), получим

$$\frac{(U, U)}{a} \leq ([W_n + P_n]U, [W_n + P_n]U) \leq a(U, U).$$

Таким образом

$$\frac{(U, U)}{a} - (U, U) \leq (D_n U, U) \leq a(U, U) - (U, U) \text{ и } \|D_n\| \leq \delta, \text{ где } \delta = \max\left\{a - 1, 1 - \frac{1}{a}\right\} < 1;$$

Очевидно что для $k > 2$

$$\left|S_p D_n^k\right| \leq S_p D_n^2 \|D_n\|^{k-2}$$

И следовательно, должно иметь место соотношение

$$\left| - \sum_{k=3}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{K} S_p D_n^k \right| \leq S_p D_n^2 \frac{\delta}{1-\delta}.$$

Лемма доказана.

ТЕОРЕМА 1.

Пусть выполнены следующие предложения:

Для всех $A_1, A_2 \in M$

$$\frac{1}{a} \leq \|A_1^{1/2} A_2^{-1/2}\| \leq a$$

Где $a < 2$;

1) существует числовая последовательность $\gamma_n > 0$, $\gamma_n \rightarrow 0$ при $n \rightarrow \infty$ такая, что выполнено (6) для всех $A_0, A \in M$ и $\sqrt{\gamma_n} H_n(W_n) \rightarrow +\infty$ при $n \rightarrow \infty$ равномерно при $\|W\|_M \geq \varepsilon$, какого бы не было $\varepsilon > 0$;

2) M принадлежит некоторому классу C^2 в норме $\|\cdot\|_M$ тогда для оператора $A \in M$ существует состоятельный критерии $\bar{A}_n^*(x)$ в следующем смысле:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mu\left(A_0, \left\{x \left\| A_0^{1/2} A_n^{-1/2}(x) - E \right\| \right\}\right) = 0 \quad (11)$$

Доказательство. Обозначим $\bar{A}_n^*(x)$ тот линейный оператор из M , при котором функционал (1) достигает минимума/Функционал (1) отличается от функционала

$$\Phi_n(A_0^{(n)}, A^{(n)}, x) = -2 \ln \frac{d\mu_n(A, \cdot)}{d\mu_n(A_0, \cdot)}(x) \quad (12)$$

на величину, не зависящую от $A^{(n)}$,

$$-2 \ln \frac{d\mu_n(A, \cdot)}{d\mu_n(A_0, \cdot)}(x)$$

Значит, (12) также имеет минимум в точке $\bar{A}_n(x)$. Поэтому, можно использовать функционал (12) для того, чтобы показать, что $\bar{A}_n(x)$ – состоятельный критерий для оператора $A_0 \in M$. Учитывая (1)-(5) и функционал (12), можно записать

$$\Phi_n(A_0^{(n)}, A^{(n)}, x) = \left(\left[Z_n Z_n^* - P_n \right] A_0^{(n)-1/2} x, A_0^{(n)-1/2} x \right) + F_n(Z_n), \quad (13)$$

Где

$$F_n(Z_n) = -2 \ln \det Z_n = -\ln \det [D_n + P_n].$$

Если использовать разложение в ряд

$$\ln \det(E + B) = \sum_{k=0}^{\infty} \ln(1 + \lambda_k) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^{k+1}}{k} S_p B^k,$$

Получим представление

$$F_n(Z_n) = -S_p D_n + H_n(W_n) \quad (14)$$

Обозначим

$$\begin{aligned} Z_n(x) &= A_0^{1/2} A_n^{-1/2}(x), \\ \varphi_n(W_n, x) &= (D_n A_0^{(n)-1/2} x, A_0^{(n)-1/2} x) - S_p D_n. \end{aligned} \quad (15)$$

Тогда из (5), (13) – (15) следует

$$\Phi_n(W_n, x) = \varphi_n(W_n, x) + H_n(W_n). \quad (16)$$

Покажем, что $\bar{Z}_n(x) \rightarrow E$ при $n \rightarrow \infty$ по мере $\mu(A_0, \cdot)$. Поскольку $\Phi_n(W_n, x) = 0$ при $W_n = 0$, достаточно показать, что $\inf \Phi_n(W_n, x) \rightarrow +\infty$ при $n \rightarrow \infty$ по мере $\mu(A_0, \cdot)$ при $\|Z - E\|_M \geq \varepsilon, Z \in \tilde{M}$. Кроме того $\|W_n\| \leq \text{const}$, где $\|W_n\| = \sqrt{S_p W_n W_n^*}$.

Очевидно, что $MA_0 \varphi_n(W_n, x) = 0$ и из (5) и (15) следует что

$$\begin{aligned} M \left[\varphi_n(W_n', x) - \varphi_n(W_n'', x) \right]^2 &= 2S_p [(W_n' W_n'^* - W_n'' W_n''^*) + (W_n' - W_n'') + (W_n' - W_n'')^*]^2 - \\ &- \{S_p [(W_n' W_n'^* - W_n'' W_n''^*) + (W_n' - W_n'')^* + (W_n' - W_n'')] \leq 6[S_p (W_n' W_n'^* - W_n'' W_n''^*)^2 + \\ &+ S_p (W_n' - W_n'')^2 + S_p (W_n'^* - W_n''^*)^2] \end{aligned} \quad (17).$$

Поскольку

$$S_p W^2 \prec S_p W W^* = \|W\|^2$$

И

$$W_n' W_n'^* - W_n'' W_n''^* = (W_n' - W_n'') W_n'^* + W_n'' (W_n'^* - W_n''^*)$$

Учитывая (17) получем следующую оценку:

$$M \left\{ \sqrt{\gamma_n} [\varphi_n(W_n', x) - \varphi_n(W_n'', x)] \right\}^2 \leq \text{const} \gamma_n \|W_n' - W_n''\|^2 \leq \text{const} \|W_n' - W_n''\|_M^2 \quad (18)$$

Функционал (16) можно записать так:

$$\Phi_n(W_n, x) = \frac{1}{\sqrt{\gamma_n}} [\sqrt{\gamma_n} \varphi_n(W_n, x) + \sqrt{\gamma_n} H_n(W_n)] \quad (19)$$

По условию 2) теоремы $\sqrt{\gamma_n} \varphi_n(W_n, x) + \sqrt{\gamma_n} H_n(W_n) \rightarrow +\infty$ при $n \rightarrow \infty$ по мере $\mu(A_0, \cdot)$ при $\|Z - E\|_M \geq \varepsilon, Z \in \tilde{M}$ равномерно по W , так как функция $\sqrt{\gamma_n} \varphi_n(W_n, x)$, равномерно относительно n ограничена по W в силу условия 3) теоремы. Так как M компактно в метрике $\|\cdot\|_M$, то $\inf \Phi_n(W_n, x) \rightarrow \infty$ при $n \rightarrow \infty$ по мере $\mu(A_0, \cdot)$ при $\|Z - E\|_M \geq \varepsilon, Z \in \tilde{M}$. Поэтому $\mu(A_0, \{x : \|\bar{Z}_n(x) - E\|_M \geq \varepsilon = \mu(A_0, \{x : A_0^{1/2} \bar{A}_n^{-1/2}(x) - E\|_M > \varepsilon\}) \leq \mu(A_0, \{\inf_{\|Z - Z_0\|_M > \varepsilon} \Phi_n(W_n, x) \leq 0\}) \leq 1 - \mu(A_0, \{\inf_{\|Z - Z_0\|_M > \varepsilon} \Phi_n(W_n, x) > 0\})$

Теория доказана.

Литература

1. Zerakidze Z. Generalization of Neumanu-Person criterion. Collected scientific of works (in Georgian) the ministry of Education and Science of Georgia/. Gori state University. Pp. 63-69, Tbilisi, 2005.
2. Zerakidze Z. Hilbert space of measures. Ukr.Mathen Journ. 38, 2, p. 148-154, Kiev, 1986.
3. Dunford N., Schwartz J.T. Linear Operators. Part. I. General Theory. Interscience Publishers. New-York, London, 1958.

ჰიპოთეზათა შემოწმების ძალდებული კრიტერიუმები გაუსის სტატისტიკური სტრუქტურებისათვის

ზერაკიძე ზ., ქირია ჯ., ქირია თ., ჭანია მ.

რეზიუმე

ნაშრომში დამტკიცებულია აუცილებელი და საკმარისი პირობები ძალდებული კრიტერიუმების არსებობის შესახებ გაუსის სტატისტიკური სტრუქტურებისათვის.

**Состоятельные критерии проверки гипотез для
статистических структур Гаусса**

Зеракидзе З., Кириа Д., Кириа Т., Чаниа М.

Реферат

В труде доказаны необходимые и достаточные условия о существовании состоятельных критериев проверки гипотез для статистических структур Гаусса.

A consistent criteria for Gaussian Statistical structure

Zerakidze Z., Kiria J., Kiria T., Chania M.

Abstract

In the paper we prove necessary and sufficient conditions for existence of Gaussian statistical structure.

СОСТОЯТЕЛЬНЫЕ КРИТЕРИИ ДЛЯ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ

¹Зеракидзе З., ²Кириа Т., ³Чания М.

¹Горийский государственный университет

¹Институт геофизики им. М. Нодиа, ТГУ

³Сухумский государственный университет

Пусть (E, S) – измеримое пространство $\{\mu_h, h \in H\}$ множество вероятностных мер на (E, S) , H – множество гипотез. Напомним некоторые определения [см. [1] – [3]].

Определение 1. *Статистической структурой будем называть следующий объект $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$.*

Пусть $V(H)$ σ – алгебра содержащие все конечные множества H .

Определение 2. Будем говорить, что статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает Состоятельный критерий для проверки гипотез $h \in H$, если существует такое хотя бы одноизмеримое отображение δ пространства (E, S) в $(H, V(H))$, что выполняется следующие соотношения $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$

$$\mu_h(\{x: \delta(x) = h\}) = 1 \quad \forall h \in H$$

Замечание 1. Если статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает состоятельный критерий для проверки гипотез, то она сильно разделима, но не наоборот.

Пусть (E, S) – измеримое пространство, а S_n возрастающая последовательность σ – алгебр $S_1 \subset S_2 \subset \dots \subset S_n$ таких, что

$$S = \bigcup_{n=1}^{\infty} S_n$$

Определение 2. Будем говорить, что статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает сильно состоятельный критерий для проверки гипотез $h \in H$, если существует последовательность S_n измеримых отображений $g_n(x)$ принимающих значения из H , что выполняются следующие соотношения

$$\mu_h(\{x: \lim \rho(g_n(x), h) = 0\}) = 1 \quad \forall h \in H$$

Теорема 1. Если статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает сильно состоятельный критерий для проверки гипотез $h \in H$, то это статистическая структура допускает состоятельный критерий для проверки гипотез.

Доказательство: Так как статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает сильно состоятельный критерий для проверки гипотез, существует последовательность $\delta_n(x)$ S_n – измеримых отображений $\delta_n(x)$ принимающих значения из H , что

$$\mu_h(\{x: \lim \rho(\delta_n(x), h) = 0\}) = 1 \quad \forall h \in H$$

Допустим, что

$$\delta(x) = \begin{cases} \lim \delta_n(x), & \text{если предел существует} \\ 0, & \text{если предела нет} \end{cases}$$

Тогда

$$\mu_h(\{x: \delta(x) = h\}) = 1 \quad \forall h \in H$$

Теорема 1 доказана.

Определение 4. Будем говорить, что статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает равномерно состоятельный критерий $\delta(x)$ для проверки гипотез, если существует последовательность $\delta_n \in S_n$ – измеримых отображений, что для всех $\varepsilon > 0$

$$\lim_{n \rightarrow 0} \sup_{h \in H} \mu_h(\{x: \rho(\delta_n(x), \delta(x)) > \varepsilon\}) = 0$$

Теорема 2. Если статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает равномерно состоятельный критерий для проверки гипотез, это статистическая структура допускает состоятельный критерий для проверки гипотез.

Доказательство. Если статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает равномерно состоятельный критерий для проверки гипотез, то если n_k выбрано так, чтобы

$$\sum \sup_{h \in H} \mu_h \left(\left\{ x: \rho(\delta_{n_k}(x), \delta(x)) > \frac{1}{k} \right\} \right) < \infty$$

то $\delta_{n_k \rightarrow \delta(x)}$ для всех $h \in H$ почти всюду по мере μ_h .

Тогда по теореме 1 эта статистическая структура допускает состоятельный критерий для проверки гипотез.

Теорема 2 доказана.

Теорема 3. Пусть дана статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ и μ_h абсолютно непрерывна относительно вероятностной меры $\mu \forall h \in H$. $\mu_h \leq \mu$. Тогда статистическая структура $\{E, S, \mu_h, h \in H\}$ допускает состоятельный критерий для проверки гипотез.

Доказательство. Пусть

$$\delta_n(x) = M_\mu(\delta(x)/S_n)$$

Условное математическое ожидание на вероятностном пространстве (E, S, μ) , тогда $\delta_n(x)$ - которые образуют мартингал на (E, S, μ) имеющий при $n \rightarrow \infty$ предел почти всюду по мере μ . Но так как $\mu_h \leq \mu \quad \forall h \in H$, то $\delta_n(x) \rightarrow \delta(x)$ для всех $h \in H$ почти всюду по мере μ_h

$$\mu_h(\{x: \delta_n(x) \rightarrow \delta(x)\}) = 1$$

Тогда

$$\tilde{\delta}_n(x) = \begin{cases} \lim \delta_n(x), & \text{если предел существует} \\ 0, & \text{если предела нет} \end{cases}$$

То $\mu_h(\{x: \tilde{\delta}_n(x) \rightarrow \delta(x)\}) = 1 \quad \forall h \in H$.

Теорема 3 доказана.

Литერатура

1. Aleksidze L. Mumladze M. Zerakidze Z. The consistent criteria of hypotheses. Modern Statistics, Theory and Application 1(1) 2014, 3 -11.
2. Ибрамхалилов И. Ш., Скороход А. В. Состоятельные оценки параметров случайных процессов, «Наука – Думка» Киев 1980.
3. Kharazishvili A. B. On the extince of consistent estimator for strongly separable family probability measures, Probability Theory and Mathematical statistics. Mecniereba. Tbilisi. 1989.

ჰიპოთეზათა შემოწმების ძალდებული კრიტერიუმები

ზერაკიძე ზ., ქირია თ., ჭანია მ.

რეზიუმე

ნაშრომში დამტკიცებულია აუცილებელი და საკმარისი პირობები ძალდებული კრიტერიუმების არსებობის შესახებ.

Состоятельные критерии для проверки гипотез

Зеракидзе З., Кириа Т., Чания М.

Реферат

В труде доказаны необходимые и достаточные условия о существовании состоятельных критериев проверки гипотез.

Cantidation for existence of such criteria

Zerakidze Z., Kiria T., Chania M.

Abstract

Consistent criteria for testing hypotheses in the paper we prove necessary and sufficient cantidation for existence of such criteria.

О МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГОРНЫХ ПОРОД МЕТОДОМ ПЛОСКОГО ИМПУЛЬСНОГО ИСТОЧНИКА ТЕПЛА

¹ Сакварелидзе Е.А., ² Глонти Л.Е.

¹ *Тбилисский государственный университет им. И.Джавахишвили, 0179, Тбилиси, проспект И.Чавчавадзе 1, evgeni.sakvarelidze@tsu.ge*

² *Институт гидрологии и инженерной геологии, 0159, Тбилиси, с.Дигоми, ул.св.Нины 1.*

Экспериментальное исследование теплофизических характеристик горных пород является одной из основных задач геотермии, так как знание этих параметров необходимо для расчета тепловых полей Земли и их анализа. Среди экспериментальных методов предпочтительными являются методы нестационарного теплового режима; их использование дает возможность одновременно определить все три тепловых параметра – коэффициенты температуропроводности (k), объемной теплоемкости ($ср$) и теплопроводности (λ) в течение одного эксперимента.

Настоящая работа посвящена импульсному методу одновременного определения трех теплофизических параметров горных пород на основе распределения температуры в окружающей среде, вызванной действием плоского мгновенного источника тепла (плоского зонда)

Импульсные методы определения теплофизических характеристик горных пород ранее рассматривались в работах [1 – 6].

Основной проблемой зондовых методов является качество контакта нагреватель – образец и термическое сопротивление в зоне этого контакта. В некоторых случаях необходимо ввести теоретические и эмпирические поправки, учитывающие неидеальную реализацию математических условий (цилиндрическая форма нагревателя, его диаметр и длина, конечная длительность теплового импульса).

Ранее [6] нами была предложена методика плоского импульсного источника тепла, в которой в качестве зонда (нагревателя) была использована плоская спираль из нихромовой проволоки диаметром 0,1 мм. Предложенный вариант предпочтительнее по сравнению с другими зондовыми методами. Его преимущества:

1. простая геометрия образца и его сравнительно маленькие размеры;
2. высокая степень контакта нагреватель-образец;
3. малая инерционность нагревателя;
4. возможность одновременного измерения на двух одинаковых образцах одной и той же породы.

Однако, наряду с отмеченными преимуществами, в предложенной ранее методике имеется и слабая сторона, касающаяся нагревателя – он одноразовый и не пригоден для проведения измерений тепловых характеристик сыпучих материалов (песка).

В данной статье представлена методика с усовершенствованным нагревателем. Нагреватель нового типа представляет собой намотанную на тонкую пластинку из слюды толщиной

0,25 мм спираль из нихромовой проволоки диаметром 0,1 мм. Такой нагреватель также неинерционный, многоразовый, который можно вводить в сыпучий материал.

Исследуемый образец имеет форму цилиндра или куба. Нагреватель зажимается специальным зажимным устройством между двумя образцами, изготовленными из одной и той же породы. При прохождении тока через нагреватель излучается тепловой импульс, продолжительность которого регулируется с помощью реле времени и обычно не превышает 3-4 секунды. Изменение температуры в образце, вызванное тепловым импульсом, регистрируется хромель-алюмелиевой дифференциальной термопарой. по зеркальной шкале гальванометра М-17/4, которая предварительно градуируется. Количество тепла, излучаемого нагревателем регистрируется при помощи ваттметра Д575(02).

Во время эксперимента измеряются температурный максимум в точке измерения и время его достижения. Теплофизические коэффициенты рассчитываются по формулам:

$$\text{температуропроводность} \quad k = \frac{R^2}{2t_m}, \quad (1)$$

объемная теплоемкость

$$c\rho = \frac{Q}{4T_mSR}, \quad (2)$$

теплопроводность

$$\lambda = kc\rho, \quad (3)$$

где R – расстояние между нагревателем и точкой регистрации температуры, T_m – максимум температуры в точке наблюдения, t_m – время достижения максимальной температуры, Q – количество тепла, излучаемого нагревателем, S – площадь нагревателя. Максимальная относительная погрешность для k , $c\rho$ и λ составляет 1,2%, 4,5% и 5,7% соответственно.

Табл.

	Название породы	плотность (г/см ³)	k_1 10 ⁻³ (см ² /сек)	k_2 10 ⁻³ (см ² /сек)	$c\rho_1$ (кал/ см ³ К)	$c\rho_2$ (кал/ см ³ К)	λ_1 10 ⁻³ (кал/см·сек.К)	λ_2 10 ⁻³ (кал/см·сек.К)
1	Органогенный известняк	2,67	10,47	10,51	0,66	0,62	6,91	6,51
2	Оливиновый базальт	2,82	6,60	6,58	0,71	0,69	4,68	4,54
3	Оливиновый базальт	2,82	6,20	6,15	0,76	0,77	4,62	4,73
4	Песчаник мелкозернистый	2,58	7,50	7,51	0,70	0,67	5,25	5,03
5	Пемзовый туф	2,60	9,70	9,73	0,68	0,68	6,60	6,61
6	Порфирит	2,90	10,20	10,08	0,74	0,71	7,55	7,15

Значения теплофизических параметров пород, полученные предложенным методом, согласуются с аналогичными данными, приведёнными в работах [2], [3], [4], [5], [6], что доказывает надежность метода. В нижеприведенной таблице приведены результаты измерений на нескольких образцах некоторых пород, полученных в работе [6] (индекс 1) и результаты, полученные в настоящей работе для тех же образцов (индекс 2). Учитывая погрешности измерений, можно утверждать о хорошем совпадении результатов.

Надо отметить, что компактность и простота предлагаемого экспериментального устройства, а также небольшое время, необходимое для реализации эксперимента, дает возможность применять его при проведении исследований в широких интервалах температуры и давления.

Литература

1. Чудновский А. «Теплофизические характеристики дисперсных материалов», Государственное издательство физико-математической литературы, М, 1962.
2. Сакварелидзе Е. «О методе исследования тепловых параметров горных пород в зависимости от температуры», Доклады АН ГССР, том 51, выпуск №1, 1968.
3. Любимова Е., Старикова Г., Шушпанов А. «Теплофизические исследования горных пород» Сб. «Геотермальные исследования», «Наука», 1964.
4. Старикова Т., Любимова Е. «Тепловые характеристики горных пород из скважин Кольского полуострова». В сб. «Тепловые потоки из коры и верхней мантии Земли» № 12 «Наука». М. 1973.
5. Сакварелидзе Е. «Теплофизические свойства горных пород в интервале температур 20-5000 °С». В сб. «Тепловые потоки из коры и верхней мантии Земли» № 12 «Наука» М. 1973.
6. Sakvarelidze E., Glonti L. Research into Rocks' Thermal Characteristics by the Method of Impuls Flat Heat Sours, Journ. of the Georgian Geophysics Sosieti Solid Earth, 12, 2008.

ბრტყელი იმპულსური წყაროს მეთოდით ქანების სითბური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდიკის შესახებ

საყვარელიძე ე. ღლონტი ლ.

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ქანების ტემპერატურაგამტარობის, მოცულობითი სითბოტევადობის და თბოგამტარობის კოეფიციენტების განსაზღვრის მეთოდიკა, რომელიც ემყარება ბრტყელი მყისიერი სითბური წყაროს მიერ შექმნილი ველის ცვლილების შესწავლაზე. შემოთავაზებულია ბრტყელი სითბური ზონდის კონსტრუქცია, რომელსაც გააჩნია უპირატესობათა მთელი რიგი არსებულ ზონდებთან შედარებით. მოცემულია ახალი ზონდის გამოყენებით ზოგიერთი ქანის სითბური პარამეტრების გაზომვის შედეგები. ამ შედეგების შედარება ადრე მიღებულ მონაცემებთან მიგვიჩვენებს შემოთავაზებული მეთოდიკის და შექმნილი ახალი ზონდის საიმედოობაზე.

О методике измерения теплофизических параметров горных пород методом плоского импульсного источника тепла

Сакварелидзе Е.А., Глonti Л.Е.

Реферат

В работе рассматривается методика экспериментального исследования коэффициентов температуропроводности, объемной теплоемкости и теплопроводности горных пород, основанная на изменении теплового поля, созданного плоским мгновенным источником тепла. Предлагается конструкция плоского теплового зонда, имеющего ряд преимуществ по сравнению с существующими. Приведены результаты исследований тепловых параметров некоторых пород, полученные с применением нового зонда. Сравнение полученных результатов с уже существующими данными подтверждает надежность предложенной методики и созданного нового зонда.

About the methodology for measuring thermo physical parameters of rocks by the method of a flat pulsed heat source

Sakvarelidze E., Glonti L.

Abstract

The work considers a methodology for the experimental study of temperature conductivity, volume heat capacity and thermal conductivity of rocks, based on a change in the thermal field created by a flat pulsed heat source. It proposes the construction of a flat heat probe, which has a number of advantages over existing ones. The results of studies of the thermal parameters of some rocks obtained with the use of a new probe are given. Comparison of the results with existing data proves the reliability of the proposed methodology and the newly created probe.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА ПАРАМЕТРОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Гвелесиани А.И.

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета
им. Иванэ Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1*

I. Введение.

Рассматриваются в основном вопросы термодинамики и кинетики возникновения и роста спонтанных зародышей пара в перегретых частях жидкости на стенках и на дне нагреваемого сосуда. Метастабильные – не устойчивые фазовые состояния системы – и стеклообразные – “замороженные” состояния веществ большой вязкости с затруднённой молекулярной перестройкой, сопровождающей непрерывные изменения исходной фазы, в настоящей статье особо не рассматриваются. Для статистической физики термодинамика, в силу её универсальности, является своего рода пробным камнем, как в случае квантовой механики таковым является классическая механика. В то время как равновесия гомогенных систем изображались уравнением, в гетерогенных системах, такую же роль играло пространственное геометрическое изображение равновесных состояний (Тамман). Сходство и различие фазовых состояний жидкость-пар, жидкость-кристалл до сих пор привлекают к себе внимание теоретиков и экспериментаторов разных стран. Анализируются результаты известных и собственных работ в этом направлении. В развитии теории Гиббса следует отметить революционную роль классических работ Ван-дер-Ваальса (теория непрерывности перехода газа в жидкость) и Френкеля (кинетическая теория жидкостей), дальнейшее развитие которых в теоретическом и экспериментальном направлениях дано в статьях Зельдовича-Кагана, Дер-Гарабедиана, в монографиях Скрипова, Бреннена и Бубнова и Голицына. Значительные сдвиги произошли в статистической механике за последние 30 лет в связи с появлением цикла работ Цаллиса, введшего новое понятие об неэкстенсивной (неаддитивной) энтропии. Высказывается идея о возможности использования метода теории узлов Гаусса-Боне, развитого Дианой Вашакмадзе в области физики частиц и космологии, к иерархии вихрей турбулентности в газовой среде и термодинамики пузырькового кипения жидкости [1 – 54].

Ключевые слова: гомогенная и гетерогенная системы, фазовые переходы, нуклеация, стеклообразное состояние, неэкстенсивная, неаддитивная энтропия, турбулентные вихри, пузырьковое кипение, теория узлов.

II. Эксперимент и теория кипения жидкости.

На базе экспериментального комплекса Термобарокамеры Института геофизики впервые, методом пузырькового кипения жидкости, ставятся и анализируются совместные эксперименты по моделированию термохимической конвекции, процесса образования термиком в различных геофизических средах, в частности, образования кучевых облаков, расслоения подоблачной и

облачной сред и пр. Исследование конвективных движений, связанных с экстраординарными явлениями природы (штормы, вулканы, движение тектонических плит, землетрясения и др.) является одним из самых актуальных научных и социальноэкономических проблем. Трудности численных экспериментов и теоретических исследований этих процессов привели учёных мира к единодушному мнению о необходимости проведения соответствующих лабораторных экспериментов. Последние имеют не только прикладное, но и самостоятельное значение. Предложенным методом пузырькового кипения жидкости лабораторного моделирования термодинамической конвекции был получен ряд новых результатов. Для широкого диапазона плотностей растворов в ходе кривых зависимости температуры $T(t)$ и энтропии $S(T)$ обнаружены точки разрыва непрерывности второго рода (в диапазоне $(40-80)^\circ\text{C}$), после которой кривые отклоняются от начального линейного хода, изгибаются и параболически приближаются к точке кипения 100°C .

2.1. Схема установки и характеристики термодинамической системы.

Экспериментальная установка. Первые результаты [12, 13].

Ниже приведена схема установки для моделирования вертикального одномерного двухфазного конвективного течения жидкости [13].

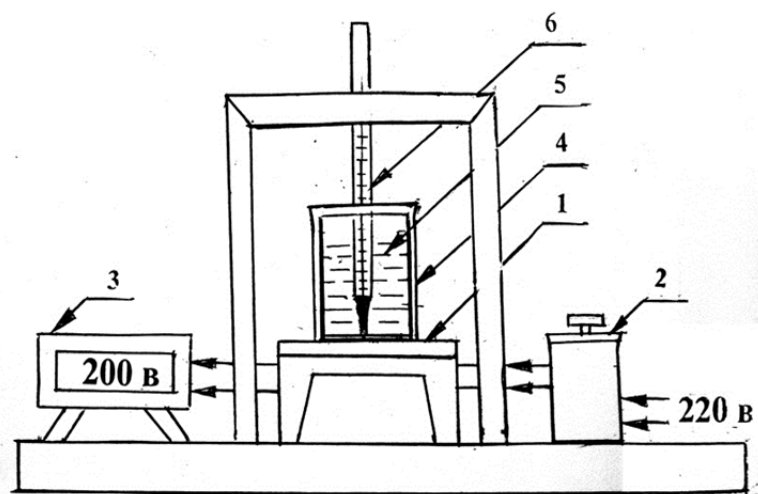


Рис. 1. Схема установки: 1 – электрическая плита, 2 – лабораторный автотрансформатор (ЛАТР), 3 – цифровой вольтметр, 4 – стеклянная колба, 5 – раствор, 6 –термометр

Рис. 1 показывает минимальное количество инструментов для проведения экспериментов с достаточно высокой точностью и полнотой информации о параметрах изучаемой системы. Хотя эта схема весьма проста, тем не менее, благодаря тщательности и многократному повторному проведению измерений, были установлены, на наш взгляд интересные явления, сопровождающие процесс пузырькового кипения, важные для изучения особенностей конвекции в соответствующих геофизических средах. Результаты отражены в рисунках и таблицах, обсуждены кратко, выводы сформулированы в цикле работ [12-18].

2.2. Новые результаты [18].

Моделирование вертикальной конвекции в естественных условиях оригинальным методом пузырькового кипения (ППМ) жидкости, позволило экспериментально исследовать поведение термодинамической системы (образцов природных вод и искусственных водных растворов) в течение процесса их нагрева до интенсивного крупно-пузырькового кипения. Для точного установления моментов наступления микро- и макро-масштабного режимов пузырькового кипения

жидкости были построены и проанализированы экспериментальные кривые зависимостей: (T, t) – температура-время, $(dT/dt, T)$ – скорость нарастания температуры-температура, $(d^2T/dt^2, T)$ – ускорение нарастания температуры-температура. В результате при 40°C и 80°C точки перегиба кривой $(dT/dt, T)$ проявились, как и следовало ожидать, в виде ярко выраженных максимумов на кривой $(d^2T/dt^2, T)$. Ниже приведены соответствующие результаты в виде графиков, отражающие новые стороны режима кипения чистой воды и водных растворов различных веществ и природных вод Грузии (Рис. 2 – 5).

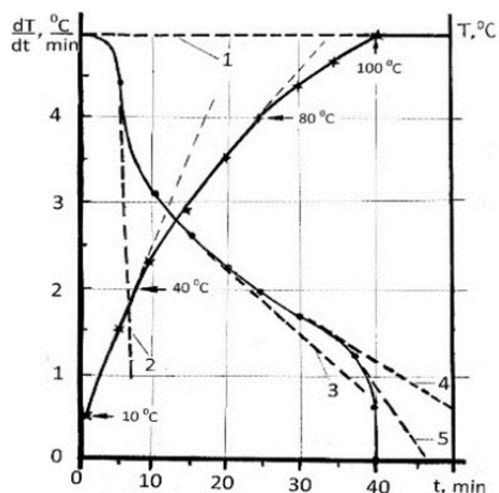


Рис. 2. $(dT/dt, t)$ -кривая показывает зависимость скорости роста температуры от времени, t (кривая соединяет точки (●)); (T, t) -кривая показывает изменение температуры жидкости от времени, t (кривая соединяет крестики (x)), [18].

Для более точного определения моментов наступления режимов микро- и макро-пузырькового кипения жидкостей соответственно при температурах $T = 40^\circ\text{C}$ и $T = 80^\circ\text{C}$, была построена кривая ускоренного роста температуры во времени в зависимости от температуры жидкости $(d^2T/dt^2, T)$ (Рис. 2.). Здесь мы видим в обеих точках экстремумы, всплески кривой $(d^2T/dt^2, T)$, соответственно при значениях температуры $T = 40^\circ\text{C}$ и $T = 80^\circ\text{C}$ (на Рис.1 хорошо видно, как кривая зависимости (T, t) преломляется именно при этих значениях температуры, которые проявляются в виде точек перегиба на кривой $(dT/dt, T)$, наличие которых подтверждается указанными выше двумя максимумами кривой $(d^2T/dt^2, T)$). Таким образом, их наличие не случайно и математически оправдано.

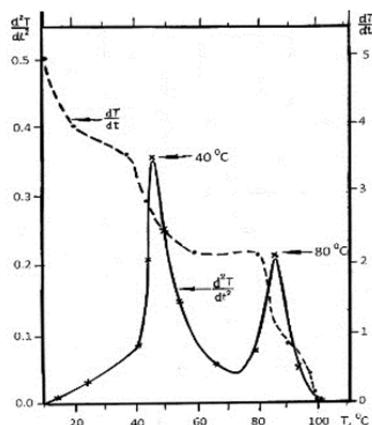


Рис. 3. $(dT/dt, T)$ -кривая показывает скорость роста температуры жидкости от температуры, T , (кривая соединяет точки (●)); $(d^2T/dt^2, T)$ -кривая показывает зависимость ускорения роста температуры от T (точки (x)), [18].

Эстремумы кривой ($d^2 T/dt^2$, T) на Рис. 3 соответствуют точкам (T_{dc}).

Ниже представлены оригинальные универсальные экспериментальные кривые (T_{dc} , ρ_{dc}), полученные нами для водных растворов NaCl, $C_{12}H_{22}O_{11}$ и других веществ (Рис. 4).

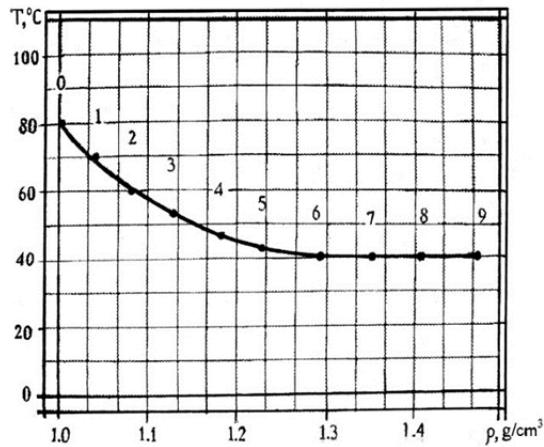


Рис. 4. Универсальная экспериментальная кривая зависимости температуры, T , в момент второго рода разрыва непрерывности, от концентрации, ρ , для любого воднораствора вещества, [13]

На Рис.4 показана оригинальная универсальная экспериментальная кривая зависимости (t_{dc} , ρ_{dc}) - время-плотность, полученная нами как для водных растворов, представленных на Рис. 4 (●) и для естественных вод Грузии (x) методом пузырькового кипения жидкости.

Рис. 5 показывает оригинальную универсальную экспериментальную кривую зависимости (t_{dc} , ρ_{dc}) – время-плотность раствора.

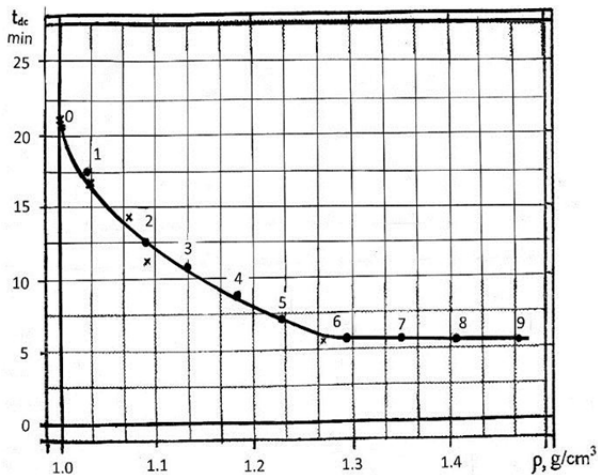


Рис. 5. Универсальная кривая зависимости температуры T , второго рода разрыва непрерывности в момент времени t_{dc} , от концентрации, ρ , для любого водного раствора вещества. Знаки (●) соответствуют вышеупомянутым искусственным растворам; знаки (x) – естественным водам Грузии, [18].

Кривые Рис. 4 и 5, имеющие сходное поведение, показывают сильное влияние плотности раствора на начало режима пузырькового кипения в процессе нагрева жидкости. Стало быть, между T_{dc} и t_{dc} существует линейная зависимость (результат совместного действия теплопроводности жидкости, конвективного движения, смешения термиком и паровых пузырьков; для $q = \text{const.}$ имеем $(dT/d\rho)_{dc} = \text{const.}$, $(d\rho/dt)_{dc} = \text{const.}$ и $(dS/dT)_{dc} = \text{const.}$

2.3. К построению оригинальной универсальной кривой (T, t) природных вод Грузии [16, 17].

На Рис.6 приведены экспериментальные кривые (T,t) – зависимостей для различных природных вод Грузии. В скобках указывается время начала пузырькового кипения для каждой пробы вод. Указывается установленная плотность взятых проб. (1) – источник г. Цалка (21.5 мин); (2) – Черное море, г. Анаклиа (17 мин); (3) – серные воды близ оз. Лиси (14.5 мин); (4) – серные воды бань старого Тбилиси (11 мин); (5) – насыщенный водный раствор мёда (7 мин).

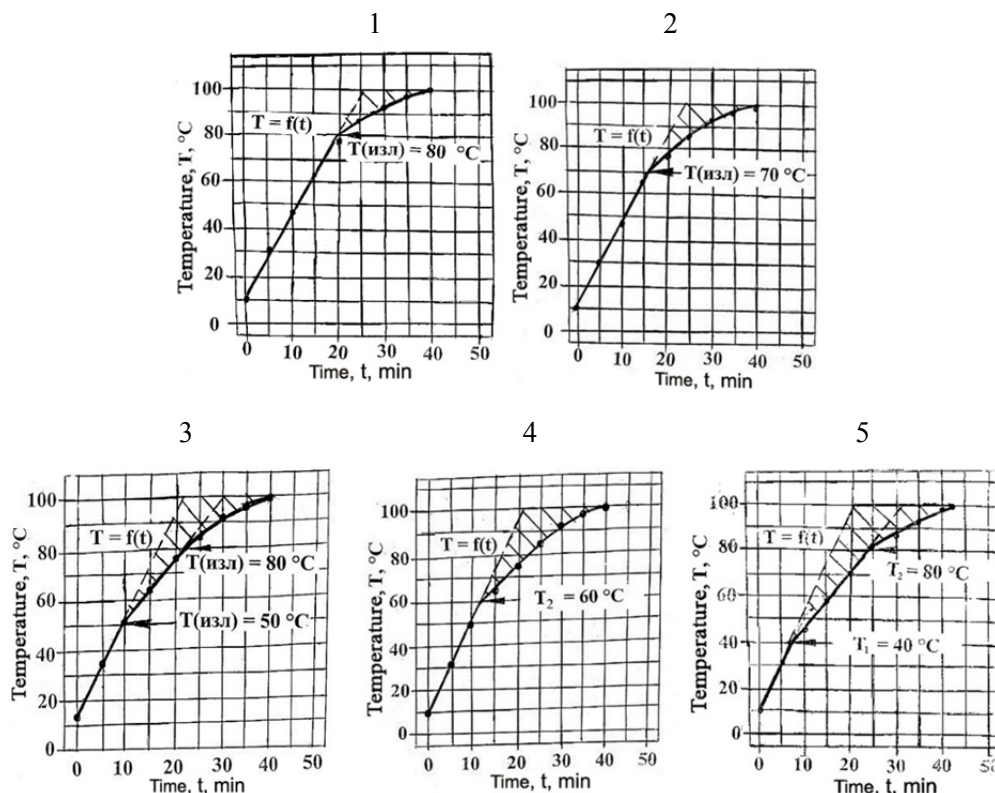


Рис. 6. Экспериментальные (T, t)-кривые нагрева проб естественных вод Грузии: (1) – $\rho = 1.0 \text{ g/cm}^3$, (2) – $\rho = 1.02 \text{ g/cm}^3$ (3) – $\rho = 1.07 \text{ g/cm}^3$, (4) – $\rho = 1.08 \text{ g/cm}^3$; (5) $\rho = 1.27 \text{ g/cm}^3$.

III. Типы нуклеации [1-8]

3.1. Гомогенная нуклеация. Впервые теория образования зародышей пузырьков пара в чистой воде была дана Гиббсом. Основные соотношения следующие [8]. Согласно гомогенной теории работа образования пузырька пара критического размера ($R_{кр}$) выражается формулой

$$W_{кр} = \frac{4}{3} \pi R_{кр}^2 \sigma, \quad (3.1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости;
 скорость зародышеобразования пузырьков (здесь $W_{кр} / kT = Gb$ – число Гиббса) равна

$$J = J_0 \exp(-W_{кр} / kT), \quad (3.2)$$

где J_0 – фактор пропорциональности, для которого известно типичное молярное соотношение

$$J_0 = N \left(\frac{2\sigma}{\pi m} \right)^{i/2}, \quad (3.3)$$

где N – молекулярная плотность жидкости (молекулы / m^3), m – масса молекулы.

3.2. Гетерогенная нуклеация. В первом случае нуклеации рассматривались микроскопические пустоты, которые растут, вызывая разрыв, когда давление на жидкость, p , становится ниже критического значения $p_v - 2\sigma/R$. Следовательно, растягивающее усилие равняется $2\sigma/R$. В этом случае имеет место контакт жидкость/ пар/твёрдое тело. Указанное усилие вытягивает пузырь пара из возможной шероховатости контактной поверхности. Этот вопрос – вне поля нашего зрения.

Замечание: Поразительно внешнее сходство геометрической формулы Эйлера о связи между параметрами правильного многоугольника ($F = E + 2 - V$, где F – число граней, E – число рёбер, V – число вершин) и правилом фаз Гиббса ($F = N + 2 - R$, где F – число степеней свободы, N – число компонент, R – число фаз в равновесии) (см. [18]).

IV. Метастабильное состояние жидкости.

4.1. Ниже рассматривается кинетика процесса перегрева жидкости близ поверхности нагрева согласно работам [19-21].

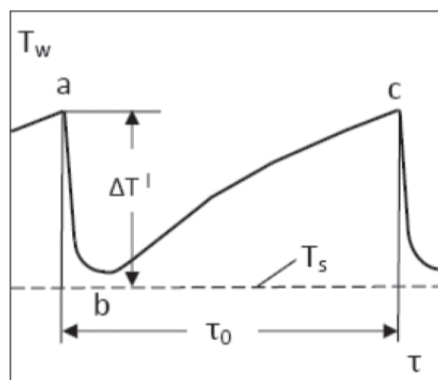


Рис. 7. Типичный цикл пульсаций нагреваемой поверхности:
 T_w – локальный перегрев поверхности; T_s – температура насыщения;
 $\Delta T'$ – максимальный перегрев; τ – время; τ_0 – длительность цикла [20].

На Рис. 7 показан типичный цикл локальной пульсации нагреваемой поверхности, где T_w – локальная температура нагреваемой поверхности; T_s – температура насыщения; $\Delta T'$ – максимальный перегрев; τ_0 – длительность цикла пульсации. Как видим, здесь дана качественная картина пульсаций температуры нагреваемой поверхности при определённом максимальном перегреве жидкости близ поверхности её нагрева. Очевидно, что обратная периоду τ_0 величина равна количеству образующихся и отрывающихся в единицу времени от стенки газовых пузырей. Автор работы [19] приводит в соответствие собственные результаты по формированию и отрыву парового пузыря от стенки сосуда с кипящей жидкостью с вышеприведёнными результатами [20]. Далее в [19] проведён критический анализ известных исследований собственных и других авторов почти за полувековой период. Наше внимание привлекает кинетика процесса зарождения и роста парового пузыря в нагреваемой жидкости в зависимости от степени её перегрева. В частности интересен результат расчёта перегрева температуры жидкости, ΔT_{eq} , необходимого для начала роста образовавшегося пузыря пара с равновесным мениском [21],

$$\Delta T_{eq} = \frac{2\sigma T_s}{\lambda \rho_0 \rho'_s}, \quad (4.1)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения жидкости, λ – скрытая теплота парообразования, ρ_0 – плотность жидкости, ρ'_s – плотность пара.

На основе собственных исследований автор работы [19], следуя работе [20], строит в первом приближении зависимость (T_w, τ) , приведённую на Рис. 7.

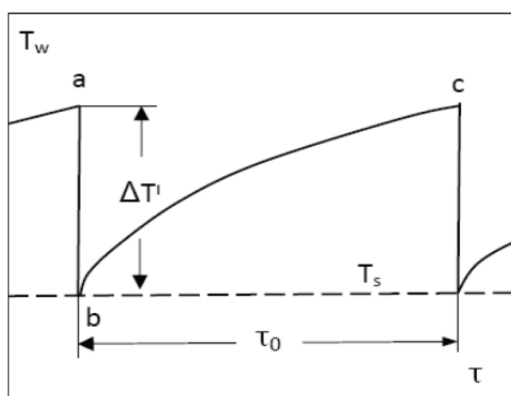


Рис. 8. Обозначения те же, что и на Рис. 4 [19].

Из Рис. 8 хорошо видно, что $\Delta T' \gg \Delta T_{eq}$. Как и следовало ожидать, на образование зародыша пузыря необходим значительно бóльший температурный перегрев (бóльшая энергия для его образования), чем перегрев, необходимый для начала роста пузыря после его зарождения. Желательно было бы, чтобы автор работы [19] решил задачу во втором и др. приближениях также. Замечание к обоим результатам: как качественные, эти диаграммы пригодны для всех жидкостей; информация [19] была бы весьма ценной при наличии количественных данных, например, для чистой воды и водных растворов [12-18]. Рассмотрим вкратце результаты теоретических работ [3, 4, 6] в интерпретации монографии [7]; автор статьи [6], поправляя ошибку, допущенную в работе [4], но восхищённый методом, применённым в последней, вместо кавитации рассматривает кинетику процесса кипения чистой воды [6]. Как уже отмечалось выше, эта проблема экспериментально исследовалась для чистой воды и для водных растворов веществ [12-18]. Далее анализируются некоторые результаты [19-23].

V. Динамика сферического пузырька [8, 33].

5.1. Каганом (1960) [6] сделана попытка получить общее выражение для скорости вскипания перегретой чистой жидкости, справедливое для любых p_0 , методом Зельдовича (1942) [4]. При этом приняты во внимание лимитирующие скорость роста пузырька факторы: вязкость, инерционность, скорость испарения в полость и скорость подвода тепла к поверхности полости. Это ранние работы, поэтому ниже будут даны новые результаты, обобщённые в работе Бреннена [8].

Рассмотрим сферический пузырь пара радиуса R в неограниченной жидкости. Считается, что плотность жидкости ρ_L постоянна. Радиальное движение (рост) пузырька сферически симметрично раздвигает окружающую жидкость на расстоянии r от центра пузырька со скоростью

$$u(r, t) = \frac{F(t)}{r^2}, \quad (5.1)$$

Где $F(t)$ определяется кинематическим граничным условием близ поверхности пузырька. В случае отсутствия переноса массы через поверхность $u(R, t) = dR/dt$ и, следовательно,

$$F(t) = R^2 \frac{dR}{dt}. \quad (5.2)$$

Будем считать что при росте пузырька во времени, граница её непроницаема и имеет скорость dR/dt . Тогда объемная скорость роста пузырька будет равна $4\pi R^2 dR/dt$. Массовая скорость испарения будет $\rho_v 4\pi R^2 dR/dt$ (где ρ_v плотность насыщенного пара), в свою очередь это должно равняться массе втекающей жидкости, тогда скорость втекания жидкости относительно поверхности даётся выражением $\rho_v (dR/dt)/\rho_L$. Следовательно,

$$u(R,t) = \frac{dR}{dt} - \frac{\rho_v}{\rho_L} \frac{dR}{dt} = \left[1 - \frac{\rho_v}{\rho_L} \right] \frac{dR}{dt} \quad (5.3)$$

и

$$F(t) = \left[1 - \frac{\rho_v}{\rho_L} \right] R^2 \frac{dR}{dt}. \quad (5.4)$$

5.2. Обобщение уравнения Релея-Плессета для вязкой жидкости.

1. Для радиальной составляющей скорости уравнение Навье-Стокса,

$$-\frac{1}{\rho_L} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial r} - \nu_L \left[\frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} (r^2 \frac{\partial u}{\partial r}) - \frac{2u}{r^2} \right] \quad (5.5)$$

даёт после подстановки $u = F(t)/r^2$:

$$-\frac{1}{\rho_L} \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{1}{r^2} \frac{dF}{dt} - \frac{2F^2}{r^5}. \quad (5.6)$$

Заметим, что вязкие члены исчезают; лишь единственный вязкий содействующий фактор, ведущий к уравнению Релея-Плессета, исходит из динамического граничного условия близ поверхности пузырька. Последнее уравнение может быть проинтегрировано и приведено к виду

$$\frac{p - p_\infty}{\rho_L} = \frac{1}{r} \frac{dF}{dt} - \frac{1}{2} \frac{F^2}{r^4} \quad (5.7)$$

после приложения условия $p \rightarrow p_\infty$, когда $r \rightarrow \infty$.

Для завершения этой части анализа рассмотрим динамику граничного условия на поверхности пузырька. На тонкую плёнку поверхности пузырька действуют радиально направленные сила давления пара (p_B), противоположно направленная сила поверхностного натяжения ($-2\sigma/R$) и радиальная составляющая тензора напряжений скорости ((p_{rr})):

$$(p_{rr})_{r=R} + p_B - \frac{2\sigma}{R}. \quad (5.8)$$

или коль скоро $(p_{rr})_{r=R} = -p + 2\mu_L \partial u / \partial r$, то сила давления на поверхность пузырька равна

$$p_B - (p)_{r=R} - \frac{4\mu_L}{R} \frac{dR}{dt} - \frac{2\sigma}{R} \quad (5.9)$$

При отсутствии массо-переноса через границу пузырька (испарение или конденсация) эта сила равна нулю, и подставляя значение для $(p)_{r=R}$ из уравнения (5.6) при $F = R^2 dR/dt$, получаем обобщённое уравнение Релея-Плессета для динамики пузырька:

$$\frac{p_B(t) - p_\infty(t)}{\rho_L} = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4\nu_L}{R} \frac{dR}{dt} + \frac{2\sigma}{\rho_L R}. \quad (5.10)$$

При определённом $p_\infty(t)$ уравнение (5.8) может быть решено для нахождения $R(t)$, когда $p_B(t)$ известно. При отсутствии поверхностного натяжения и вязкостного членов это уравнение было выведено и использовано Релеем (1917) [34]. Плессет (1949) [35] впервые применил это уравнение к проблеме движения пузыря при кавитации.

2. Вышерассмотренные уравнения относились к чистым жидкостям (чистой воде). Газовые пузыри состояли только из пара. В случае же растворов кроме молекул пара присутствуют примеси газа, т.е. пузырь многокомпонентен. Обозначая парциальное давление газовой примеси через p_G при радиусе R_0 и температуре T_∞ , если нет заметного переноса газа в жидкость, следует, что

$$p_B(t) = p_V(T_B) + p_{G_0} \left(\frac{T_B}{T_\infty} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^3. \quad (5.11)$$

Подставляя (5.11) в (5.12), получим уравнение Релея-Плессета в виде

$$\begin{aligned} \frac{p_V(T_\infty) - p_\infty(t)}{\rho_L} + \frac{p_V(T_B) - p_V(T_\infty)}{\rho_L} + \frac{p_{G_0}}{\rho_L} \left(\frac{T_B}{T_\infty} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^3 = \\ = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4\nu_L}{R} \frac{dR}{dt} + \frac{2\sigma}{\rho_L R}, \end{aligned} \quad (5.12)$$

которое для политропического процесса даёт

$$p_G = p_{G_0} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3k}, \quad (5.13)$$

где k – экспериментальная постоянная, и уравнение Релея-Плессета принимает вид

$$\frac{p_V(T_\infty) - p_\infty(t)}{\rho_L} + \frac{p_{G_0}}{\rho_L} \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3k} = R\ddot{R} + \frac{3}{2}(\dot{R})^2 + \frac{4\nu_L\dot{R}}{R} + \frac{2\sigma}{\rho_L R}. \quad (5.14)$$

где точка над R обозначает d/dt . (соответствующие ссылки даны в работе в [8]: без вязкостного члена уравнение Релея-Плессета (5.13) было исследовано Нолтингом и Непирасом (1950, 1951), а с вязкостным членом впервые был исследован Порицким (1952))

5.3. Термический контроль роста пузырька [34, 36, 5].

Приведём для иллюстрации графическое представление временной зависимости радиуса растущего парового пузыря в воде при перегреве $T = 103,1$ °C, построенные по Релею [34] – с сильным расхождением с экспериментом [5] – и по теории Плессета-Цвика [36], хорошо согласующейся с экспериментальной кривой [5].

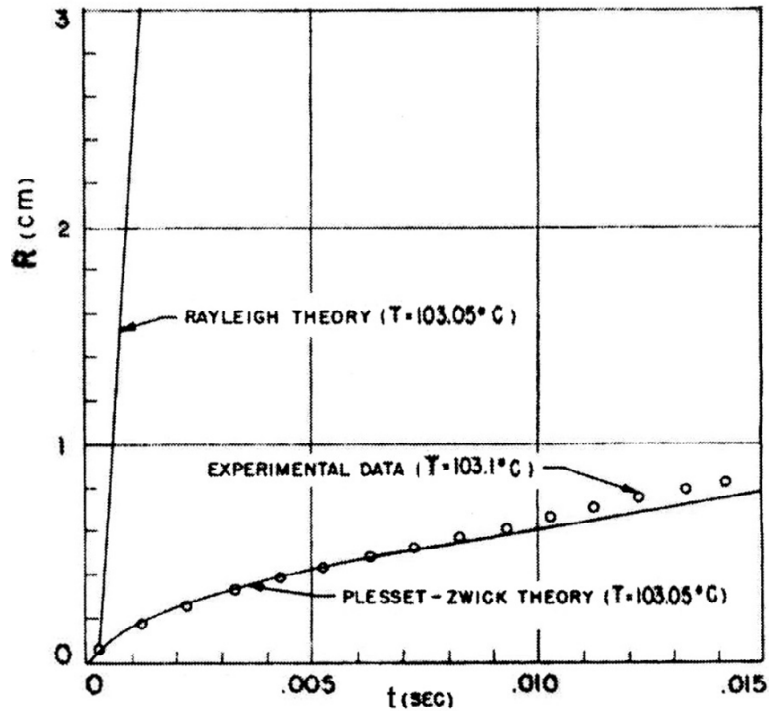


Рис. 9. Сравнение теории с экспериментом. Сплошная прямая линия построена по Релею [34], сплошная изогнутая кривая – по Плессету-Цвику [36], треугольниками отмечены экспериментальные точки [5].

5.4. Устойчивость пузырька пар-газ (согласно Блейку (1949), [8])

Блейк, изучавший начало процесса кавитации, считает важным признать тот факт, что условие равновесия пузырька паро-газового содержания,

$$p_V - p_\infty + p_{GE} - \frac{2\sigma}{R_E} = 0, \quad (5.15)$$

не может обычно представлять устойчивое состояние равновесия при $R = R_E$ с парциальным давлением газа p_{GE} .

Рассмотрим малое возмущение в размере пузырька от $R = R_E$ до $R = R_E(1 + \varepsilon)$, $\varepsilon \ll 1$ и возмущённое уравнение Релея-Плессета. Следует при этом различать два возможных случая:

- (а) парциальное давление газа остаётся тем же, как при равновесии p_{GE} ;
- (б) масса газа в пузырьке и его температура, T_B , остаются прежними.

С практической точки зрения возмущение в случае (а) генерируется в течение времени, достаточного для того, чтобы парциальное давление газа оставалось бы при величине, соответствующей концентрации растворённого газа в жидкости. С другой стороны, в случае (б) принимается во внимание, что он должен слишком быстрым для обеспечения значительной диффузии газа. Отсюда следует, что в случае (а) газовый член в уравнении Релея-Плессета (5.14) есть p_{GE}/ρ_L , в то время как в случае (б) он равен $p_{GE}R_E^{3k}/\rho_LR^{3k}$. Если определить n как нуль в случае (а), и $n = 1$ в случае (б), затем, подставляя $R = R_E(1 + \varepsilon)$, получаем

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}(\dot{R})^2 + 4v_L \frac{\dot{R}}{R} = \frac{\varepsilon}{\rho_L} \left[\frac{2\sigma}{R_E} - 3nk p_{GE} \right]. \quad (5.16)$$

Правая часть (5.16) имеет тот же знак, что и ε . Если

$$\frac{2\sigma}{R} > 3nk p_{GE}, \quad (5.17)$$

тогда скорость и ускорение роста радиуса пузырька во времени имеют тот же знак, как и возмущение и, следовательно, равновесие будет неустойчивым, коль скоро результирующее движение заставит пузырёк удаляться от $R=R_E$. С другой стороны, равновесие устойчиво, если $np_{GE} > 2\sigma/3R_E$.

Случай (а) всегда должен быть неустойчивым, ибо неравенство (5.17) при $n = 0$ выполняется. Это означало бы, что время диффузии массы при росте или сокращения длилось бы бесконечно долго.

Случай (b) более интересен в технических задачах, где уровни давления меняются в короткое время сравнительно со временем, необходимым для значительной диффузии газа. В этом случае для стабильности пузырька требуется условие

$$p_{GE} = \frac{m_G T_B K_G}{\frac{4}{3} \pi R_E^3} > \frac{2\sigma}{3kR_E}, \quad (5.18)$$

где m_G – масса газа в пузырьке, K_G – газовая постоянная. Действительно, для данной массы газа существует пузырёк критического размера, впервые найденный Блейком (1949) и Непирасом и Нолтингком (1951) и цитируемый как критический радиус Блейка (5.19):

$$R_C = \left[\frac{9km_G T_B K_G}{8\pi\sigma} \right]^{1/2}. \quad (5.19)$$

Все пузыри с радиусом $R_E < R_C$ могут существовать в устойчивом равновесии, тогда как все пузыри с радиусом $R_E > R_C$ должны быть неустойчивыми. Критического размера можно достигнуть уменьшением давления окружающей среды от p_∞ до критического значения, $p_{\infty c}$, которое получается из уравнений (5.15) и (5.19):

$$p_{\infty c} = p_V - \frac{4\sigma}{3} \left[\frac{8\pi\sigma}{9km_G T_B K_G} \right]^{1/2}, \quad (5.20)$$

часто называемое пороговым давлением Блейка.

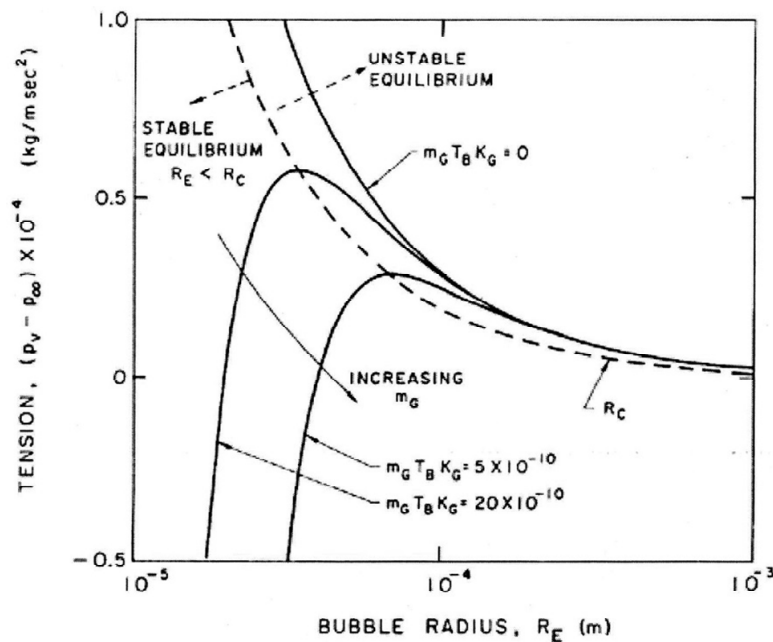


Рис. 10. Радиусы устойчивого и неустойчивого равновесия, как функция растягивающего напряжения пузырьков различных масс газа. Области устойчивого и неустойчивого равновесий разделены прерывистой линией (по Дейли и Джонсону (1956), [8])

На Рис. 10 графически представлен изотермический случай ($k = 1$), где сплошные линии представляют равновесные состояния пузырька с радиусом R_E , по отношению растягивающего напряжения $(p_V - p_\infty)$ для различных фиксированных масс газа в пузырьке и фиксированного поверхностного натяжения. Геометрическое место пиков есть график значений R_C представлено прерывистой линией, уравнение которой есть $(p_V - p_\infty) = 4\sigma/3R_E$. Область справа от неё представляет состояние неустойчивого равновесия. Это графическое представление было использовано Дейли и Джонсоном (1956) для визуализации квазиклассической реакции пузыря, подверженного понижающемуся давлению. Начиная с четвёртого квадранта при условиях, в которых окружающее давление $p_\infty > p_V$, и полагается, что масса газа в пузырьке постоянна, радиус R_E , сперва увеличится, так как давление $(p_V - p_\infty)$ возрастает. Пузырь пройдёт через серию устойчивых состояний равновесия до тех пор, пока исключительное критическое давление не достигнет максимума. Любое слабое уменьшение в p_∞ ниже значения, соответствующего этой точке, приведёт к взрывному росту кавитации, независимо от того, p_∞ уменьшится в дальнейшем или нет. Действительно, из этого анализа следует, что для жидкости критическое напряжение натяжения скорее давалось бы выражением $4\sigma/3R$, чем $2\sigma/R$, утверждаемое ранее, коль скоро стабильное состояние равновесия не существует в области

Иной вопрос возникает из анализа Рис. 10. Заметим, что для данного поодкритического напряжения натяжения существуют два альтернативных состояния, одно менее стабильное состояние, другое более нестабильное состояние. Допустим, что пузырь при менее стабильном состоянии подвергается ещё давлению осцилляций существенной величины, чтобы заставить пузырь мгновенно превысить размер R_C . Он мог бы тогда расти взрывообразно без ограничения. Этот эффект важен для понимания роли турбулентности в начале кавитации или реакции жидкости на акустическое поле.

5.5. Рост пузырька, как вариационная задача [39].

Будем исходить из обобщённого уравнения Релея-Плессета для динамики пузыря (5.10):

$$\frac{p_B(t) - p_\infty(t)}{\rho_L} = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4v_L}{R} \frac{dR}{dt} + \frac{2\sigma}{\rho_L R}. \quad (5.10)$$

Беря интеграл от обеих частей уравнения (5.10) по времени,

$$\int_{t_0}^{t_1} \frac{p_B(t) - p_\infty(t)}{\rho_L} dt = \int_{t_0}^{t_1} \left[R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4v_L}{R} \frac{dR}{dt} + \frac{2\sigma}{\rho_L R} \right] dt, \quad (5.21)$$

представим его в виде функционала

$$U[R(t)] = \int_{t_0}^{t_1} F(t, R, R', R'') dt, \quad (5.22)$$

где

$$F = RR'' + \frac{3}{2} R'^2 + \frac{4v_L}{R} R' + \frac{2\sigma}{\rho_L R}, \quad (5.23)$$

где штрихами отмечены соответственно первая и вторая производные радиуса R пузырька пара по времени t .

Исследуем на экстремум функционал (5.22), где функция F предполагается дифференцируемой два раза по аргументу t при граничных условиях

$$R(t_0) = R_0, \quad R'(t_0) = R'_0, \quad R''(t_0) = R''_0; \quad R(t_1) = R_1, \quad R'(t_1) = R'_1, \quad R''(t_1) = R''_1. \quad (5.24)$$

Вариацией функционала на кривой, реализующей экстремум, имеем:

$$\delta U = \int_{e_0}^{e_1} \left(F_R - \frac{d}{dt} F_{R'} + \frac{d^2}{dt^2} F_{R''} \right) \delta R dt = 0. \quad (5.25)$$

При произвольном выборе δR , в силу непрерывности выражения в скобках по времени на той же кривой $R(t)$, получаем уравнение Эйлера-Пуассона

$$F_R - \frac{d}{dt} F_{R'} + \frac{d^2}{dt^2} F_{R''} = 0. \quad (5.26)$$

Определив

$$F_R = RR'' - \frac{4\nu}{R^2} R' - \frac{2\sigma}{\rho_L} \frac{1}{R^2}, \quad F_{R'} = 3R' + \frac{4\nu}{R}, \quad \frac{d}{dt} F_{R'} = 3R'' - \frac{4\nu}{R^2} R', \quad F_{R''} = R, \quad \frac{d^2}{dt^2} F_{R''} = R'',$$

и подставив в (5.26), получим уравнение вида

$$R^2 R'' = -\frac{2\sigma}{\rho_L}. \quad (5.27)$$

Сравнивая исходное уравнение (5.10) с (5.27) имеем квадратное уравнение относительно R'

$$\frac{p_B(t) - p_\infty(t)}{\rho_L} = \frac{3}{2} R'^2 + \frac{4\nu_L}{R} R' \quad (5.28)$$

и корни

$$R'_{1,2} = \frac{-\frac{4\nu_L}{R} \pm \sqrt{(4\nu_L/R)^2 + 6[p_B(t) - p_\infty(t)]/\rho_L}}{3}. \quad (5.29)$$

Очевидно, что положительный корень даёт меньшую скорость роста пузырька, чем по абсолютной величине даёт отрицательный корень, соответствующий ускоренному исчезновению пузырька (коллапсу). В первом случае рост парового пузырька происходит за счёт диффузии пара внутрь, естественно, при подогреве жидкости. Во втором случае источник тепла отключён, происходит конденсация охлаждающегося насыщенного пара и, в результате, пузырь быстро исчезает. Аналогичный анализ легко может быть произведён на основе вариационного уравнения Эйлера-Пуассона для случая паро-газового пузырька по уравнению (5.14). Только в этом случае, при большой концентрации газовой примеси в пузыре, он не схлопывается сразу после прекращения нагрева жидкости.

Опуская подробные выкладки, приведём уравнение максимали для паро-газового пузыря, обобщающее уравнение максимали (5.28) для чисто парового пузыря:

$$\frac{p_V(T_\infty) - p_\infty(t)}{\rho_L} = \frac{3}{2} R'^2 + \frac{4\nu_L}{R} R' + 2 \frac{G}{R^3}, \quad (5.30)$$

где $G = \frac{p_{G_0}}{\rho_L} R_0^3$.

3. В частности, устойчивость к несферическим возмущениям была исследована с чисто гидродинамической точки зрения Биркхоффом, [40], и Плессетом и Митчеллом, [41]. По существу, эти исследования были сферическим эквивалентом неустойчивости Релея-Тейлора; термические эффекты не принимались во внимание. Если инертность газа в пузыре допускается пренебрежимо малой, тогда амплитуда, $a(t)$, сферической гармоники деформации порядка n ($n > 1$) будет определяться уравнением

$$\frac{d^2 a}{dt^2} + \frac{3}{R} \frac{dR}{dt} \frac{da}{dt} - \left[\frac{(n-1)}{R} \frac{d^2 R}{dt^2} - (n-1)(n+1)(n+2) \frac{\sigma}{\rho_L R^3} \right] a = 0 \quad (5.31)$$

Отсюда следует, что наиболее неустойчивы случаи, при которых $dR/dt < 0$ и $d^2 R/dt^2 \geq 0$. Эти случаи бывают при коллапсе. С другой стороны, самые устойчивые состояния имеют место, когда $dR/dt > 0$ и $d^2 R/dt^2 < 0$; это случай, когда пузырьки достигают своего максимального размера. Общий случай уравнения (5.31) будет рассмотрен позднее.

VI. Энтропия (неаддитивная / неэкстенсивная) Цаллиса [22, 23].

6.1. Статья Цаллиса [22] об обобщении статистики Больцмана-Гиббса опубликована три десятилетия тому назад. Теория строится на основе введения нормализованной величины p_i^q , где p_i есть вероятность, связанная с событием, q – любое реальное число. Она используется им для обобщения стандартного выражения энтропии S в теории информации

$$S = -k \sum_{i=1}^W p_i \ln p_i, \quad (6.1)$$

где $W \subset \mathbb{N}$ есть полное число возможных (микроскопических) конфигураций и $\{p_i\}$ – ассоциированные вероятности. Для энтропии он даёт выражение

$$S_q \equiv k \frac{1 - \sum_{i=1}^W p_i^q}{q-1}, \quad (q \in \mathbb{R}); \quad (6.2)$$

где k – традиционная положительная постоянная, а $\sum_{i=1}^W p_i = 1$. Сразу же подтверждается, что

$$S_1 \equiv \lim_{q \rightarrow 1} S_q = k \lim_{q \rightarrow 1} \frac{1 - \sum_{i=1}^W p_i \exp[(q-1) \ln p_i]}{q-1} = -k \sum_{i=1}^W p_i \ln p_i, \quad (6.3)$$

Автор использовал для S_q -энтропии выражение типа “replica-trick” [22], удобное для применения правила Лопитала в нахождении предела (3), т.е. имеем

$$\lim_{q \rightarrow 1} \frac{1 - \sum_{i=1}^W p_i \exp[(q-1) \ln p_i]}{q-1} = \lim_{q \rightarrow 1} \frac{-\sum_{i=1}^W p_i \ln p_i (\exp[(q-1) \ln p_i])}{1} = -\sum_{i=1}^W p_i \ln p_i.$$

6.2. Микроканоническое распределение.

Максимизация энтропии Цаллиса (2) при условии $\sum_{i=1}^W p_i = 1$ введением множителя Лагранжа производится прямо для всех q в случае эквивероятности, то-есть $p_i = 1/W$. и следовательно

$$S_q = \frac{k}{q-1} \left(1 - \sum_{i=1}^W p_i \sum_{i=1}^W p_i^{q-1} \right) = \frac{k}{q-1} (1 - W^{1-q}) = k \frac{W^{1-q} - 1}{1-q}. \quad (6.4)$$

Отсюда (при $q \rightarrow 1$) сразу получается знаменитое распределение Больцмана

$$S_1 = k \ln W$$

Вопрос о применимости цаллевских новинок к конкретным случаям интересующих нас в связи с кипением чистой воды и растворов, представляет несомненный интерес.

6.3. Отклик на работу Цаллнса [23].

Существует концепция, что статистика Больцмана-Гиббса не может дать длиннохвостовое распределение. В этом состоит оправдание для интенсивного исследования неэкстенсивных энтропий (т.е. энтропии Цаллиса и др.). Каффри объясняет ошибочность этой концепции и показывает, что длиннохвостовое распределение в равновесной термодинамике существует более столетия. В макромире наблюдаются два типичных распределения. Первое – колоколообразная функция, которая есть результат канонического распределения, второе – длиннохвостовое распределение, которое является результатом степенного закона распределения. В то время как некоторые статистические величины являются колоколообразными (рост человека), многие другие, подобные человеческому богатству и др. имеют длиннохвостовое распределение. Длиннохвостовое распределение является таким же общим в природе, как и колоколообразное распределение. Существует довольно распространённая уверенность, что длиннохвостовое распределение не может быть получено из равновесной термодинамики. Причина такой неправильной концепции состоит в способе вывода канонического распределения, а именно в нахождении функции как

$$f(p_i) = \sum_{i=1}^W p_i \ln p_i + \alpha \sum_{i=1}^W p_i + \beta \sum_{i=1}^W p_i N_i . \quad (6.5)$$

Производная $\partial f(p_i) / \partial p_i = 0$ даёт каноническое распределение. Здесь p – вероятность, E – энергия, α и β – лагранжевы множители и W – число микросостояний. Уравнение (6.5) кажется точным, так как первый член на "правой стороне представляет энтропию Гиббса (-), второй член эквивалентен полному числу частиц, а третий член представляет полную энергию системы. С первого взгляда аппроксимации сделаны, и следовательно, единственно возможное решение, которое максимизирует энтропию для данного числа частиц и данного количества энергии есть каноническое распределение [42]. Это подразумевает, что нет способа получить степенной закон распределения максимизацией энтропии Больцмана-Гиббса [22]. В этом по-видимому причина огромных усилий, затраченных на "обобщение" второго закона термодинамики. Идея состояла в том, чтобы так изменить концепцию энтропии, чтобы уравнение (6.5) дало бы степенной закон распределения. В этом оправдание для энтропии Цаллиса [22], энтропии Реньи [43] и многих других. Энтропия Цаллиса неэкстенсивна, что означает, что система в неравновесном состоянии. Физическое объяснение неэкстенсивности – в дальнего радиуса взаимодействия, которая также подразумевает потерю равновесия. Следовательно, принятая энтропия означает отказ от самой важной концепции термодинамики, а именно – тенденции любой системы достигать равновесия. Другими словами, неэкстенсивность означает отказ от второго закона термодинамики всецело! Далее показывается, что допущение, что каноническое распределение является единственным решением, которое максимизирует энтропию Больцмана-Гиббса по принуждению уравнения (6.5), ошибочно. Уравнение (6.5) следует записывать в виде

$$f(p_i, p_j) = \sum_{i=1}^W p_j \ln p_j + \alpha \sum_{i=1}^N p_i + \beta \sum_{i=1}^N p_i E_i \quad (6.6)$$

То есть, энтропию следует суммировать по всем возможным различным конфигурациям W ансамбля (микросостояниям). Однако, суммирование по энергиям следовало бы производить по состояниям N , так как распределение, которое мы ищем, является распределением энергии между состояниями, но не микросостояниями (все микросостояния имеют одинаковую энер-

гию!). Обычно, W и N различные числа. Ансамбль из N состояний и P частиц, где $P < N$, и не более, чем одной частице разрешается пребывать в некоем состоянии, имеет число конфигураций

$$W(P, N) = \frac{N!}{(N - P)!P!}. \quad (6.7)$$

Применяя формулу Стирлинга и используя энтропию Больцмана $S = \ln W$, получаем, что

$$S \cong -N\{p \ln p + (1 - p) \ln(1 - p)\}, \quad (6.8)$$

В приближении $p \ll 1$, $(1 - p) \ln(1 - p)$ исчезает, а выражение $-\sum_{i=1}^N p_i \ln p_i$ есть энтропия.

В этом случае уравнение (6.6) будет вида $f(p_i) \cong \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i + \alpha \sum_{i=1}^N p_i + \beta \sum_{i=1}^N p_i E_i$ и даёт каноническое распределение.

Заключение на этот счёт состоит в том, что каноническое распределение не есть закон природы, и что существуют лишь системы со слабой степенью заполненности. Поскольку уравнение (6.5) не всегда верно, правильный путь поиска других распределений состоит в том, чтобы рассчитать число микросостояний и их вероятности, что лучше, чем менять выражение для энтропии. Далее показывается, что фактически степенной закон распределения и соответствующая статистика существуют в физике более века. В общем случае (пренебрегая вырождением), мы должны посчитать все конфигурации P частиц в N состояниях для любого значения p (здесь мы заменили символ p символом n , т.к. $P/N > 1$). Мы следуем по стопам конструктивной работы Планка 1901 г. [44], именно,

$$W(P, N) = \frac{(N + P - 1)!}{(N - 1)!P!} \quad (6.9)$$

Мы опять применяем формулу Стирлинга, как это было сделано Планком и получаем, что $S \cong N\{(n + 1) \ln(n + 1) - n \ln n\}$ или в гиббсовском формализме

$$S = -\sum_{j=1}^W p_j \ln p_j \cong -\sum_{i=1}^N \{n_i \ln n_i - (n_i + 1) \ln(n_i + 1)\} \quad (6.10)$$

(Можно называть эту формулу решением Планка). Если $n \ll 1$, мы вновь получаем, что энтропия есть, и, следовательно, каноническое распределение энергии получается, как частный случай. Так как теперь n интерпретируется как число, а не как вероятность, мы опускаем второй член в уравнении (6.6). Подставляя значение энтропии из (6.10) в уравнение (6.6),

$$f(n_i) \cong -\sum_{i=1}^N \{n_i \ln n_i - (n_i + 1) \ln(n_i + 1)\} + \beta \sum_{i=1}^N n_i E_i, \quad (6.11)$$

получаем уравнение Планка, то есть,

$$n_i = \frac{1}{e^{\beta E_i} - 1}. \quad (6.12)$$

Подобным образом, подставляя рассчитанное число микросостояний из уравнения (6.9) в уравнение (6.11), получаем распределение Ферми-Дирака. Мы обозначили $\Phi_i = \beta E_i$ и построили график $\ln n_i$ против $\ln \Phi_i$, из которого хорошо видно, что при $n > 1$, уравнение Планка даёт

степенной закон распределения с наклоном -1 . Когда число частиц превышает число состояний (высокая степень размещения), получается низкая степень размещения, а при низкой степени размещения получается каноническое распределение. В классическом приближении Релея-Джинса распределение фотонов в радиационной моде есть длиннохвостовое распределение. Фактически та же статистика была использована при выводе закона Бенфорда и распределения богатств [45-47].

ПРИЛОЖЕНИЕ

Ниже приводится Информация GESJ: Physics 2011 | No. 2(6) о работе Д. Вашакмадзе и полный текст её статьи [31]

II 1. Информация GESJ: Physics 2011 | No. 2(6) ISSN 1512-1461 3.

D. T. Vashakmadze. Knot Theory and Particle Physics

St. Andrew the First Called Georgian University of The Patriarchy of Georgia Abstract. In this work (representing also enlarge version of [30] our preliminary article “Knot Theory and Particle Physics” published in the “Proceed. of VIAM”, v. 44,1992) an attempt is made to do topological interpretation of quantum numbers (s, Q, B, S, J) and discrete symmetries (C, P, CP) of particles. As a result a topological “diagram” is obtained, which can be “read” as Gell-Mann-Nishijima rule. In the last part a sequence of co-homological groups describing hierarchy of anomalies well-known in QFT is interpreted as a certain sequence of co-homological groups for cut knots. Further the topological singularity model for elementary particles is proposed. A particle is identified with a branching set of the 3- dim space, which is in general a knotted S1-sphere. As application in the last part Knotted singularity model for elementary particles is proposed and hence some consequences for cosmology are obtained which are in good agreement with the recent astronomical data.

II 2. D. Vashakmadze. From “Knotted particles” to Some Cosmological Problems [31].

Knots play fundamental role in the modern topology, as in the theory of 3-dimension manifolds. The idea of imaging particles as knots was developed among some others in the widely-referenced papers by Faddeev and Niemi, where also a rich bibliographical data in this direction is provided (for example [48]).

We started to look for analogies as early as in 1992 [30], where we considered wild and non-invertible knots, defined knot as a particle, considering the knot as a branching set of some 3-dim. Manifold over sphere S_0^3 . Even more precisely – in our scenario a particle is a branching set for the physical space, where the total topology of space is homeomorphic to H^3 , we follow the action of universal group U [49-51] (introduced by Thurston [52]) on hyperbolic space for any closed and oriented 3-manifold. M^3 there is a finite subgroup $G \leq U$ such that M^3 is homeomorphic to H^3/G . The fundamental polyhedron corresponding to this universal group is a regular hyperbolic dodecahedron with dihedral right angles, where identification occurs by some group $G \subset IsomE^3$, and the orbit space is S^3 with the singular set Σ – Borromean rings. Then any 3D manifold is a branched covering of S^3 with Σ . This group is generated by $\pi/2$ rotating around the axes taken for each of the three pairs of opposite edges of any one dodecahedron on which can serve as a fundamental domain. An important property (for us) is the fact that for the families of surfaces which are formed by the left-invariant (under the action of group U) faces of dodecahedron each two do not cross, or cross at right angles (see Fig. 1). Generators of group U have the following form as shown in (4)

$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 - iR + iR^2 & -iR - iR^2 - iR^3 \\ 1 - 2iR + iR^3 & 1 + iR - iR^2 \end{bmatrix},$$

$$B = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 - R + R^2 & 1 - R + R^2 \\ -R - R^2 + R^3 & 1 + R - R^2 \end{bmatrix},$$

$$C = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 + R - iR^2 & -i - 2iR - iR^3 \\ 1 - R + R^2 & 1 - R + iR^2 \end{bmatrix}.$$

We will denote by U-quantization the action of U on H3. We also *postulate* that:

(*) To the propagation of electromagnetic waves in vacuum corresponds topological U-quantization of given set of space.

Now we state volume some correspondences following from (*): (1) The photons can only travel on the U-invariant Euclidean sub-manifold of H3; (2) The Relic Background Radiation is interpreted as a consequence of global topological quantizations of the H3 Topological Bang, which occurred to a non-quantized space; (3) Considering the volume of a single quantum of this space – the hyperbolic volume of a hyperbolic dodecahedron where we take it approximately to be equal to a sphere of radius $r = \alpha$, where α is the half-axes of the dodecahedron $R/\alpha = 1.27$ cm (see [50, 53]):

$$V_{hyper} = 4\pi \left(\frac{r(1+r^2)}{(1-r^2)^2} - \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \right).$$

One can calculate that respect to Euclidian sphere the hyperbolic volume will be about 44 times more so, the volume of observed space is only 3% of the whole hyperbolic space H3. As known, in order to obtain the critical value of the density of matter in the universe (needed to explain its flatness) it became necessary to introduce dark energy together with the dark mass both of which provide for the missing 95 % of the whole mass of the universe. But according to (*) the optically observed Universe will always result Euclidean, while the non-zero vacuum energy can be interpreted as hidden hyperbolicity of the topologically quantized space.

The trajectory of a photon-localized in space (as in atom) will take form of Borromean Rings as the Euclidean lines – the axes of the rotations generation of the universal group for the covering $n^3/u \rightarrow S^3 \setminus B$ will cover the Borromean Rings infinite number of times. The Field particles such as W^+ , W^- , Z^0 – Bosons of the Electro-weak theory are described by Universal knots. So weak decays of the type $A \rightarrow BF$ (for instance, $(n^0 \rightarrow p^+ w^-)$) are viewed as a transformation of a manifold $M_0^3 = S^3 \setminus k_\Delta$ in to a manifold $M_0^3 = S^3 \setminus k_\beta$ because every closed oriented 3-manifold can be obtained from a finite set of dodecahedra by pasting along pentagonal faces in pairs.

We conjecture the existence of the following group-type structure which includes leptons and gauge vector bosons (some unknown definitions are from [30]):

$$\{G^*\} = \{e, \nu_e, \bar{e}, \bar{\nu}_e, \mu, \bar{\nu}_\mu, \tau, \nu_\tau, \bar{\tau}, \bar{\nu}_\tau, W^-, W^+, Z^0\}.$$

Then the expression for the processes of the type $[g(i)g(k)(-1)] = K$, where whole K is a subgroup of G^* , will divided G^* in the equivalence classes $\{\alpha, \{\beta\}, ang\{g\}\}$ respect to the semi group $F = \{W^-, W^+, Z^0\}$. According to E. Noether theorem this division induces a natural homomorphism of the G^* on to a group Γ – where the non-identity elements of the group Γ are homeomorphic images of the lepton generations. Suppose that the complementary spaces for proton and neutron $S^3 \setminus k_p$ and $S^3 \setminus k_n$ are covering spaces for the same M_0^3 (Fig. 5) [51], but there is a perturbation in the covering group

of the neutron, which means, that for an ensemble of N neutrons, $N \gg 1$, a single branching of the universal covering space for N neutron wave function includes the leaves of different copies of $S^3 \setminus k_{(n^0)}$, as can be illustrated by the analogy with the Kantor type Wild Knot (Fig. 3) [54], then in the remaining neutrons will be $1 + 2 + \dots + 2^{k-1} \approx 2^k$. Here we note that in 1957 Everett introduced the concept of a branched wave-function, to explain the probability nature of the particle decay; introducing a many world interpretation of quantum mechanics, when for all moments when the neutron can decay, there is one copy of the universe, where this really happens (Fig. 2). We also underline the affinity of this concept to the theoretical bases of which is at the origin of very interesting for us experiments by M. Berry. Here we quote the branching of the dislocation loop of the wave-function. The phase-surface of monochromatic light see for instance Fig. 6.

LATEST TRENDS on SYSTEMS (Volume II)

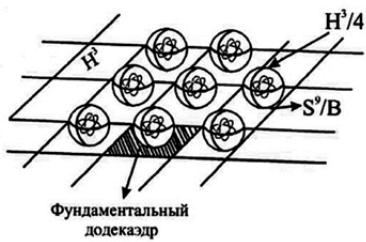


Fig. 1. Acting of group U on space $H(3)$

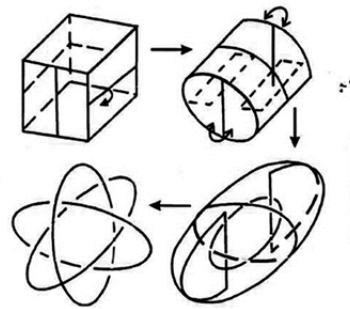


Fig. 2. The image of the axes of rotation is the Borromean rings.

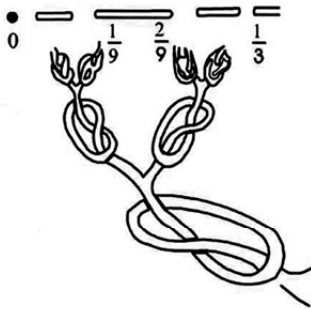


Fig.3. Branching of neutrons wave-function

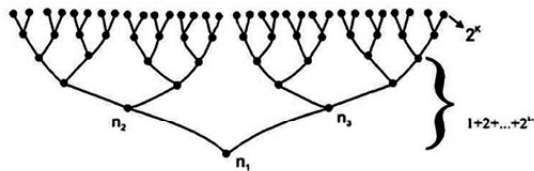


Fig. 4. N-particle wave-function of neutrons

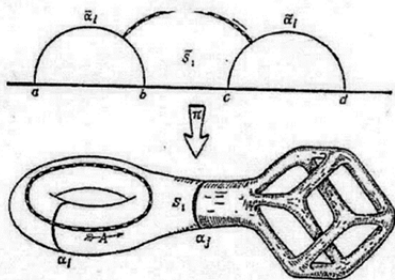


Fig. 5. Perturbation in the covering group. Picture by George Francis

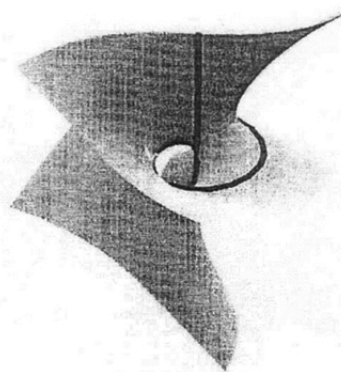


Fig. 6. Phase surface M. Berry.

It is natural to ask does this topological bang scenario have any advantages respect to traditional big bang theory. One can easily see that for the topologically quantized universe the problems of homogeneity and horizon can be solved without the help of the inflationary theory if one desires of course. Secondly the large-scale structure of the universe such as filamentary distribution of ordinary matter and structure like Sloan-Great Wall follow naturally from *postulate (*)*. At last I would be express my great gratitude to my scientific consultant Academician Sergei Novikov for his attention to my work and Sofo Burjanadze, who helped me in writing down this article.

Литература

1. Гиббс Дж. В. Термодинамика. Статистическая физика. М.: Наука, 1982, 584 с .
2. Van-der-Waals. Die Continuitat des gasformigen u. flussigen Zustandes. Leipzig, Barth, Auflage II, 1899.
3. Френкель Я. И. Кинетическая теория жидкостей. Л.: Наука, Лен.Отд., 1975, 592 С.
4. Зельдович Я. Б. К теории образования новой фазы. Кавитация. ЖЭТФ, 1942, Вып. 11-12, с. 525-538.
5. Dergarabedian P. The rate of growth of vapor bubbles in superheated water. ASME J. Appl. Mech. 1953, v. 20, pp. 537-545.
6. Каган Ю. О кинетике кипения чистой воды. Ж. Физ. Хим., 1960? Т. XXXIV, № 1, с. 92-101.
7. Скрипов В. П. Метастабильные жидкости. М.: Наука, ГРФМЛ, 1972, 312 с.
8. Brennen Chr. E. Cavitation and bubble dynamics. Oxford University Press, 1995, 64 p.
9. Boubnov B. M., Golitsyn G. S. Convection in rotating fluids. J. Fluid Mech., 1995, v. 219, pp. 215-239.
10. Carey V. P. Liquid-vapour phase-change phenomena. Hemisphere Publ. Co., 1992.
11. Ceccio S. L., Brennen C. E. Observations of the dynamics and acoustics of travelling bubble cavitation. J. Fluid Mech., 1991, v. 233, pp. 633-660.
12. Gvelesiani A. I. To the problem of one-dimensional two-phase/many-component flow in different geophysical mediums. The Journal of the Georgian Geophysical Society, 2013, v.16B, pp. 119-128.
13. Gvelesiani A., Chiabrishvili N. Laboratory modeling of thermals generation in geophysical environments by bubble boiling method. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2013, v. 16B, pp. 128-136.
14. Gvelesiani A., Chiabrishvili N. Additional experiments about investigation of the peculiarities of the bubble boiling of clear water, H₂O, and sugar, C₁₂H₂₂O₁₁, and edible salt, NaCl, water solutions of different densities. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2014, v.17A, pp. 132-139.
15. Gvelesiani A. Open thermodynamic systems: convection and similar processes modeling by the only fluids bubble boiling method. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2014, v.17B, pp. 38-57.
16. Gvelesiani A., Chiabrishvili N. Definition of admixture mass content density of Tbilisi thermal waters by the original fluids bubble boiling laboratory method. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2015, v.18B, pp. 52-63.
17. Gvelesiani A. On the characteristic functions of different kind thermodynamic systems: theory, experiment and observation. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2016, v. 19 B, pp. 3-17.
18. Gvelesiani A. On the geometric formalism of thermodynamics: In the context of liquid bubble-boiling and matter glassy state. Journal of the Georgian Geophysical Society, 2017, v. 20 B, pp. 3-12.
19. Shekrladze I. Boiling heat transfer: Convection controlled by nucleation. INTECH, 2018.
20. Moore F. D., Mesler R. B. The measurement of rapid surface temperature fluctuations during nucleate boiling of water. American Institute of Chemical Engineers Journal, 1961, v. 7 (5), pp. 620-624.
21. Wang H., Peng X. F., Christopher D. M., Garimella S. V. Jet flows around microbubbles in sub-cooled boiling. Journal of Heat Transfer. 2005, v. 127, p. 802.

22. Tsallis C. Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *Journal of Statistical Physics*, 1988, v. 52, Nos. 1 / 2, pp. 479-487.
23. Kafri O. A comment on nonextensive statistical mechanics. *INTERNET, New Entropy*, 4 P.
24. Тамманн Г. Стеклообразное состояние. М. – Л.: ОНТИ ГРОТЛ, 1935, 138 с.
25. Тамманн Г. Руководство по гетерогенному равновесию. Л.: ОНТИ ХТ, 1935, 328 с.
26. Габарашвили Т. Г., Гвелесиани А. И. Об особенностях замерзания переохлаждённых капель воды, сталкивающихся с градиной в электрическом поле. *Изв. АН СССР, ФАО*, 1970, т. VI, N 9, с. 960 – 964.
27. Гзиришвили Т. Г., Карцивадзе А. И., Окуджава А. М. Гетерогенная нуклеация льда. Тбилиси: Мецниереба, 1984, 140 с.
28. Gvelesiani A. On the hierarchy of mesoscale vortexes in the turbulent media. *Reports of Enlarged Session of the Seminar of I. Vekua Institute of Applied Mathematics*, 2013, v. 27.
29. Shekrladze I. Laminar-turbulent transition as a discharge of eddy metastability of shear flow. *Georgian Technical University Tbilisi, Georgia (A brief outline of the lecture)*, 2018, 8 p.
30. Vashakmadze D. Knot theory and Particle Physics. *Proceed. Inst. Appl. Math.*, 1992, v. 44, pp. 128-158.
31. Vashakmadze D. From “knotted particles” to some cosmological problems. *Latest Trends on Systems (Volume II). 14th WSEAS International Conference on Systems (Part of the 14th WSEAS CSCC Multiconference (Volume II)). Corfu Island, Greece, July, 22-24, 2010*, pp. 366-369.
32. Faddeev L. Knotted solutions and their physical applications. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 2001, pp. 1399-1403.
33. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика, т. II. М.-Л.: ОГИЗ, 612 с.
34. Rayleigh, Lord. On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity. *Phil. Mag.* 1917, v. 34, pp. 94-98.
35. Plesset M. S. The dynamics of cavitation bubbles. *ASME, J. Appl. Mech.*, 1949, v. 16, pp. 228-231.
36. Plesset M. S., Zwick S. A. A nonsteady heat diffusion problem with spherical symmetry. *J. Appl. Phys.*, 1952, v. 23, No. 1, pp. 95-95.
37. Эльсгольц Л. Э. Вариационное исчисление. М.: ГИТТЛ, 1958, 164 с.
38. Theofanous T., Biasi L., Isbin H. S., Fauske H. A theoretical study on bubble growth in constant and time-dependent pressure fields. *Chem. Eng. Sci.*, 1969, v. 24, pp. 885-897.
39. Gvelesiani A. On the growth of vapour bubble in metastable liquid as variational problem. *Journal of the Georgian Geophysical Society*, 2018, v. 21 B (В печати).
40. Birkhoff G. Note on Taylor instability. *Quart. Appl. Math.*, 1954, v. 12, pp. 306-309.
41. Plesset M. S., Mitchel T. P. On the stability of the spherical shape of a vapour cavity in a viscous fluid. *Quart. Appl. Math.*, 1956, v. 13, No. 4, pp. 419-430.
42. Back C. Generalize information and entropy in physics. *Arxiv: 0902.1235*.
43. Lenzi E. K. et. al. Statistical mechanics based on Renyi entropy. *Phisica A*, 2000 v. 280, p. 337.
44. Planck M. On the law of distribution of energy in the normal spectrum. *Annalen der Physik*, 1901, v. 4, p. 553.
45. Kafri O. The second law as a cause for the evolution. *Arxiv: 0711.4507*.
46. Kafri O. Sociological inequality and the second law. *Arxiv: 0805.3206*.
47. Kafri O. Entropy in direct derivation of Benford's law. *Arxiv: 0901.3047*.
48. Faddeev L. Knotted solitons and their physical applications. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A*, 2001, pp. 1399-1403.
49. Hilden H. M., Lozano M. T., Montesinos J. M. On the universal group of the Borromean rings. *Lecture Notes, Mathematics*, v. 820, Springer-Verlag, 1989, pp. 1-13.
50. Hilden H. M., Lozano M. T., Montesinos J. M., Written W. C. On the universal groups and three-dim. manifolds. *Invent. Math.*, 1987, v. 87, pp. 441-456.
51. Abikoff W. The real-analytic theory of Teichmuller Space. Springer-Verlag, Bern / Heidelberg / New York, 1980.

52. Thurston W. The geometry and topology of three-dimensional manifolds. Princeton Press Preprint, 1996.
53. Elstrodt J., Grunewald F. Mennicke groups acting on hyperbolic space. Springer, 1997.
54. Sossinsky A. Nodi genesi di una teoria matematica. Bollati Boringhieri, 2000.

გეოფიზიკური თერმოდინამიკური სისტემების სტატისტიკური და სითბური თვისებები

გველესიანი ა.

რეზიუმე

მოყვანილია ახალი შედეგები საკუთარი თეორიული და ექსპერიმენტული კვლევების მეტასტაბილურ სითხეში ორთქლის ბუშტების წარმოშობის და ზრდის პროცესის ფეთქებადი მსხვილბუშტოვანი დუდილის რეჟიმის მიღწევამდე. პირველადაა განხილული მეტასტაბილურ სითხეში ორთქლის ბუშტის ზრდის რელიე-პლესეტის განტოლება როგორც ვარიაციული ამოცანა. მიღებული დიფერენციალური განტოლებები საშუალებას იძლევა დადგინდეს ვარიაციული ამოცანის სათანადო ექსტრემალეები.

Статистические и тепловые свойства параметров геофизических термодинамических систем

Гвелесиани А. И.

Реферат

Рассматриваются результаты собственных новых экспериментальных и теоретических работ по проблеме генерации и дальнейшего роста пузырьков пара в метастабильных жидкостях вплоть до взрывного макробуритного кипения жидкости. Обсуждаются также соответствующие результаты известных исследований других авторов. Сначала обобщенное уравнение Рэлея-Плессета рассматривалось как вариационная задача. Полученные дифференциальные уравнения позволяют найти экстремали рассмотренных вариационных задач.

Statistical and thermal properties of geophysical thermodynamic systems

Gvelesiani A. I.

Abstract

It is considered results of own new experimental and theoretical works on the problem of generation and further growth of the vapour bubbles in the methastable liquids right up to explosive macro-bubble boiling of the liquid. Corresponding results of well-known investigations of other authors are also discussed. First the generalized equation of Rayleigh-Plesset considered as variational problem. Obtained differential equations allow us to find the extremals of considered variational tasks.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЫЛИ Г. ЗЕСТАФОНИ ПРИ ФОНОВОМ ЗАПАДНОМ ТИХОМ, СЛАБОМ И СВЕЖЕМ ВЕТРАХ

^{1,2}Сурмава А. А., ³Гигаури Н. Г., ³Гвердцители Л. В., Инцкирвели Л. Н.

¹*Институт геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета
им. Ив. Джавахишвили, Тбилиси, Грузия. E-mail: aasurmava@yahoo.com .*

²*Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета, Тбилиси, Грузия.
E-mail: intskirvebi2@yahoo.com*

³*Грузинский технический университет, Тбилиси, Грузия. E-mail: natiagigauri18@yahoo.com.*

1. Введение

Загрязнение объектов природной среды и связанное с ним здоровье населения остаётся одним из важных проблем всего мира, и Грузии в частности. Экологическое состояние природной среды является особенно неудовлетворительным в тех районах, где расположены крупные промышленные объекты. Г. Зестафони и прилегающие к нему территории относятся к числу таких регионов. Там расположен объект тяжёлой металлургии – завод ферросплавов и ряд средних и мелких объектов этого профиля. Множество крупных и мелких транспортных средств движется по Транс-кавказской магистрали, которая является частью Большого шёлкового пути и проходит через г. Зестафони. В результате, в атмосферу поступает большое количество пыли и другие аэрозоли.

Зестафонский регион, кроме индустриального и административного назначения имеет экономическое, культурно-рекреационное и туристическое назначение. Он известен как производитель высококачественных шампанских и сухих вин, в радиусе 50 км расположены курортные центры гг. Цхалтубо и Саирме, Боржоми-Харагаульский и Аджаметский национальные парки, пещеры Сатаплиа и Промете и др. Поэтому, исследование уровня загрязнения атмосферы и распространение пыли на территории Зестафонского региона имеет важное значение.

Одним основным направлением исследования загрязнения атмосферы является разработка математических моделей распространения субстанции в сплошной среде и их численное интегрирование. Особенно надо отметить полуэмпирическую теорию [1, 2], на базе которой разработано руководство [3], которое широко используется на практике в постсоветском пространстве.

В [4-8] разработаны нестационарные трёхмерные модели перенос-диффузии вещества в атмосфере и методы их интегрирования. Модели описывают процессы распространения, динамики и кинетики малых примесей и твердых аэрозолей в атмосфере.

Разработанные модели широко используются для решения многих практических экологических проблем. Среди них следует отметить исследование распространения отравляющих газов [9, 10], твердых аэрозолей, образовавшихся в результате лесных пожаров [11-13] на сложных [14-17] и урбанизированных территориях [18].

2. Постановка задачи

В представленной работе численно моделируется и исследуется распространение и распределение пыли г. Зестафони в случае фонового западного ветра в атмосфере прилегающей территории с площадью $94.4 \times 72 \text{ км}^2$. Регион имеет сложный рельеф. С севера, юга и востока

раположены Имеретинский, Гурийский и Лихский хребты, соответственно, а с запада – Колхидская низменность. Высота рельефа изменяется от 50 м до 2.5 км.

Для моделирования гидрометеорологических полей и распределения пыли в атмосфере над сложной орографией используется следующая рельефу вертикальная координата и система уравнений [19]:

а) для тропосферы:

$$\begin{aligned}
 \frac{du}{dt} &= -\frac{\bar{P}}{\bar{\rho}} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + lv + g(1+0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial x} + \mu \tilde{\Delta} u + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial u}{\partial \zeta}, \\
 \frac{dv}{dt} &= -\frac{\bar{P}}{\bar{\rho}} \frac{\partial \varphi}{\partial y} - lu + g(1+0.61q)\vartheta \frac{\partial z}{\partial y} + \mu \tilde{\Delta} v + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial v}{\partial \zeta}, \\
 \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} &= \frac{g}{RT} (1+0.61q)\vartheta h, \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial u h}{\partial x} + \frac{\partial v h}{\partial y} + \frac{\partial \tilde{w} h}{\partial \zeta} + \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dz} w h = 0, \\
 \frac{\partial \vartheta'}{\partial t} + u \frac{\partial \vartheta}{\partial x} + v \frac{\partial \vartheta}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial \vartheta}{\partial \zeta} + S w &= \mu \tilde{\Delta} \vartheta + \frac{1}{\rho h^2} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial \vartheta}{\partial \zeta} + \frac{L}{\rho C_p} \Phi_{con} - \frac{\partial \vartheta}{\partial t}, \\
 \frac{\partial q'}{\partial t} + u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial q}{\partial \zeta} &= \mu \tilde{\Delta} q + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \zeta} \rho v \frac{\partial q}{\partial \zeta} + \Phi_{con} - \frac{\partial Q}{\partial t}, \\
 \frac{\partial m'}{\partial t} + u \frac{\partial m}{\partial x} + v \frac{\partial m}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial m}{\partial \zeta} + w_0 \frac{\partial m}{\partial z} &= \mu \tilde{\Delta} m + \frac{\partial}{\partial \zeta} \frac{\partial m}{\partial \zeta} + \Phi_{con} - \frac{\partial M}{\partial t} - \frac{\partial N}{\partial t}, \\
 \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} \\
 w &= \frac{\partial z}{\partial t} + u \frac{\partial z}{\partial x} + v \frac{\partial z}{\partial y} + \tilde{w} h, \quad \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + \tilde{w} \frac{\partial}{\partial \zeta}, \quad \Delta = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2},
 \end{aligned} \tag{1}$$

б) для активного слоя почвы:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} D(c) \frac{\partial C}{\partial z} - \frac{\partial E(c)}{\partial z}, \quad \frac{\partial T_s}{\partial t} = K_s \frac{\partial^2 T_s}{\partial z^2}, \quad \text{при } 0 > z > Z_s, \tag{2}$$

где t – время; x , y и z – оси декартовых координат, направленные на восток, север и вертикально вверх, соответственно; $\zeta = (z - \delta)/h$ – безразмерная вертикальная координата; δ – высота рельефа; $h = H - \delta$; $H(t, x, y)$ – высота тропопаузы; u , v , w и \tilde{W} – составляющие скорости ветра вдоль осей x , y , z и ζ , соответственно; $\vartheta = T'/\bar{T}$, $\varphi = P'/\bar{P}(z)$ – аналоги температуры и давления, соответственно; $\bar{T} = 300K$; T' , P' – отклонения температуры и давления от стандартного вертикального распределения $T(z) = \bar{T} - \gamma z$ и $\bar{P}(z)$, соответственно; γ – стандартный вертикальный градиент температуры; ϑ и θ – аналог температуры и фоновое значение аналога температуры, соответственно; $\vartheta' = \vartheta - \theta$; q и Q – массовая доля водяного пара и фоновая массовая доля водяного пара, соответственно; $q' = q - Q$; m и M – массовая доля облачной воды и фоновая массовая доля облачной воды, соответственно; $m' = m - M$; T_s – температуры почвы; C – концентрация пыли в атмосфере; $\rho(z)$ – стандартное вертикальное распределение плотности сухого воздуха; g – ускорение свободного падения; R – универсальная газовая постоянная для сухого воздуха; C_p – удельная теплоёмкость сухого воздуха при постоянном давлении; S – параметр термической устойчивости; L – скрытая теплота конденсации; Φ_{con} – скорость конденсации; μ – коэффициент горизонтальной турбулентности; ν –

коэффициент вертикального турбулентного обмена; $\partial N / \partial t$ – интенсивность выпадения осадков; D – коэффициент диффузии воды в почве; E – коэффициент фильтрации воды в почве; K – коэффициент теплопроводности в почве; $Z_s = 2$ м глубина почвы..

Коэффициент горизонтальной турбулентности определяется с помощью формулы $\mu = \Delta x \Delta y \sqrt{2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2}$, коэффициент вертикальной турбулентности выше приземного слоя атмосферы и определяется по формуле $\nu = (0.05 \Delta z)^2 \sqrt{\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 - \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z}}$. В приземном слое воздуха метеорологические поля и коэффициент вертикальной турбулентности определяются с помощью метода параметризации [20]:

$$\frac{\partial |\vec{u}|}{\partial z} = \frac{u_*}{\chi z} \varphi_u(\zeta), \quad \frac{\partial p}{\partial z} = \frac{p_*}{z} \varphi_p(\zeta), \quad (p_* = \vartheta, q), \quad \zeta = \frac{z}{L}, \quad L = \frac{u_*^2}{\lambda \chi^2 \vartheta_*^2}, \quad (4)$$

$$|\vec{u}| = \frac{u_*}{\chi} f_u(\zeta, \zeta_u), \quad p - p_0 = p_* f_p(\zeta, \zeta_p), \quad \zeta_u = \frac{z_u}{L}, \quad \zeta_p = \frac{z_0}{L}, \quad \text{если } z \leq z_{sur},$$

где z_u - шероховатость; z_p - параметр, который зависит от свойства подстилающей поверхности и является известной функцией; z_{sur} и z_0 – известные постоянные; u_* – динамическая скорость; λ и χ параметры плавучести и постоянная Кармана; $\varphi_u(\zeta)$, $\varphi_p(\zeta)$, $f_u(\zeta, \zeta_u)$ и $f_p(\zeta, \zeta_p)$ являются универсальными функциями теории подобия.

Фоновые значения полей температуры и давления выбраны так, чтобы моделировать обтекание рельефа восточными стационарными фоновыми ветрами. Скорости фоновых ветров на уровне приземного слоя атмосферы ($z = 100$ м от поверхности земли) равны 1; 5 и 10 м/с для тихого, слабого и свежего ветров, соответственно. С удалением от поверхности земли скорость ветра растёт и на высоте 9 км равна 20 м/с. Фоновое значение относительной влажности равно 40 %, фоновое значение массовой доли водности равно нулю.

Источником загрязнения является городская пыль. Её максимальная среднемесячная одноразовая концентрация на высоте 2 м на территории г. Зестафони, по данным Национального агентства окружающей среды Грузии, равна 0.8 мг/м^3 [21].

Численное интегрирование уравнений (1) осуществлено с помощью схемы Ф. Шумана и Л. Говермейла [22], а уравнений (2) – с помощью схемы Кранка-Никольсона и метода расщепления [23]. Использована прямоугольная конечно – разностная сетка, с горизонтальными шагами 800 м и вертикальным шагом 1/31. Высота приземного слоя равна 100 м от уровня почвы. В приземном слое атмосферы количество вертикальных уровней равно 17, а вертикальный шаг сетки меняется от 2 м до 15 м. Шаг по времени равен 10 сек.

3. Результаты моделирования

На рис. 1 показаны рассчитанные концентрации пыли на уровнях $z = 2, 100, 600$ и 1000 м от поверхности земли, полученные при $t = 24$ час в случае фонового тихого западного ветра. Концентрации пыли даны в единицах предельно допустимой концентрации (пдк) Для пыли пдк = 0.5 мг/м^3 . Из рис. 1 а, б видно, что на высоте 2 и 100 м концентрация максимальна в пределах города и в непосредственной его близости. Облако пыли в приземном слое атмосферы имеет цилиндроподобную форму, которая деформирована в северном и южном направлениях. На высоте 2 м наибольшее значение концентрации 1-2 пдк получен на территории около 12 км^2 . С удалением от поверхности земли эта зона уменьшается и на высоте 100 м становится равной 3 км^2 .

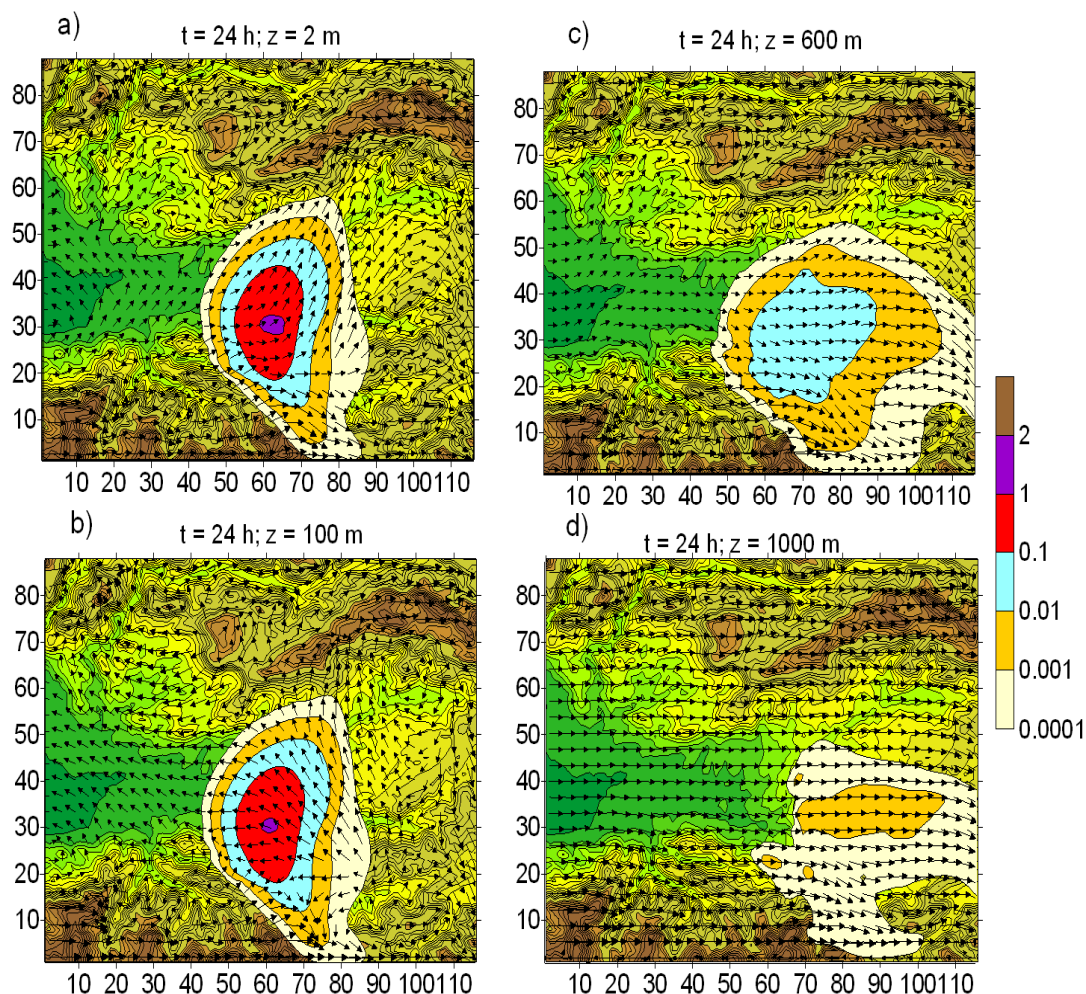


Рис. 1. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) на высотах $z = 2, 100, 600$ и 1000 м в случае фонового тихого ветра при $t = 24$ час.

Городская пыль, распространена как вдоль локального ветра, так и в противоположном направлении. В приземном слое динамическое сопротивление рельефа с фоновым потоком приводит к изменению направления ветра, усилению течения вдоль межхребетных ущелий и распространению пыли вдоль рек Квирила и Чхеримела. В наветренной к городу стороне пыль переносится за счёт горизонтального турбулентного перемешивания. Выше приземного слоя воздуха преобладающим становится адвективный перенос пыли и она распространена на значительном расстоянии от города (рис. 1 с, d).

На рис. 2 показаны поля скорости ветра и концентрации пыли в XOZ плоскости, проходящей через город в пограничном трёхкилометровом слое атмосферы. Из рис. 2 видно, что городская пыль рассеяна в области толщиной 2 км. Концентрация 0.1-1 пдк получена в слое толщиной и длиной равным около 0.8 км и 12 км, 0.01-0.1 пдк – в слое толщиной 1.2 км и длиной 20 км, а 0.001-0.01 пдк в слое толщиной 2 км и длиной 30 км. На наветренной городу стороне пыль диссипирована на расстояние около 6 км. В вертикальном плане зона максимальной концентрации находится в центре облака пыли и постепенно уменьшается к перифериям.

В случае фонового слабого ветра пыль распространена на значительно большем расстоянии от города, чем в случае фонового тихого ветра (рис. 3). При этом, пыль распространена как вдоль фонового течения, так и в поперечном направлении. Меридионально ориентированный Лихский хребет заставляет растечься воздушному потоку в меридиональном направлении. В результате растёт горизонтальный градиент скорости ветра, интенсифицируется турбулентный перенос пыли в меридиональном направлении, и происходит расширение облака пыли в ширину. В

приземном слое адвективный перенос преобладает над турбулентной диффузией пыли. Поэтому пыль перенесена лишь на незначительное расстояние на наветренную к городу сторону.

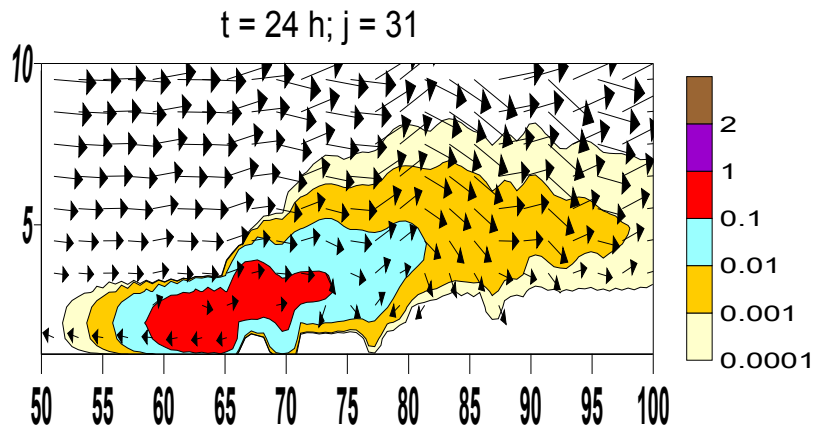


Рис. 2. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) в XOZ плоскости в случае фонового тихого ветра при $t=24$ час.

Пыльное облако обтекает рельеф как единая система в пограничном двухкилометровом слое атмосферы (рис. 4). Основная масса пыли концентрирована в её центральной части. Толщина слоя наибольшей концентрации (0.1-1 пдк) приблизительно равна 500 м, а длина – 25 км. Этот слой пыли с удалением от города, под действием вертикальных потоков воздуха, сформированных из-за влияния сложной орографии, постепенно разбивается на отдельные образования.

Качественно аналогичная картина переноса пыли получена и в случае фонового свежего ветра. Отличие – количественное. В случае фонового сильного ветра распространение пыли происходит более интенсивно, увеличена площадь запыленной территории. Получено, что средняя скорость переноса пыли составляет около 0.8 части фоновой скорости ветра.

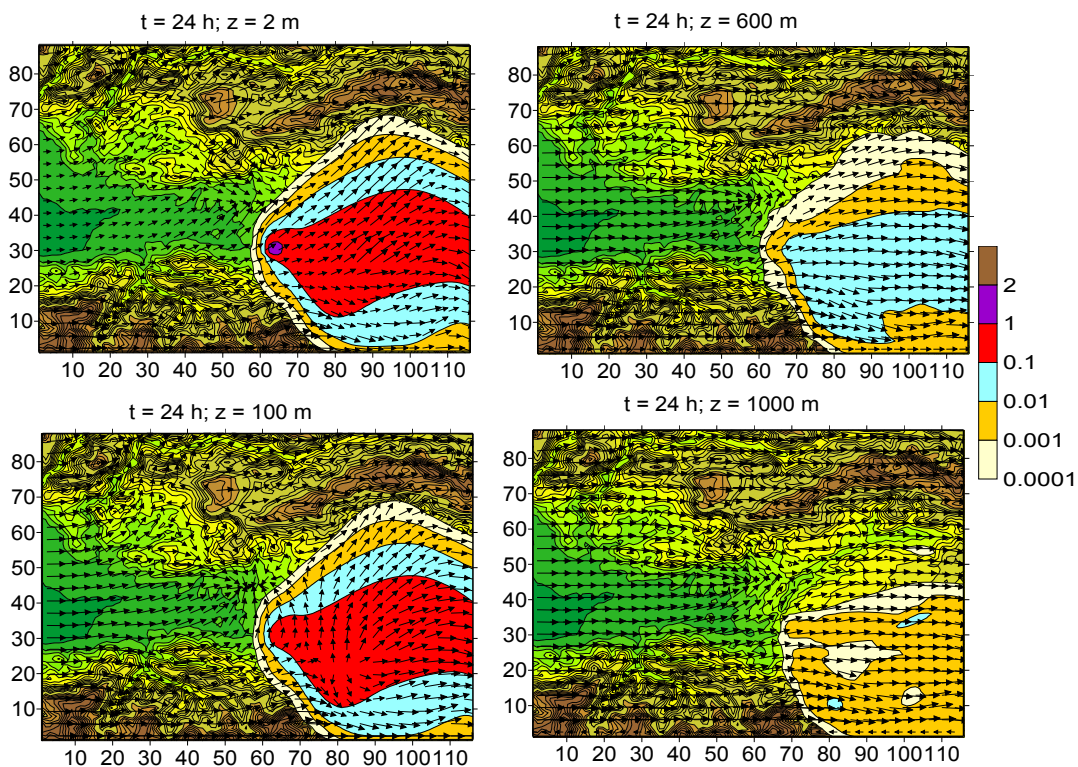


Рис. 3. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) на высотах $z=2, 100, 600$ и 1000 м в случае фонового слабого ветра при $t=24$ час.

На рис. 5 показаны эпюры концентрации $C(x)$ на высотах $z = 2, 100$ и 600 м от поверхности земли в XOZ плоскости, проходящей через город в случае фонового тихого ветра, когда $t=24$ час. Из рис. 6 видно, что вертикальное изменение концентрации пыли имеет место в области, удалённой до 5 км от источника загрязнения в слое толщиной 600 м.

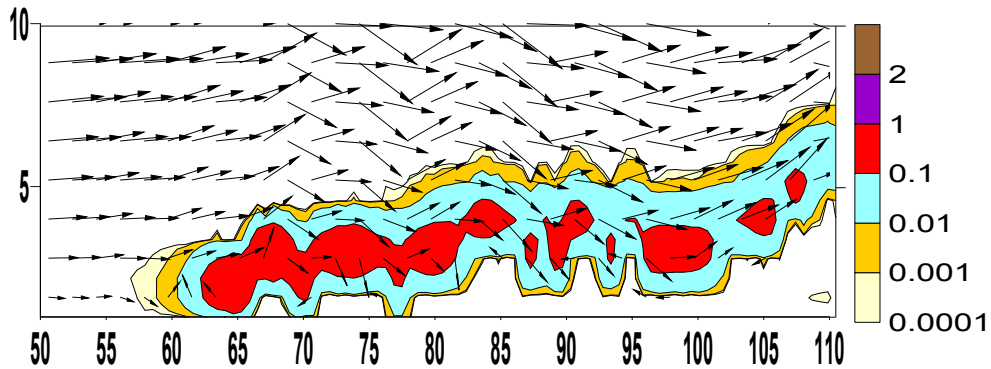


Рис. 4. Поля скорости ветра и концентрации пыли (в пдк) в XOZ плоскости в случае фонового слабого ветра при $t = 24$ час.

На рис. 6 показаны поля поверхностной плотности пыли ($\text{мг}/\text{м}^2$), осаждаемой на поверхность земли. Из этого рисунка видно, что максимальное осаждение имеет место

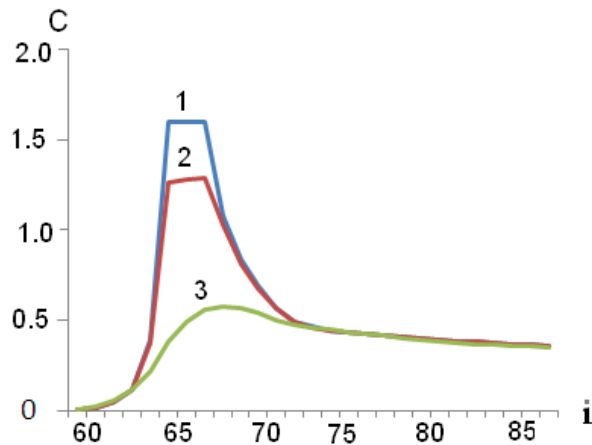


Fig. 5. Графики концентрации $C(x)$ в XOZ плоскости

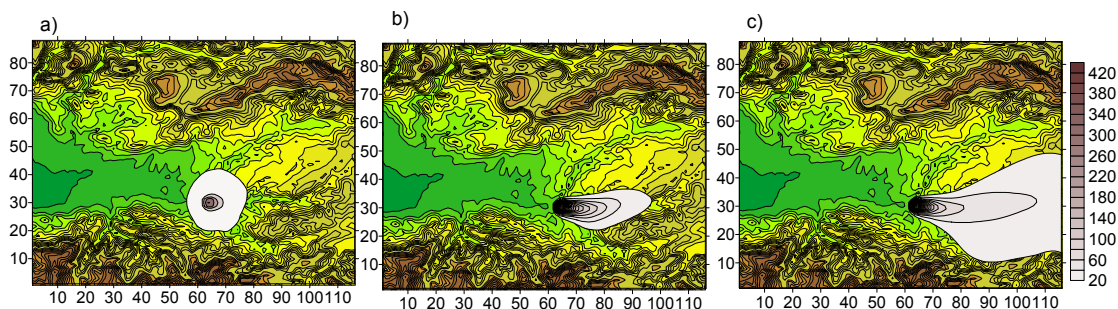


Рис. 6. Поля поверхностной плотности пыли ($\text{мг}/\text{м}^2$), осаждаемой на поверхность земли за 24 часа в случаях фоновых тихого – а), слабого -b) и свежего -c) ветров.

на территории г. Зестафони. Максимальные значения поверхностной плотности получены в пределах города. За 24 часа их значения для всех рассмотренных случаев приблизительно одинаковы и равны $400 \text{ мг}/\text{м}^2$. При фоновых тихом и слабом ветрах территории осаждения

пыли имеют круговую и эллипсоидальную формы, соответственно, их площади приблизительно одинаковы и равны – около 200 км². В случае фонового свежего ветра зона осаждения значительно больше и имеет форму расширенной в средней части полосы. Длина полосы больше 50 км, ширина приблизительно равна 28 км.

4. Заключение

С помощью численного моделирования исследованы некоторые особенности диффузии городской пыли в атмосфере над прилегающей территорией индустриального центра – г. Зестафони. Смоделировано распространение пассивной примеси в трёх наиболее характерных метеорологических ситуациях – при фоновых тихом, слабом и свежем западных ветрах. Для моделирования использованы данные натурных наблюдений Национального агентства окружающей среды Грузии. Получено, что в случае фонового слабого ветра концентрация пыли максимальна (1- 2 пдк) в стометровом приземном слое воздуха над городом. В слое 100-600 м концентрация повышенная. Выше этого слоя концентрация уменьшается и на высоте 2.5 км становится меньше 0.0001 пдк. Горизонтальная протяжённость запыленной области приблизительно равна 30 км. В случаях фоновых слабого и свежего ветров получены качественно и количественно отличные распределения пыли.

Меридионально ориентированный хребет Лихи оказывает сопротивление перемещению пыльного облака и вызывает расширение зоны запыленности в меридиональном направлении и уменьшает скорость адвективного переноса на 80%. Влияние орографии проявляется в изменении направления и распространения пыли в межхребтовых ущельях вдоль рек Квирила и Чхеримела.

Городская пыль переносится как единое облако. Пыльное облако по вертикали протягивается до 2.5 км, а ее длина достигает более 50 км. Зона наибольшей концентрации находится в центральной части облака и имеет толщину около 600 м.

В случае тихого ветра пыль, под действием горизонтальной турбулентной диффузии, распространяется также и в противоположном воздушному потоку направлении. При фоновых слабом и свежем ветрах преобладающим является адвективный перенос пыли.

Полученные результаты требуют проверки на точность. Поэтому запланировано проведение измерений концентрации пыли в г. Зестафони и в прилегающих территориях.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке национального научного фонда им. Шота Руставели –Грант– № PhD_F17_192.

Литература

1. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Гидрометеоздат, Ленинград. 1975. 448 с.
2. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Гидрометеоздат, Ленинград. 1985. 272 с.
3. Методика расчёта концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Гидрометеоздат, Ленинград. 1987.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Наука, Москва. 1982. 319 с.
5. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Наука, Новосибирск. 1985. 254 с.
6. Алоян А.Е., Пененко В.В., Козодеров В.В. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды в кн. Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования, т.2, Математическое моделирование. Наука, Москва. 2005. С. 279-351.

7. Алоян А. Е., Арутинян В. О. Моделирование эволюции газовых примесей в атмосферных дисперсных средах. www.sccc.ru/Conf/mmg2008/papers/aloyan.doc.
8. Алоян А.Е. Моделирование динамики и кинетики газовых примесей и аэрозолей в атмосфере. Наука, Москва. 2008. 415 с.
9. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Наука, Новосибирск. 1992. 408 с.
10. Алоян А.Е. Моделирование динамики аэрозолей при лесных пожарах. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 1. С. 62-75.
11. Long J., Cheng S., Li J., Chen D., Zhou Y., et al. A Monitoring and Modeling Study to Investigate Regional Transport and Characteristic of PM_{2.5} Pollution. *Aerosol and Air Quality Research*. 2013. V.13. PP. 943-956.
12. Ginoux P., Chin M., Tegen I., Prospero J. M., Holben B. et al. Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *J. of the Geophysical Research*. 2001. V.106. PP. 255-273.
13. Perez C., Hausten K., Janjic Z., Jorba O., Huneus N., et al. Atmospheric dust modeling from meso to global scales with the online NMMB/BSC-Dust model-Part 1: Model description, annual simulations and evaluation. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2013. V. 11. PP. 13001-13027. doi:10.5194/acp-11-13001-2011.
14. Шлычков В.А., Мальбахов В.М., Леженин А.А. Численное моделирование атмосферной циркуляции и переноса загрязняющих примесей в Норильской долине. *Оптика атмосферы и океана*. 2005. Т. 18. № 5–6. С. 490–496.
15. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere from hypothetical source in case of the background western wind. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2009. 13B. PP. 15-21.
16. Surmava A. A. Numerical investigation of the modeling of transportation and deposition of the radioactive pollution in the Caucasian Region in case of the hypothetical accident on the Armenian Nuclear Power Plant. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2012. 15B. PP. 32-45.
17. Kordzadze A., Surmava A., Kukhalashvili V. Numerical investigation of the air possible pollution in case of large hypothetical accidents at some industrial territories of the Caucasus. *Journal of the Georgian Geophysical Society*. 2013. 16 B. PP. 13-23.
18. Селегей Т. С., Шлычков В. А., Леженин А. А., Мальбахов В. М. Модель локального прогноза формальдегидного загрязнения атмосферы в г. Томск на основе статистических и гидродинамических методов. *Метеорология и гидрология*. 2012. № 4. С. 35-44.
19. Кордзадзе А. А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Г. Численное исследование влияния рельефа Кавказского региона на распределения гидрометеорологических полей. *Известия АН СССР, Физика атмосферы и океана*. 2007. Т. 43. No. 6. С. 783-791.
20. Казаков А. Л., Лазриев Г. Л. О параметризации атмосферного пограничного слоя атмосферы и активного слоя почвы. *Известия АН СССР, Физика атмосферы и океана*. 1978. Т. 14. No. 3. С. 257-265.
21. Ed. Georgian National Environmental Agency. Short review of Georgia environment pollution. 2017. www.nea.gov.ge (in Georgian).
22. Shuman F. G., Hovermale L. R. An operational six-level primitive equation model. *J. Applied Mechanics*. 1968. V. 7. No. 4. PP.525-547.
23. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Гидрометиздат, Ленинград. 1974. 304 с.

**ქ. ზესტაფონის მტვერის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება
ფონური დასავლეთის წყნარი, სუსტი და ზომიერი ქარის დროს
სურმავა ა., გიგაური. ნ., გვერდწითელი. ლ., ინჭკირველი ლ.**

რეზიუმე

მეზომასშტაბის ატმოსფერული პროცესების არაწრფივი არასტაციონარული განტო-
ლებათა სისტემის და პასიური მინარევის ატმოსფეროში გადატანა-დიფუზიის განტოლე-
ბის რიცხვითი ინტეგრირებით გამოკვლეულია ქალაქში არსებული მტვერის გავრცელება
საქართველოს რთული რელიეფის მქონე რეგიონში – იმერეთში. ატმოსფეროს დაბინძუ-
რების წყაროს წარმოადგენს ინდუსტრიული ცენტრის – ქ. ზესტაფონის მტვერი. მიღებუ-
ლია მტვერის განაწილების ველი სუსტი, საშუალო და ძლიერი ფონური დასავლეთის ქარის
დროს. ნაჩვენებია, რომ გაბნეული მტვერი ძირითადად კონცენტრირებულია ატმოსფეროს
სასაზღვრო ფენაში. მაქსიმალური კონცენტრაციის არე მდებარეობს მიწის ზედაპირიდან
100-600 მ ფარგლებში. 600 მ ზევით მცირდება კონცენტრაციის მნიშვნელობა და იზრდება
მისი გავრცელების არე.

გამოკვლეულია ლოკალური რელიეფის გავლენა დამტვერიანების ღრუბლის ფორ-
მაზე. სუსტი ქარის დროს ადგილი აქვს მტვერის ღრუბლის დეფორმაციას. დეფორმაციის
მიზეზს წარმოადგენს მერიდიანულად ორიენტირებული ქედების ზემოქმედება ფონურ
ქარზე. საშუალო და ძლიერი ფონური ქარების დროს ოროგრაფიის გავლენა სუსტია. მტვე-
რი ძირითადად ვრცელდება ფონური ქარის მიმართულებით.

შესწავლილია ადვექციური და ტურბულენტური პროცესების როლი მტვერის გავრცე-
ლების პროცესში. განსაზღვრულია ქალაქის მტვერიანობის გავლენის ზონები და ნიადაგზე
დაფენილი მტვერის ზედაპირული სიმკვრივე.

**Численное моделирование распространения пыли г. Зестафони при
фоновом западном тихом, слабом и свежем ветрах**

Сурмава А. А., Гигаური Н. Г., Гвердцители Л. В., Инцкирвели Л. Н

Реферат

Путём численного интегрирования нелинейных нестационарных уравнений мезометеоро-
логии и уравнения переноса-диффузии пассивного вещества в атмосфере исследовано рас-
пространение пыли г. Зестафони на территории Имеретинского региона. Показано, что пыль г.
Зестафони рассеивается в основном в пограничном слое атмосферы. Область максимальной
концентрации находится на уровне 100-600 м. Выше 600м уменьшается концентрация и уве-
личивается площадь распространения пыли. Исследовано влияние локального рельефа на
форму облака загрязнения. В случае слабого фонового ветра происходит деформация облака
пыли. Причиной деформации является влияние меридионально ориентированных горных
хребтов. При фоновом слабом ветре происходит перенос пыли в меридиональном направлении
вдоль горных ущелий и деформации пылевого облака. В случаях фоновых среднего и сильного
ветров влияние локальной орографии слабее. Пыль в основном переносится вдоль фонового
течения, постепенно расширяясь в ширину.

Изучены вклады адвективного и турбулентного факторов в процесс распространения запыленности. Определены зоны влияния городского загрязнения, область выпадения и количество осаждаемой пыли на поверхность почвы.

Numerical modeling of Zestafoni city dust distribution in case of background western, light air, gentle and fresh breezes

Surmava A., Gigauri N., Gverdtsiteli L., Intskirveli L.

Abstract

By numerical integration of the non-linear non-stationary system of equations of the mesoscale atmospheric processes and equation of diffusion of a passive contaminant the distribution of the dust of industrial town in the atmosphere is investigated. The source of pollution is the dust formed on the territory of city Zestafoni. The influence of local relief on the form of the pollution cloud is investigated. In case of a background Light air the shape of the contaminant cloud is significantly deformed. The deformation is caused by dynamical action of meridionally oriented mountain ridges. In cases of the background Gentle and Fresh breezes an influence of the relief on the distribution of pollution is negligible. The dust is distributed along the background wind.

The role of advective and turbulence processes in the distribution of dust, the zones of influence of Zestafony city dust on the pollution of air around the city and surface density of sediment dust are investigated.

**НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ, ПРОВОДИМЫЕ
В СЕКТОРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ МОРЯ И
АТМОСФЕРЫ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ ИМ. М.З. НОДИА
И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ**

Деметрашвили Д. И.

*Институт геофизики им. М. З. Нодиа Тбилисского государственного университета
им.Ив. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. Алексидзе, 1.эл.почта:demetr_48@yahoo.com*

В октябре 1989 года в Институте геофизики Академии наук Грузии был основан отдел динамики моря (в дальнейшем Сектор математического моделирования геофизических процессов моря и атмосферы; ныне Сектор моделирования динамики моря и атмосферы) под руководством доктора физико-математических наук Автандила Александровича Кордзадзе. Функционирование отдела положило основу сравнительно новому направлению для института – изучению динамики и экологических процессов Черного моря и атмосферы на основе математического моделирования. Обзор научной деятельности, проводимый в секторе в 1989-2013 гг. дается в работе [1]. В настоящей статье внимание сосредоточено в основном на тех аспектах деятельности сектора, которые в меньшей степени отражались в работе [1].

Основными научными направлениями в секторе являются:

- математическое моделирование динамических процессов Черного моря;
- разработка улучшенных версий региональной системы прогноза Черного моря для грузинской прибрежной зоны и прилегающей акватории;
- математическое моделирование гидротермодинамических процессов в атмосфере Кавказского региона и Черного моря;
- изучение закономерностей распространения антропогенных примесей в природной среде (море, атмосфера, почва) на основе математического моделирования;

В рамках этих направлений в секторе разработан и реализован ряд математических задач, именно:

- баротропная модель динамики Черного моря [2, 3];
- бароклинная модель динамики Черного моря с пространственными разрешениями 37, 10 и 5 км [4-14];
- региональная модель динамики Черного моря с высоким разрешением (пространственный шаг 1 км) для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории [15-18];
- нестационарные гидродинамические модели крупномасштабных и мезомасштабных атмосферных процессов для ограниченной территории [19-23];
- двумерные и трехмерные модели распространения неконсервативных загрязняющих веществ в Черном море [24-27];
- нестационарная пространственная численная модель распространения твердого наноса р. Риони в акватории г. Поти [28, 29];
- математический метод определения положения источника загрязнения в морской среде (двумерный и трехмерный случаи) [30-33];

- нестационарные численные модели распространения антропогенных примесей в атмосфере, реках и почве [34-37];

Разработаны теоретические основы и структура математической модели единой гидротермодинамической системы Черное море-атмосфера-почва [38, 39].

Решение всех задач по моделированию динамики Черного моря и распространению примесей в морском бассейне, основывается на едином методологическом подходе, именно, на использование двуциклического метода расщепления, разработанного Г. И. Марчуком для решения задач динамики атмосферы и океана [40, 41]. Предложенный численный метод решения дифференциальных уравнений позволяет свести решение сложных нестационарных задач к решению более простых одномерных и двумерных уравнений [42].

На начальном этапе функционирования сектора была разработана двумерная нестационарная баротропная модель динамики Черного моря, описывающая циркуляционные процессы, возбудимые ветром, в Ω области с постоянной глубиной H . На основе этой модели с использованием аппарата сопряженных уравнений [41] был построен алгоритм по уточнению коэффициента турбулентной вязкости и был реализован для всего бассейна Черного моря с пространственным шагом 37 км [2].

Разработанная баротропная модель была использована также для проведения численного исследования влияния разных климатических режимов ветра, действующих над Черным морем, на циркуляционные процессы в морском бассейне [3].

Очевидно, что в рамках баротропной модели невозможно описать сложные термодинамические процессы, протекающие в Черном море, и их влияние на динамику моря. Кроме того, баротропное приближение не позволяет учесть термическое воздействие со стороны атмосферы, влияние баланса “атмосферные осадки-испарение” на поле солёности моря и вертикальную структуру гидрофизических полей. В дальнейшем, разработанная в Секторе моделирования динамики моря и атмосферы нестационарная бароклинная прогностическая модель динамики Черного моря, основанная на решение полной системы уравнений гидротермодинамики океана в гидростатическом приближении, обеспечила учет все перечисленные факторы. Следует отметить, что первая численная модель Черного моря, основанная на полной системе уравнений гидротермодинамики, была разработана в начале 70-х годов прошлого века в Вычислительном центре Сибирского отделения Академии наук СССР (г. Новосибирск, Академгородок) [43-45]. Разработанная нами в секторе модель, которую можно считать продолжением работ, начавшихся в 70-х годах, отличалась от “сибирской” версии по учету некоторых физических факторов (напр., поглощение коротковольновой радиации в верхнем слое моря, обмен вод между Средиземным и Черным морями через Босфорский пролив и др.). Несмотря на сходность алгоритмов у этих моделей, по определенным причинам программное обеспечение модели динамики моря Института геофизики пришлось разработать заново на алгоритмическом языке Fortran.

Вычислительные эксперименты по бароклинной прогностической модели с целью изучения среднегодовой циркуляции и ее сезонной изменчивости были проведены с использованием многолетних средних климатических данных [4, 5]. Полученное среднегодовое поле течения было использовано в двумерных и трехмерных задачах моделирования распространения нефтяного загрязнения и других примесей по всему Черному морю [24-27]. В основе этих моделей распространения примесей лежит нестационарное уравнение переноса-диффузии для неконсервативной примеси. В работах [28, 29] рассматривается комплексная пространственная нестационарная задача распространения и седиментации речного твердого наноса от р. Риони в акватории порта г. Потти. Модель состояла из гидродинамического и диффузионного блоков. Гидродинамический блок содержал модель динамики Черного моря и модель прибрежной динамики высокого разрешения с пространственным шагом 100 м. Область решения в окрестности порта

имела размеры 7 x 12 км, где рассчитывалась локальная циркуляция и дисперсия и седиментация малых твердых частиц .

Следует отметить, что ресурсы вычислительной техники, имеющие в распоряжении сектора в 1990-х годах, не позволяли провести расчеты с нужным пространственным разрешением и поэтому все вышеупомянутые расчеты гидрофизических полей и полей концентраций загрязнения по всему Черному морю осуществлялись с использованием грубой расчетной сетки с горизонтальным шагом 37 км. В дальнейшем, по мере улучшения вычислительной техники, удалось реализовать бароклинную модель динамики Черного моря с использованием расчетной сетки с пространственными шагами 10 и 5 км. На основе этой модели исследовался гидрологический режим Черного моря при непрерывной смене атмосферных циркуляционных режимов. Изменчивость ветрового воздействия в модели выражалась в непрерывном чередовании 24-х типов ветра, характерных для бассейна Черного моря в течение всего года [6, 8, 9, 11]. Термохалинное воздействие атмосферы учитывалось путем задания внутригодового хода температуры и солености на поверхности моря, воспроизводимого по их ежемесячным среднеголетним значениям. Результаты вычислительного эксперимента показали, что под влиянием сильной нестационарности атмосферных процессов циркуляция вод в верхнем слое Черного моря претерпевает значительные качественные и количественные изменения. Особенно чувствителен по отношению к изменчивости атмосферной циркуляции верхний 20-30 метровый слой моря; каков бы ни был характер атмосферной циркуляции, примерно ниже этого верхнего слоя циркуляция Черного моря почти всегда получает циклонический характер с внутренними основными циклоническими вращениями в западной и восточной частях бассейна.

В работах [10, 12, 13] проведены достаточно детальные исследования вертикальной гидрологической структуры Черного моря при разных климатических условиях, с использованием бароклинной модели [6, 11]. Исследования были проведены при двух видах верхних граничных условий – Дирихле и Неймана на поверхности моря с целью учета термохалинного воздействия атмосферы. Кроме того, значительное внимание уделялось изучению процессов, происходящих в верхнем слое турбулентного смешения и их сезонной изменчивости в условиях нестационарности атмосферных процессов.

Разработанные в секторе численные модели динамики и распространения примесей в Черном море подготовили основу для создания и последующего развития системы регионального морского прогноза для восточной части Черного моря. Следует отметить, что разработка такой прогностической системы для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории является большим научным достижением сектора за последнее десятилетие [15-18, 46-50]. Область регионального прогноза отделена от открытой части моря условной жидкой границей, совпадающей с меридианом (39.08⁰E), проходящим около г. Туапсе. Региональная прогностическая система, которая является одной из компонентов общей системы диагноза и прогноза Черного моря в масштабах всего бассейна, разработана в рамках международных научно-технических проектов Евросоюза ARENA и ECOOP [51, 52], а в дальнейшем была усовершенствована в рамках гранта Национального научного фонда им. Шота Руставели.

На рис. 1 представлена структура и схема функционирования региональной системы прогноза. Ядром региональной системы является региональная модель динамики Черного моря Института геофизики им. М. З. Нодиа (РМ-ИГ), которая получена путем адаптации модели [6,11] к восточной акватории Черного моря и одновременным повышением пространственной разрешающей способности от 5 км до 1 км. РМ-ИГ вставлена в модель общей циркуляции Черного моря Морского гидрофизического института (МГИ, г. Севастополь). Все необходимые входные данные поступают из МГИ ежедневно в режиме, близком к оперативному через ftp сайт.

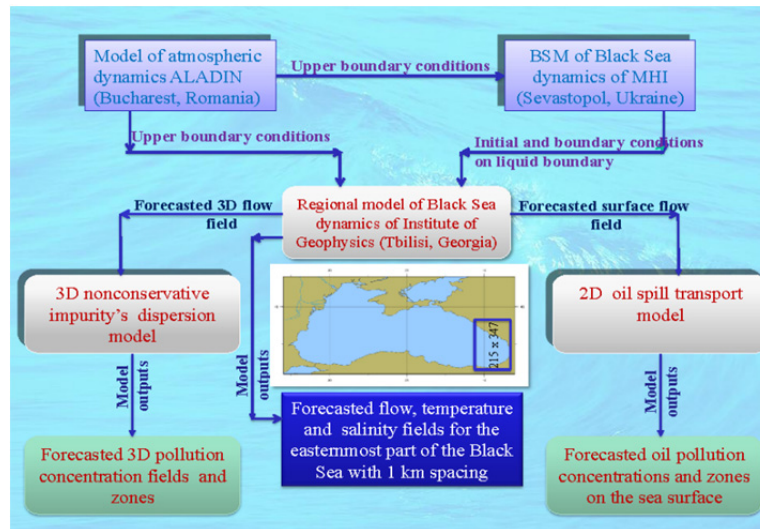


Рис.1. Область прогноза, структура и схема функционирования региональной системы прогноза для грузинского сектора Черного моря и прилегающей акватории [48].

Экологический блок системы состоит из двумерного и трехмерного численных моделей распространения неконсервативной примеси, использующих нестационарное поле течения, рассчитанное по региональной модели динамики моря. Система регионального прогноза позволяет рассчитать прогноз на 3 суток основных гидрофизических полей – течения, температуры, солености и плотности, а в случае необходимости – прогноз распространения зон, загрязненных нефтепродуктами и другими антропогенными примесиями в грузинской прибрежной зоне и прилегающей акватории с разрешающей способностью 1 км.

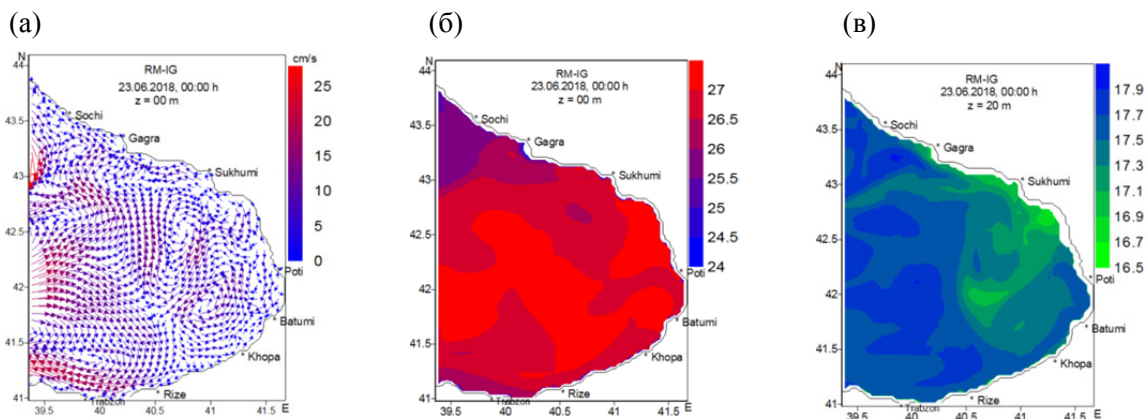
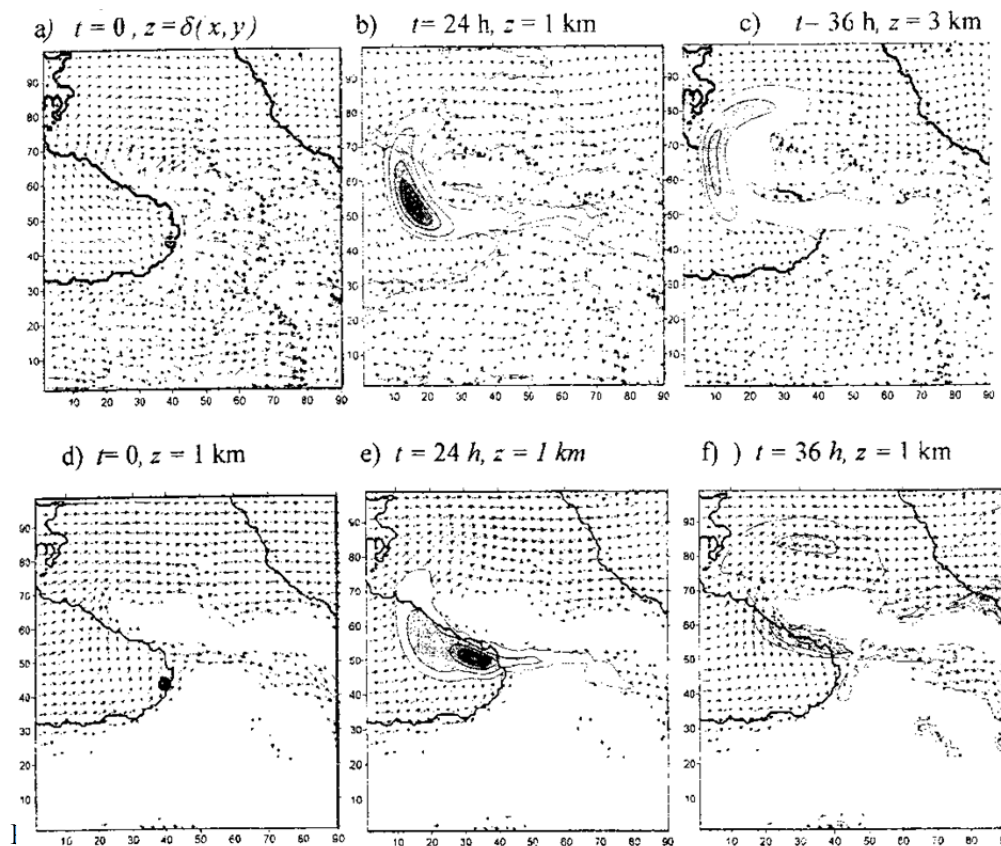


Рис.2. рассчитанные прогностические поля течения (а), температуры (б) и солености (в) 23 июня 2018 при $t = 48$ ч после начала прогноза (прогностический интервал: 00 : 00 GMT, 21-24 июня 2018). Течение и температура представлены на поверхности $z = 0$, а соленость на глубине $z = 20$ м.

В качестве примера на рис.2 представлены прогностические поля течения, температуры и солености к моменту 23 июня 2018 г в грузинской прибрежной зоне и прилегающей акватории. Из этого рисунка хорошо видно несколько субмезомасштабных вихревых образований циклонического и антициклонического характеров. Температура в большей части акватории прева-лирует 27°C , сравнительно холодные воды наблюдаются в северо-западной части региональной акватории.

В течение функционирования сектора велась интенсивная научная работа по моделированию и изучению синоптических и мезомасштабных атмосферных процессов и распространения примесей над территорией Черного моря и Кавказа, а также над более расширенной территорией. Часть результатов этих исследований представлены в работах [19-23]. С целью иллюстрации на рис.3 представлены поля ветра и концентраций гипотетической примеси над территорией восточной части Черного моря и Грузии в случае западного фонового ветра.



t = 0, 24 и 36 ч на приземном уровне (a, b, c) и на высоте z = 1 км (d, e, f) в случае западного фонового ветра [37].

Дальнейшая научная деятельность Сектора моделирования динамики атмосферы и океана связана с усовершенствованием уже разработанных моделей и постановкой и реализацией новых задач, связанных с динамикой и экологией жидкой среды Земли. В числе научных проблем, стоящих перед коллективом сектора, следует отметить, в первую очередь, дальнейшее развитие и усовершенствование существующей региональной системы прогноза путем включения в систему некоторых экологических задач и модели прогноза поверхностных волн, индуцированных ветром, что существенно повысит практическую ценность прогностической системы. Кроме того, планируется разработать прогностическую систему очень высокого разрешения (с пространственным шагом 200-250 м) для прибрежной акватории Аджарии и Поти-Анаклия, которая подвергается наибольшей антропогенной нагрузке, а в ближайшем будущем ожидается усиление такой нагрузки из-за ожидаемого роста туристов и построения глубоководного Анаклийского порта. Такая прогностическая подсистема будет составным компонентом существующей региональной системы прогноза и обеспечит краткосрочный прогноз динамических полей – течения, температуры, солёности и плотности с пространственным шагом 200-250 м в прибрежной зоне, испытывающей более интенсивное антропогенное воздействие. На рис. 4 изображена область регионального прогноза, включающая в качестве подсистемы, подобласть

прогнозирования, охватывающая самую близлежащую к берегам акваторию. Таким образом, будет создана комплексная региональная система прогноза, которая объединит уже существующую систему с пространственным разрешением 1 км для грузинской и прилегающей акватории и прибрежную прогностическую систему для Аджара-Поти-Анаклия акватории.



Рис.4. Области прогноза с разрешением 1 км и 200-250 м в восточной части Черного моря [50].

В результате функционирования региональной прогностической системы нами создана достаточно богатая база данных трехмерных динамических полей – течения, температуры и солености для восточной части Черного моря с 2010 года по сей день с пространственным разрешением 1 км. Большое научное и практическое значение представляет использовать эту базу данных с целью исследования гидротермодинамических процессов и их изменчивость в восточной акватории Черного моря. Важность исследования таких процессов связана с тем фактом, что Черное море и атмосфера представляют собой единую гидротермодинамическую систему и динамические процессы верхнего слоя моря в значительной степени влияют на формирование погоды и на распределение климатических характеристик в черноморском регионе. Глубокий научный анализ этого материала будет способствовать лучшему пониманию механизмов формирования и эволюции гидротермодинамических процессов и тренда изменчивости температуры и солености за последнюю декаду в одном из динамически активных регионов Черного моря и обогащению наших знаний об этих процессах. После проведения таких исследований наше знание о гидрофизических процессах, протекающих в грузинской акватории Черного моря станет более совершенным. Следует отметить, что некоторые исследования в этом направлении проведены в работах [46, 47], которые показывают, что юго-восточная акватория Черного моря представляет собой динамически активную зону, где непрерывно происходят формирование разных циркуляционных процессов, включающих генерирование и трансформацию разных вихревых образований мезо и субмезомасштабных размеров.

Научные интересы Сектора моделирования динамики моря и атмосферы в ближайшие годы будут фокусироваться также на дальнейшее развитие системы моделирования атмосферных процессов, развивающихся над Черным морем и Кавказом, изучению закономерностей процессов рассеяния разных антропогенных примесей в природной среде и объединению моделей динамики Черного моря и атмосферы с учетом взаимодействия этих двух сред.

Литература

1. Кордзадзе А. А. О текущей и будущей научно-исследовательской деятельности, проводимой в секторе математического моделирования геофизических процессов моря и атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили. Труды научной Конференции “Актуальные проблемы геофизики“, посвященной 80-летию основания Института геофизики им. М. З. Нодиа, 2014, с.21-57 (на Груз.).
2. Kordzadze A., Kvaratskhelia D., Demetrashvili D. On the specification of the eddy viscosity coefficient in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., 1998, vol.3B, pp. 59 – 65, published 2000. www.bss.oceaninfo.ru/library/files/39284.pdf.
3. Kvaratskhelia D. Numerical investigation of surface currents of the Black Sea in cases of nonstationarity of atmospheric circulation in framework of a barotropic model. J. Georgian Geophys. Soc., ISSN 1512-1127, 2001, vol.6B, pp. 23 – 32.
4. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of seasonal variability of large-scale hydrophysical processes in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., Tbilisi, 1998, v.3b, pp.49-58.
5. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Численные эксперименты по модели динамики Черного моря, учитывающей поглощение солнечной радиации. Вычислительная математика и математическое моделирование. Труды международной конференции, посвященной 75-летию акад. Г. И. Марчука и 20-летию основания Института Вычислительной математики Российской АН. Москва, 2000, т. 1, с.125-134.
6. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of inner-annual variability of the hydrological regime of the Black Sea with taking into account of alternation of different types of the wind above its surface. Proceed. of Intern. Conference: “A year after Johannesburg-Ocean Governance and Sustainable Development: Ocean and Coasts – a Glimpse into theFuture”.Kiev, Ukraine, October 27-30, 2003. pp. 495-505.
7. Demetrashvili D. Modeling of hydrophysical fields in the Black Sea. J. Georgian Geophys. Soc., 2003, v.8b, pp.19-27.
8. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Численное моделирование влияния нестационарных атмосферных процессов на гидрологический режим Чёрного моря. В кн: Труды междуна. конференции по математическим методам в геофизике “ММГ-2003“, Часть II. Новосибирск, 8-12 октября, 2003, с. 353-357.
9. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д.И., Сурмава А. А. О реакции гидрологического режима Чёрного моря на изменчивость атмосферных процессов. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь, Украина, 2004, вып. 10, с. 265-277.
10. Demetrashvili D., Kvaratskhelia D., Gvelesiani A. On the vortical motions in the Black Sea by the 3-D hydrothermodynamical numerical model. Advances in Geosciences, 14, 2007 , pp.295-299, www.adv-geosci.net/14/295/2008/.
11. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование гидрофизических полей Черного моря в условиях чередования атмосферных циркуляционных процессов. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, 2008, № 2, с. 227-238.
12. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U., Kukhalashvili V. G. Numerical study of the vertical drological structure of the Black Sea under January atmospheric climatological forcing. J. Georgian Geophys. Soc., 2010, 14b, pp. 75-84.
13. Demetrashvili D. I., Kvaratskhelia D. U. Numerical study of the vertical hydrological structure of the Black Sea under Transitive Climatic Forcing Conditions. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. 2012, vol.6, № 2, pp. 83-88.

14. Кордзадзе А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. О циркуляции в Чёрном море при очень сильных и слабых ветрах. *Метеорология и гидрология*, 2007, № 9, с. 58-64.
15. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Моделирование и прогноз основных гидрофизических полей в Черном море. *Тр. Института геофизики им. М. З. Нодиа*, 2009, т. LXI, с. 145-157.
16. 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, www.ocean-sci.net/7/793/2011/.
17. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Региональная оперативная система прогноза состояния восточной части Чёрного моря. Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа. Севастополь/Украина, 2011, вып.25, т.2, с.136-147.
18. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Coastal forecasting system for the easternmost part of the Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2012, 12, pp.471-477, doi: 10.4194/1303-2712-v12_2_38. www.trjfas.org.
19. Kordzadze A., Surmava A. The numerical investigation of the meteorological fields distribution in the Caucasian region in the presence of the background western wind. I. The pressure, the temperature fields of the atmosphere, the soil and seas. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2002, v.7, pp. 20-31.
20. Kordzadze A., Surmava A. The numerical investigation of the meteorological fields distribution in the Caucasian region in the presence of the background western wind. II. The wind and vertical velocity fields. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2002, v.7, pp. 32-45.
21. Surmava A. A., Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G., Kacharava G. G. Numerical modeling of air motion over the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2005, v.10, pp.21-27.
22. Кордзадзе А., Сурмава А. А., Деметрашвили Д. И., Кухалашвили В. Численное исследование влияния рельефа Кавказского региона на распределение гидрометеорологических полей. *Изв. РАН, Физика атмосферы и океана*, 2007, т.43, № 6, с.722-730.
23. урмава А. А., Кварацхелия Д. У. Численное исследование влияния восточной части Средиземного моря, Черного, Каспийской морей и окружающего их рельефа на распределение метеорологических полей в крупномасштабных вихрях атмосферы. *Тр. Института геофизики им. М. З. Нодиа*, т. LXI, 2009, с.172-178.
24. Kordzadze A., Demetrashvili D. 3D numerical model of distribution of nonconservative admixture in the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2000, v. 5b, pp. 3-11.
25. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical modeling of distribution of the oil pollution in the Black Sea. *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2000, v. 5b, pp.12-20.
26. Demetrashvili D., Kordzadze A. Numerical modeling of distribution of pollution substances in the BlackSea. *Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics*. vol. 17, № 3, 2002, pp. 44-57.
27. КордзадзеА., Demetrashvili D., About the forecast of distribution of anthropogenesis impurity and about an establishment of coordinates of a source of pollution in the Black Sea. *Proceed. of the 2st Intern. Silk Road Symposium "BSEC Studies"*, Tbilisi, 6-7 May, 2005, pp.103-109.
28. Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A., Kacharava G. Numerical modeling of local circulation and sedimentation of Rioni River alluvium in the Georgian Black Sea coast (water area of Poti city). *J. Georgian Geophys. Soc.*, 2004, vol. 9b, pp.3-17.
29. Kiknadze A., Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A., Kacharava G. Simulation of diffusion and sedimentation of the Rioni river alluvium in the Georgian Black Sea coast (water are of Poti city). *Bulletin of the Georgian National Academy of sciences*. 2006, v.173, № 3, pp.504-506.

30. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Результаты моделирования распространения примесей в Черном море. Тр. Института геофизики им. М. Нодиа, т. LXI, 2009, с. 158-171.
31. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical experiments on the determination of the pollution source location in the Black Sea. 3D problem. J. Georgian Geophys. Soc., 2001, v. 6b, pp. 3-12.
32. Kordzadze A., Demetrashvili D. Numerical experiments on the determination of the pollution source location in the Black Sea. 2D problem. J. Georgian Geophys. Soc., 2001, v. 6b, pp. 13-22.
33. Demetrashvili D., Kordzadze A. Determination of the pollution source location in the Black Sea on the basis of conjugate equations theory. Reports of enlarged sessions of the seminar of I. Vekua Institute of applied mathematics. vol. 17, N 3, 2002, pp. 58-70.
34. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А. Численное моделирование распространения примеси в Чёрном море и в атмосфере Кавказа. Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности. Киев, Украина, 2004, № 6, с. 31-41.
35. Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A. A numerical study of spreading of the oil pollution in the natural environment. Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности. Киев, Украина, 2005, N 2, pp. 77-84.
36. Mirtskhulava Ts., Kordzadze A., Demetrashvili D., Surmava A. Numerical modeling of a soil pollution by oil from an open rectangular pit. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences. 2006, v.173, N 2, pp. 295-297.
37. Surmava A. A., Mishveladze B. A., Davitashvili T. P. Numerical modeling of the pollution transfer in the Caucasus atmosphere emitted from hypothetical source in the case of the background western wind. J. Georgian Geoph. Soc., 2009, v. 13B, pp.15-21.
38. Kordzadze A., Demetrashvili D. About coupling modeling of hydrodynamic processes in the Black Sea and atmosphere. J. Georgian Geophys. Soc., 2009, v. 13b, pp. 3-14.
39. Kordzadze A., Demetrashvili D. About coupled regional modeling system the Black Sea-atmosphere. Journal of Environmental Protection and Ecology (JEPE), 2011, vol.12(1), pp. 317- 327.
40. Марчук Г. И. Численное решение задач динамики атмосферы и океана. Ленинград, Гидрометеиздат, 1974, 303 с.
41. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. Москва, Наука, 1982, 319 с.
42. Саркисян А. С., Залесный В. Б., Дианский Н. А., Ибраев Р. А., Кузин В. И., Мошонкин С. Н., Семенов Е. В., Тамсалу Р., Яковлев Н. Г. Математические модели циркуляции океанов и морей. В кн.: Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. Москва, Наука, 2005, т.2, с.176-278.
43. Марчук Г. И., Кордзадзе А. А., Скиба Ю. Н. Расчет основных гидрологических полей Черного моря. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, 1975, т.11, № 4, с. 379-393.
44. Кордзадзе А. А. Численное моделирование циркуляции вод Черного моря. В кн.: Моделирование гидрофизических процессов и полей в замкнутых водоемах и морях. Москва, 1988, с. 24-45.
45. Кордзадзе А. А. Математическое моделирование динамики морских течений (теория, алгоритмы, численные эксперименты). Москва, ОВМ АН СССР, 1989, 218 с.
46. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А., Кухалашвили В. Г. Некоторые особенности динамического режима восточной части Черного моря по результатам моделирования и прогноза гидрофизических полей за 2010-2013 гг. Труды Института геофизики им. М. З. Нодиа. 2013, т. LXIV, с. 117-130.
47. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Чёрного моря. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2013, т. 49, N 6, с. 733-745.

48. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. The easternmost Black Sea regional forecasting system. Proceed. Of the 12th Intern. Conference on the Mediterranean coastal environment-MEDCOAST 2015, 6-10 October 2015, Varna, Bulgaria, pp. 769-780.
49. Kordzadze A., Demetrashvili D. Operational forecasting for the eastern Black Sea. Proceed. of the 13th International MEDCOAST Congress on Coastal and Marine Sciences, Engineering, Management and Conservation, MEDCOAST 2017, 30 October – 4 November, 2017, Mellieha, Malta, t.2, pp.1215-1224.
50. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Океанография Черного моря в прошлом и на современном этапе. Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 2017, 187 с (на Груз.).
51. Korotaev G. K., Oguz T., Dorofeev V. L. et al. Development of Black Sea nowcasting and forecasting system. Ocean Science. 2011, v.7, pp. 629-649, doi:10.5194/os-7-629-2011.
52. Kubryakov A., I., Korotaev G., K., Dorofeev V. L. et al. Black Sea coastal forecasting system. Ocean Science. 2012, v.8, pp.183-196, doi:10.5194/os-8-183-2012.

**მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და
ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში ჩატარებული
სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები და მათი შემდგომი
განვითარების პერსპექტივები**

დემეტრაშვილი დ.

რეზიუმე

სტატია ეძღვნება გამოკვლევებს, რომლებიც ჩატარებულია ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში მისი დაარსებიდან 1989 წ. დღემდე. მოკლედ განიხილება შავი ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკისა და ბუნებრივ გარემოში მინარევების გავრცელების კვლევების ცალკეული მიმართულებები და მათი შემდგომი განვითარების პერსპექტივები.

**Научно-исследовательские работы, проводимые в секторе
моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики
им. М. З. Нодиа и перспективы их дальнейшего развития**

Деметрашвили Д. И.

Реферат

Статья посвящена исследованиям, проводимым в Секторе моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики им. М. З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили со дня основания сектора с 1989 г. по сей день. Кратко рассматриваются отдельные направления исследований в области динамики Черного моря и атмосферы и распространения примесей в окружающей среде и перспективы их дальнейшего развития.

Researches carried out in the sector of modeling the sea and atmosphere dynamics of M. Nodia institute of geophysics and prospects for their further development

Demetrashvili D.

Abstract

The article considers to the researches carried out by the Sector of Modeling the Sea and Atmosphere Dynamics of M. Nodia Institute of Geophysics at I. Javakhishvili Tbilisi State University since the foundation of the Sector in 1989 to the present day. It briefly consider separate directions of researches in the sphere of the Black Sea and atmosphere dynamics and the spread of impurities in the environment. The prospects for further research are under discussion.

მდინარე ვერეს ხეობის მიკროკლიმატის შემაშფოთებელი ფაქტორები და მათი გავლენა წყალმოვარდნების ინტენსივობაზე

ამირანაშვილი ა., კერესელიძე ზ., მიტინი მ., ხვედელიძე ი., ჩიხლაძე ვ.

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

შესავალი. მდინარე ვერეს 2015 წლის 13 ივნისის კატასტროფული წყალდიდობის გამომწვევი მიზეზი შეუძლებელია ვეძებოთ მხოლოდ ჰიდროლოგიურ რეჟიმზე დაკვირვების რეტროსკოპიული მონაცემებისა და ისტორიული ცნობების საფუძველზე [1,2]. მიგვაჩნია, რომ სრულფასოვანი ანალიზი მოითხოვს ვერეს ხეობაში გაყვანილი ჩქაროსნული გზის მონაკვეთის მთავარი ელემენტის, ხელოვნური დახურული კალაპოტის, აგრეთვე იმ ურბანისტული დატვირთვის გავლენის გათვალისწინებას, რომელიც ვერეს ხეობამ განიცადა უკანასკნელი ორი ათწლეულის განმავლობაში. კერძოდ, ნაშრომში [3] ნაჩვენებია იყო, რომ დახურული კალაპოტის შემადგენელი, გოფირებული ფოლადის ფურცლებისაგან აგებული საკმაოდ გრძელი გვირაბების ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა, როგორც სჩანს, პროექტში სათანადოდ არ იყო გათვალისწინებული. ამრიგად, კატასტროფული წყალდიდობის გამომწვევი ტექნოგენური შემადგენელი შეიძლება მეტ-ნაკლებად გარკვეულად მივიჩნიოთ. კერძოდ, მიღებში სითხის დინების ჰიდროდინამიკური თეორიის თანახმად, წყალდიდობის დროს გვირაბების სრული დატვირთვის პირობებში, გოფირებული შიდა ზედაპირის კრიტიკულად დიდი ხაოიანობის გამო დასაშვებია, რომ დახურული კალაპოტის პირველი გვირაბის გამტარუნარიანობა 50-70%-ით შემცირებულიყო. ამიტომ, მოცემული ნაშრომი აქცენტირებულია 13.05.2015 წ. მოვლენის მაპროვოცირებელი ბუნებრივი ფაქტორის, ანომალურად ძლიერი წვიმის, ინტენსივობის ობიექტურ შეფასებაზე. რადგანაც მიგვაჩნია, რომ მსჯელობა ვერეს ხეობაზე ურბანული დატვირთვით გამოწვეული ჰიდროლოგიური რეჟიმის ცვლილება თვალსაჩინო ხდება მხოლოდ ექსტრემალურ ბუნებრივ პირობებში, კორექტული დასკვნებისათვის აუცილებლად მიგვაჩნია ნალექის რაოდენობის ან ინტენსივობის კორექტულად შეფასება.

ვერეს დახურული კალაპოტის ტექნოგენური პრობლემა. [ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპიდან გამომდინარე აშკარაა ფიზიკური ანალოგია ტალღისებური ხაოიანობის შიდა ზედაპირის მქონე მილსა და გოფირებული ფოლადის მილისაგან აგებულ თაღისებურ გვირაბს შორის. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ სხვადასხვა ტიპის ხაოიანობის მქონე მრგვალი კვეთის მილებში სწორედ ტალღისებური ხაოიანობა იწვევს წყლის ხარჯის მაქსიმალურად მკვეთრ შემცირებას [4 – 6]. საინჟინრო ნაგებობების სპეციფიკიდან და ტექნიკური უსაფრთხოების ნორმებიდან გამომდინარე, ფარდობითი ხაოიანობის სიდიდე შეიძლება მერყეობდეს 7% ის ფარგლებში. ამ ინტერვალის განმსაზღვრელია ჰიდროდინამიკური მსგავსების უგანზომილებო კრიტერიუმის, რეინოლდსის რიცხვის სიდიდე. როცა ეს პარამეტრი მცირეა, ანუ დინება მილში ლამინარულია, დასაშვებია, რომ ხაო-

იანობა საკმაოდ მაღალი იყოს. მაგრამ, თუ რეინოლდსის რიცხვის სიდიდე კრიტიკულია, მაშინ უმცირესი ხაოიანობაც კი ხელს შეუწყობს დინების ტურბულიზაციას, რომლის ნეგატიური ეფექტია მილის გამტარუნარიანობის შემცირება. ვერეს დახურული კალაპოტის გვირაბებში ფარდობითი ხაოიანობამ შეადგინა $\approx 4\%$. ცნობილია, რომ გლუვ მილში ლამინარული დინების ტურბულენტურში გადასვლის თეორიული ზღვარია რეინოლდსის რიცხვი: $Re = 10^5$, მაშინ, როცა 13.06.2015 წ. ექსტრემალურ პირობებში ვერეს დახურულ კალაპოტში რეინოლდსის რიცხვის მახასიათებელმა სიდიდემ შეადგინა: $Re \approx 2 * 10^7$ [3]. ამ ნაშრომში მოდელირებული იყო დახურული კალაპოტის პირველი გვირაბის სავარაუდო სიმრუდითა და მისი შიდა ზედაპირის ხაოიანობით გამოწვეული ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის ეფექტი, 4% ფარდობითი ხაოიანობისა და სამშენებლო ნორმებითა და წესებით ზღვრულად დასაშვები სიმრუდის შემთხვევაში. აღმოჩნდა, რომ წყლის ერთნაირი ხარჯის უზრუნველსაყოფად, ვერეს დახურული კალაპოტის მაპროექსიმირებელი ხაოიანი მრუდწირული მილის კვეთის ფართი მნიშვნელოვნად უნდა აღემატებოდეს გლუვი სწორხაზოვანი მილის კვეთის ფართს: $S_2 \approx 3.2S_1$. ამ მოდელის მიხედვით ეს ნიშნავს, რომ სრული დატვირთვის შემთხვევაში წყლის ხარჯი გლუვ სწორხაზოვან მილში დაახლოებით სამჯერ მეტი უნდა იყოს, ვიდრე იგივე განივი კვეთის მქონე ხაოიან მრუდწირულ მილში. ამიტომ თეორიულად დასაშვებია, რომ 13.05.2015 წ. წყალდიდობის საწყისი ადგილი დახურული კალაპოტის ნებისმიერი გვირაბი ყოფილიყო. აშკარაა, რომ განვითარებული ტურბულენტობის შედეგად უკუდინებები წარმოიქმნებოდნენ ნებისმიერ გვირაბში. ბუნებრივია, რომ ასეთი თავდაპირველად აღმოჩნდა პირველი გვირაბი, რომლის გამტარუნარიანობა კიდევ უფრო შემცირდა მისი შესასვლელის ჩახერგვის გამო.

წესით, პირველი გვირაბის შეზღუდული გამტარუნარიანობის პირობებში, იმ შემთხვევაში, რომ შემდგომი გვირაბების გამტარუნარიანობა თანაზომადი ყოფილიყო, სხვაგან არსად აღარ უნდა ჰქონოდა ადგილი წყლის შეგუბებას. პირველ რიგში ეს შენიშვნა ეხება შეგუბებას პირველი გვირაბის გამოსასვლელსა და მეორის შესასვლელს შორის. მარტივი შეფასებით, რომელიც გამომდინარეობს თამარაშვილის გვირაბსა და ბაგების შორის ხეობის პროფილიდან, წყალდიდობის წინ სვანიძის ქუჩაზე სავარაუდოდ დაგუბდა წყლის მასა მოცულობით $V \approx 10^5 * /3.1 - 4.4 / \frac{m^3}{წმ}$ წყალმოვარდნის ერთერთი თვითმხილველის მონათხრობით, ეს საგუბარი დაიცალა დაახლოებით 20 წუთის განმავლობაში [7]. თუ ამ სიდიდეს სარწმუნოს ჩავთვლით, ზემოთ მოცემული დროითი ინტერვალის შესაბამისი წყლის ხარჯი შეადგენდა $Q \approx 10^2 * /1.55 - 2.2 / m^3 / წმ$. ასეთი წყლის ხარჯი, [3]-ის თანახმად, ხაოიანობის ფაქტორის გათვალისწინებითაც კი საკმაოდ რეალური იყო. ამიტომ, შეიძლება დავასკვნათ, რომ იმ თავითვე მცდარი იყო მოსაზრება, თითქოს სვანიძის ქუჩაზე წარმოქმნილმა საგუბარმა გამოიწვია პირველ გვირაბში წყლის ხარჯის პროპორციული ზრდა კატასტროფულ სიდიდემდე. ცალსახად უნდა განცხადდეს, რომ ეს საგუბარი არ შეიძლება მივიჩნიოთ კატასტროფის ერთადერთ მიზეზად. კერძოდ, ყურადღების გარეშე დარჩა ის ფაქტი, რომ პირველი გვირაბის თავზე გამავალი ვაკე-საბურთალოს შემაერთებელი მაგისტრალი აღმოჩნდა წყალგამყოფი სვანიძის ქუჩასა და ვერეს ხეობის უკანასკნელ მონაკვეთს შორის. ეს ნიშნავს, რომ წყალგამყოფს იქით მოხდა მხოლოდ პირველი გვირაბის მიერ გატარებული წყლის მასა, რომელსაც დაემატა ატმოსფერული ნალექი და ქალაქის წყლების ჩამონადენი. თუმცა აღსანიშნავია, რომ ვაკის მხრიდან ჩამონადენი, მნიშვნელოვნად შეამცირა ახალმა დახურულმა სანიაღვრე სისტემამ, რომელიც ვერეს უკანასკნელ გვირაბს უერთდება გმირთა მოედნის შემდეგ. ამ სანიაღვრის საკმარისად ეფექტიური მუშაობის მაჩვენებელია ის ფაქტი, რომ არ მომხდარა ჭავჭავაძის პროსპექტის მნიშვნელოვანი

დატბორვა. არც არაყიშვილისა და ატენის ქუჩები დატბორილა იმ დონეზე, რაც ადრე ხდებოდა ექსტრემალური ნალექის შემთხვევაში.

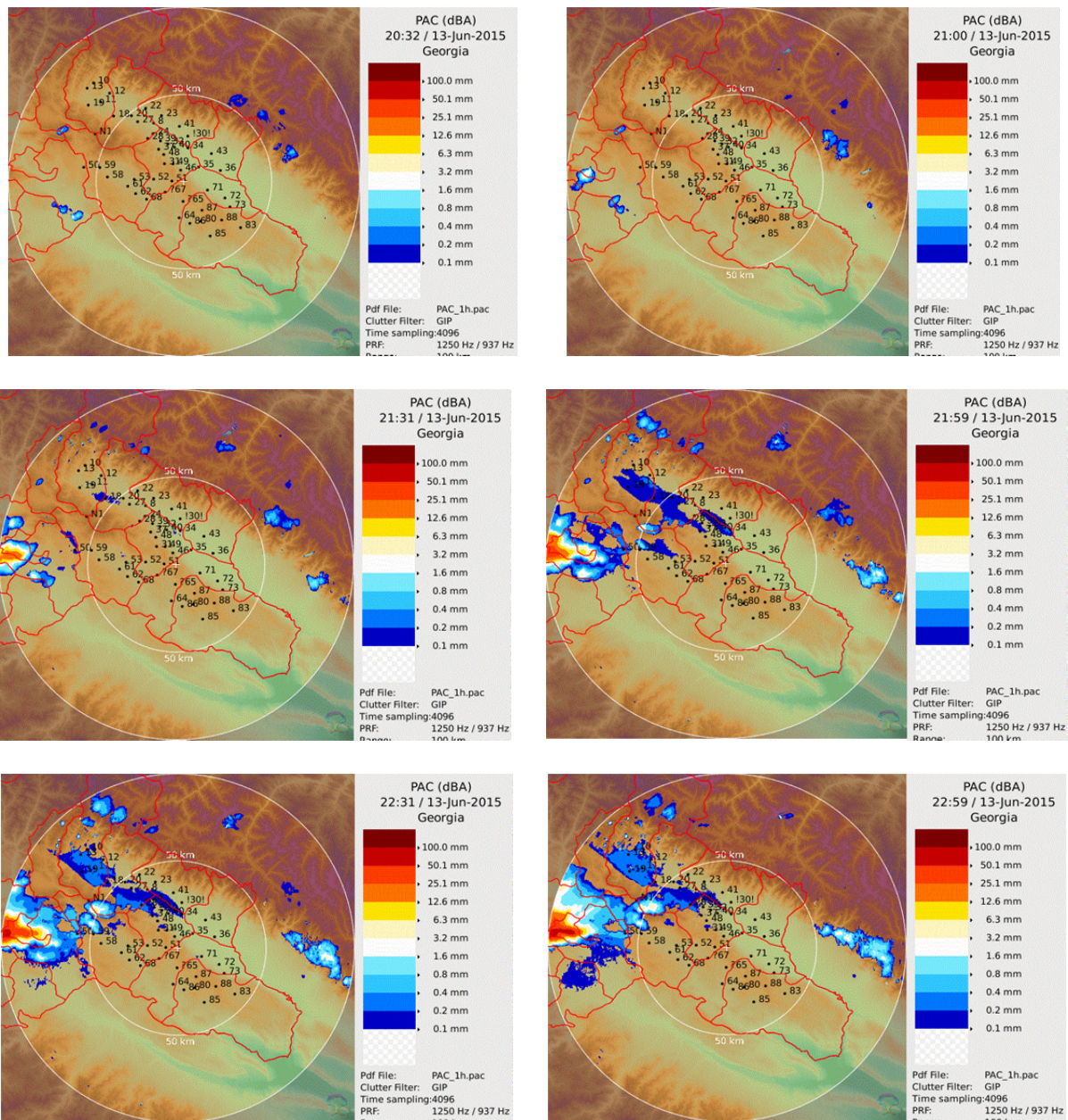
ვერეს ხეობის მიკროკლიმატის განმსაზღვრელი ლოკალური ფაქტორები. ატმოსფერო ყველგან წარმოადგენს ღია თერმოდინამიკურ სისტემას, რომლის ფუნქციონირებას განსაზღვრავენ კოსმოსური და გეოლოგიური ფაქტორები, რომელთა ცვლილებების დრო არათანაზომადია. მაგალითად, შემფოთებები, რომელიც გამოწვეული კოსმოსური ფაქტორის სხვადასხვა კომპონენტის ცვლილებით, გეოლოგიურთან შედარებით, ზოგადად დროში სწრაფად მილევადია. მაგრამ, კოსმოსთან დაკავშირებული მოკლევადიანი ცვლილებების გავლენა კლიმატის პარამეტრებზე უფრო მეტად საგრძნობია, ვიდრე დედამიწის შიგნით მიმდინარე სტრუქტურული ცვლილებების გლობალური შედეგები. თუმცა, ლოკალურ ამინდზე პერმანენტული გავლენის თვალსაზრისით, ოროგრაფიული ფაქტორი, განსხვავებით კოსმოსურისაგან, პრაქტიკულად ყველგან მოქმედებს. ცნობილია, რომ კლიმატის გლობალური მახასიათებლების ცვლილება დროში კვაზიპერიოდულია, რაც დაკავშირებულია მზის აქტივობის სხვადასხვა რეკურენტულ ცვლილებებთან. მათ შორის ყველაზე მოკლევადიანია დღეღამური ცვლილება, შემდეგ მზის ბრუნვასთან (თვესთან) დაკავშირებული ცვლილება, აგრეთვე სეზონური და წლიური ცვლილებები, რომლებიც დაკავშირებულია დედამიწის ბრუნვასთან. შემდეგ მოდის მზის აქტივობის ცვლილების ხანგრძლივ ვადიან ციკლებთან (11 წლიანი, საუკუნეობრივი) დაკავშირებული კლიმატის გლობალური ცვლილებები. ამავე დროს ლოკალური ამინდის თავისებურებებს, მზის ფაქტორთან ერთად, მნიშვნელოვნად განსაზღვრავენ ადგილის კოორდინატები და ოროგრაფია, ანუ ლოკალური გეოგრაფიულ-გეოლოგიური მახასიათებლები. ამიტომ, ამ ფაქტორების ეფექტურობა დედამიწის სხვადასხვა ადგილში განსხვავებული უნდა იყოს, თუმცა, მაინც შესაფასებელი და გასათვალისწინებელია. მაგალითად, თბილისის რეგიონალური ამინდის მოკლევადიანი ცვლილებები, ხანგრძლივ ვადიანი ცვლილებების მსგავსად, ძირითადად დამოკიდებულია მზის რადიაციაზე. მაგრამ აშკარაა, რომ აქ საკმაოდ მძლავრად მუშაობს ოროგრაფიული ფაქტორიც. სწორედ ამის დადასტურებას წარმოადგენს ატმოსფერული პროცესების თერმოდინამიკური მახასიათებლების განსაკუთრებული ვარიაბელურობა, რომელიც აღინიშნება თბილისის ტერიტორიაზე მტკვარში ჩამდინარე მცირე მდინარეების ხეობებში. ამ თვალსაზრისით საუკეთესო მაგალითია ვერეს ხეობა, რომლის ვიწრო და საკმარისად ღრმა კანიონი წარმოადგენს ლოკალური მიკროკლიმატის განმსაზღვრელ კონკრეტულ გეოგრაფიულ ფაქტორს. ამ ხეობის სპეციფიკის დადასტურებისათვის საკმარისია მისი შედარება, მაგალითად, მისგან არც თუ ისე შორს მდებარე მდინარე ლედვთახევის ხეობასთან. კერძოდ ცნობილია, რომ ლედვთახევი 1955 და 1972 წლებში მომხდარი კატასტროფული წყალდიდობების დროს ვერეზე შესაბამისი მასშტაბის წყალდიდობა არ დაფიქსირებულა. ეს ფაქტი, თითქოს და უცნაურია, რადგან მსგავს მახლობელ მცირე მდინარეებზე წყალდიდობის მასშტაბს ჩვეულებრივ განსაზღვრავს ლოკალურად მოსული ნალექის ინტენსივობა. მაგრამ, ვერეს ხეობასთან მიმართებაში, როგორც ამას ისტორიული გამოცდილება გვიჩვენებს, ეს შეხედულება სავარაუდოდ მცდარია. როგორც სჩანს, ამ ხეობის ოროგრაფიული სტრუქტურა არის სწორედ ის ფაქტორი, რომლის მოქმედება პერიოდულად მკვეთრად ცვლის ატმოსფერული ნალექების ინტენსივობის მოკლევადიან (მაგალითად, საშუალოთვიურ ან სეზონურ) სურათს, რაც გავლენას ახდენს ნალექის მრავალწლიურ ტრენდზე. ცნობილია, რომ ამ მახასიათებლის ცვლილების ხასიათს, დედამიწა-ატმოსფეროს სისტემის სითბურ ბალანსთან ერთად, განსაზღვრავენ ნალექიანობაზე მოქმედი პარამეტრები: ფარდობითი ტენიანობა და ატმოსფერული წნევა. მეოცე საუკუნის 90-იან წლებამდე, მეტეოროლოგიური მონაცემების მიხედვით,

თბილისის ტერიტორიაზე მოსული ნალექის წლიური საშუალო ოდენობა იყო $h \approx 460$ მმ [1], ხოლო ქალაქის ცალკეული რაიონებისათვის ეს სიდიდე მერყეობდა $h \approx 00 - 800$ მმ ფარგლებში. კერძოდ, ვერეს ხეობის ზედა ნაწილი მოექცა ყველაზე მაღალი ნიშნულის ($h = 800$ მმ) ზონაში. არსებობს განსხვავებული მონაცემიც, მაგალითად, 2015 წლის ვერეს კატასტროფული წყალმოვარდნის შემდგომ გამოშვებულ ბროშურაში თბილისისათვის მოცემულია წელიწადში $h \approx 500$ მმ საშუალო ნალექი, ხოლო კოჯორში $h \approx 745$ მმ [8]. უკანასკნელი პუნქტის გამოყოფა, ჩვენი აზრით, განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, რადგან კოჯორის ტერიტორია წარმოადგენს ვერეს ხეობის ზედა ნაწილის მომიჯნავე არეს. აქ ლოკალურ შემფოთებას განაპირობებს ოროგრაფიული ფაქტორი, რომელსაც იწვევს ქედი, სადაც განლაგებულია სიმაღლეები: ნამურის სერი: $H = 1495$ მ (განედი 41.45° , გრძედი 44.74°) და უძოს მთა: $H=1432$ მ (განედი 41.40° , გრძედი 44.42°), ეს ქედი განლაგებულია ვერეს ხეობის მარჯვენა მხარეს, სამხრეთ-აღმოსავლეთის მიმართულებით. ვერეს ხეობის შუა ნაწილში, ბეთანიიდან თამარაშვილის პროსპექტამდე, ოროგრაფიული გავლენა უნდა ჰქონდეს ხეობის მარცხენა მხარეს განფენილ ქედს, რომლის მახასიათებელი სიმაღლეებია: ნახშირგორა: $H = 887$ მ, (განედი 41.73° , გრძედი 44.41°) და უსახელო სიმაღლე: $H = 806$ მ (განედი 41.44° , გრძედი 44.42°). ამ ქედის შემდეგ სიმაღლე ეცემა თამარაშვილის ქუჩის მიმართულებით $H \approx 500$ მ ნიშნულამდე. ამკარაა, რომ ორივე ქედი მონაწილეობს ვერეს ხეობის მიკროკლიმატის ფორმირებაში. ამიტომ, ვერ გამოვრიცხავთ, რომ 2015 წლის 13 ივნისს, სწორედ ოროგრაფიული ფაქტორის ხელშეწყობით, მხოლოდ ვერეს აუზში მოვიდ ექსტრემალური ნალექი. ამ დროს წყალმოვარდნებით ცნობილ ლედვთახევში, აგრეთვე ტერიტორიულად ვერეს ხეობის მახლობელ დიდმისწყლის ხეობაში, სერიოზული წყალმოვარდნა არ დაფიქსირებულა. თუმცა მიგვაჩნია, რომ 13 ივნისის წყალმოვარდნის გამომწვევი მიზეზების სრულფასოვანი ანალიზი მოითხოვს აგრეთვე რამდენიმე დღით ადრე, 04.05.2015-ში მომხდარი წყალდიდობის შედეგის დაფიქსირებას. ეს მოვლენა თავისი ნეგატიური შედეგით მომდევნო სტიქიაზე გაცილებით სუსტი იყო, თუმცა, სავარაუდოდ, მის მიერ გამოწვეული ნიადაგის გაჟღენთილობა ძალიან მაღალი აღმოჩნდა. ის ფაქტი, რომ ნიადაგი წყლით იყო გაჯერებული, ალბათ მნიშვნელოვნად შეუწყობდა ხელს 13 ივნისის ღამეს განვითარებულ კატასტროფულ მოვლენას. თუ რა როლი ითამაშა ამაში ექსტრემალურმა ნალექმა და იყო თუ არა გადაჭარბება მისი ოდენობის შეფასებაში, პასუხს იძლევა მეტეოროლოგიური რადარის მონაცემები.

საქართველოში, მათ შორის თბილისშიც, კატასტროფული წყალდიდობები საკმაოდ ხშირი ბუნებრივი მოვლენაა. წყალდიდობების, ასევე როგორც სხვა ბუნებრივი კატაკლიზმების კვლევა, კარგა ხანია შედის ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის საქმიანობის სფეროში [9-11]. ამასთან დაკავშირებით დიდი ყურადღება ექცევა აგრეთვე წყალდიდობების გამამწვევ ისეთ უმნიშვნელეს ფაქტორს, როგორცაა ატმოსფერული ნალექები [12-14]. ატმოსფერული ნალექების კვლევის ახალი ეტაპი 2015-ის მაისიდან დაიწყო, როდესაც კახეთის რეგიონში სამეცნიერო-ტექნიკურმა ცენტრმა „დელტამ“ გეოფიზიკის ინსტიტუტის მონაწილეობით, სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის მუშაობა აღადგინა [15-16]. სამსახური აღჭურვილია გერმანული წარმოების «METEOR 735CDP10» ტიპის თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორით [17-18], რომელსაც 200 კმ რადიუსში შეუძლია აკონტროლოს, კერძოდ, საღრუბლო პროცესები და ნალექების რეჟიმი, როგორც აღმოსავლეთ საქართველოში, ასევე სხვა მოსაზღვრე ქვეყნების – სომხეთის, აზერბაიჯანის, თურქეთის და რუსეთის ტერიტორიების თავზე [19-23].

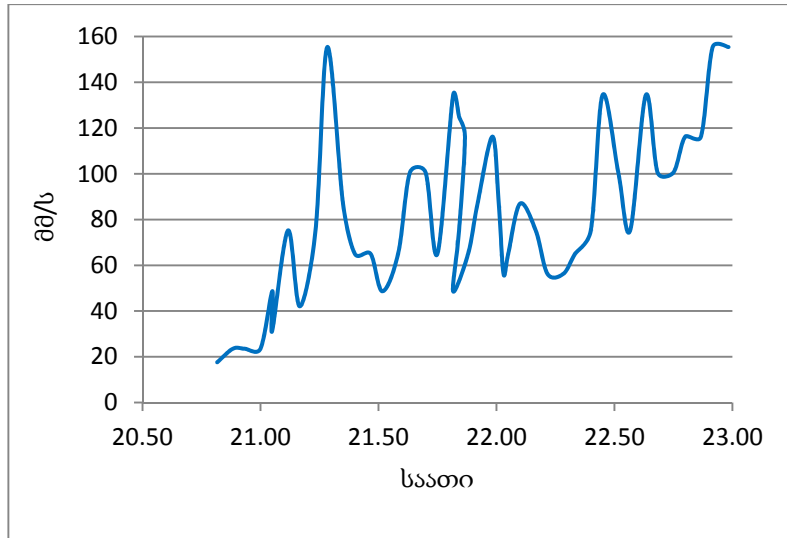
თვითმხილველების მონაცემებით, დიდი მეწყერი სოფელ ახალდაბის მიდამოებში ჩამოწვა სადამოს, დაახლოებით 11 საათზე [22, 23]. ჩვენ ვიღებთ ათვლის წერტილად ამ დროს, ვინაიდან ძირითადი რაოდენობა ქვა-ღორღის, მიწისა, ხეების და ბუჩქების სწორედ მან

ჩაიტანა მდინარე ვერეს კალაპოტში, თუმცა ამ კატასტროფის დროს 60-ზე მეტი მეწყერი ჩამოწვა. ქვემოთ მოყვანილია დაახლოებით ნახევარ საათიანი ინტერვალით აღებული რადიოლოკაციური სურათი (სკანი), რომელიც მოსული ნალექის ინტენსივობას გვიჩვენებს (ნახ. 1). ის ღრუბლების ზონა, რომელიც ჩვენს ინტერესს წარმოადგენს, განლაგებულია ამ ექვსივე სკანის უკიდურეს მარცხენა მხარეს. პირველ სკანზე (20:32) ღრუბელი ჯერ არ ჩანს. მეორე სკანზე (21:00) ნალექების ზონა უკვე გამოჩნდა, მაგრამ ნალექების ზონა განლაგებულია ქალაქის სამხრეთ ნაწილში. შემდეგ ოთხ სკანზე ზონა დგას ქალაქის უკიდურეს სამხრეთ-დასავლეთი ნაწილის მახლობლად, იზრდება მისი ზომები და ნალექების ინტენსივობა, მაგრამ დიდი ხნის განმავლობაში იგი ადგილიდან არ იძვრება. ამ ზონის გარჩევა ძალიან ადვილია, ვინაიდან ნალექის მაღალი ინტენსივობის გამო მისი ფერი მოყავისფრო-წითელია.



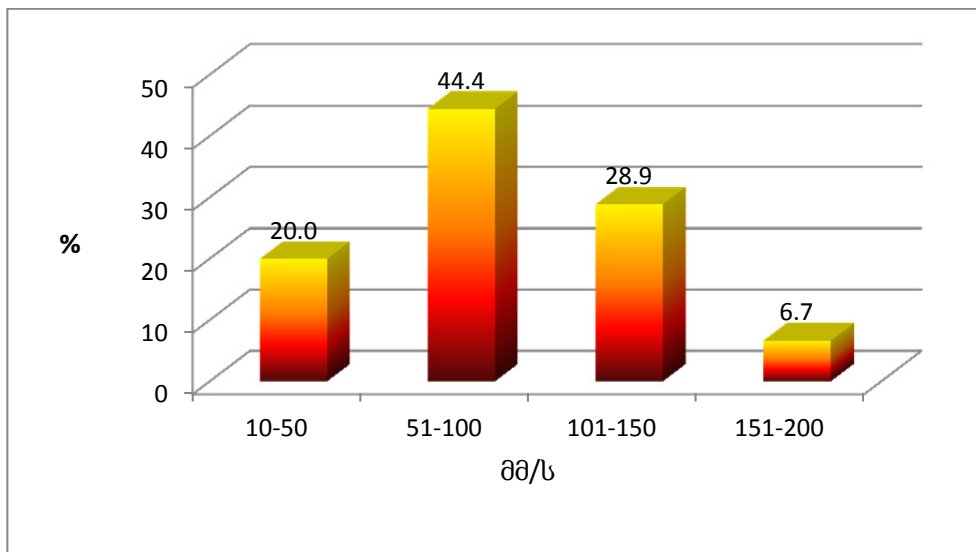
ნახ. 1

ატმოსფერული ნალექების საათობრივი ჯამების ცვალებადობის რადიოლოკაციური სურათი აღმოსავლეთ საქართველოში 2015 წლის 13 ივნისის 20.82 საათიდან 22.98 საათამდე.



ნახ. 2

ღრუბლის მაქსიმალური რადიოლოკაციური ამრეკლადობის არეს ქვეშ მოსული ნალექების ინტენსივობის დროითი სვლა 2015 წლის 13 ივნისის 20.82-დან 22.98 საათამდე



ნახ. 3

ღრუბლის მაქსიმალური რადიოლოკაციური ამრეკლადობის არეს ქვეშ მოსული ნალექების ინტენსივობის განმეორადობა 2015 წლის 13 ივნისის 20.82-დან 22.98 საათამდე

წვიმის დაწყებიდან მეწყერის ჩამოსვლამდე ღრუბელმა 178 მმ ნალექი მოგვცა (ნახ. 2,3), მაშინ როდესაც თბილისში, 1957 – 2006 წლების მონაცემების დამუშავების შედეგად მიღებულია, რომ წლის განმავლობაში ნალექების ჯამურმა მაქსიმალურმა რაოდენობამ შეადგინა 601,8 მმ, ხოლო მაქსიმალური დღეღამური ნალექი უდრიდა 130 მმ. აქ მოცემულია მხოლოდ ივნისის თვის შედეგები, ვინაიდან დღეღამური მაქსიმალური ნალექები მხოლოდ ამ თვეს არის დაფიქსირებული (ცხრ. 1,2; ნახ. 4).

ცხრ. 1

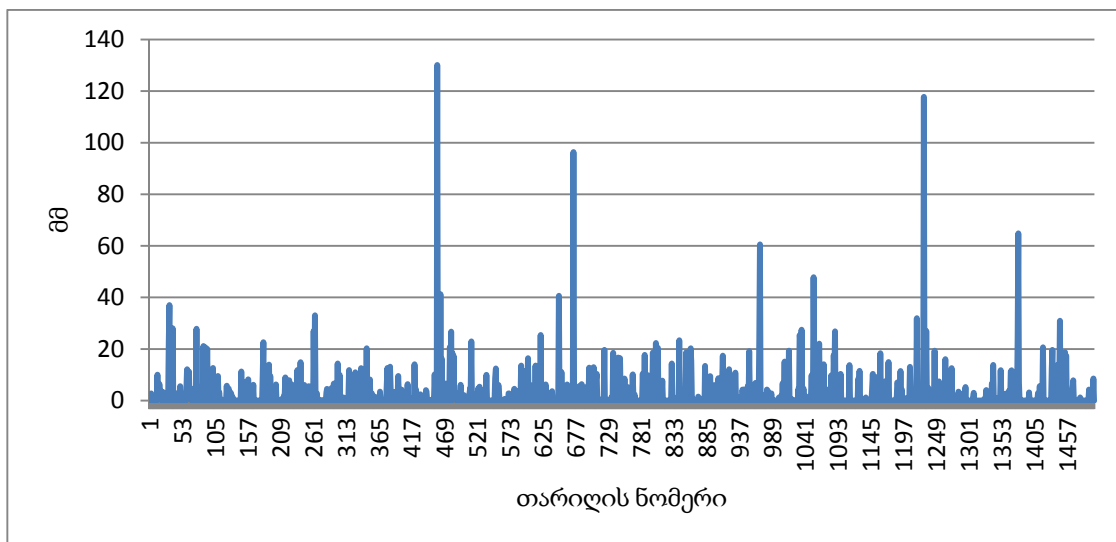
თბილისში 1957 – 2006 წლებში (ივნისის თვე) მოსული ნალექების დღეღამური ჯამების სტატისტიკური მახასიათებლები

პარამეტრი	ყველა დღე	ნალექიანი დღე	პარამეტრი	ყველა დღე	ნალექიანი დღე
შემთხვევათა რაოდენობა	1500	539	სტანდ. გადახრა	7.6	11.4
საშუალო	2.4	6.8	სტან.ცდომილება	0.2	0.5
მინიმუმი	0.0	0.1	ვარიაციის კოეფ.,%	309.9	167.7
მაქსიმუმი	130.1	130.1	ასიმეტრიის კოეფ.	8.7	5.9
დიაპაზონი	130.1	130.0	ექსესის კოეფ.	113.4	50.5
მედიანა	0.0	3.1	99% CONF-L	1.9	5.5
მოდა	0.0	0.5	99% CONF-U	3.0	8.1

ცხრ. 2

1957 – 2006 წლებში (ივნისის თვე) მოსული ნალექების საშუალო დღეღამური ჯამი და მათი 99% სანდოობის ინტერვალი ნალექების სხვადასხვა დიაპაზონში

დიაპაზონი, მმ	0.1-2	2.1-5	5.1-15	15.1-30	30.1-50	51-100	101-150
99% CONF-L	0.8	3.1	8.4	19.3	31.3	43.6	107.3
Mean	0.9	3.3	9.1	20.7	37.5	73.9	123.9
99% CONF-U	1.0	3.5	9.7	22.1	43.7	104.1	140.5



ნახ. 4

თბილისში 1957 – 2006 წლებში (ივნისის თვე) მოსული ნალექების დღეღამური ჯამების დროითი სვლა

პასუხი იმ საკითხზე, თუ რატომ არ დააფიქსირა მეტეოსადგურებმა ნალექის ის დიდი რაოდენობა, რამაც კატასტროფა გამოიწვია, თვალნათლივ ჩანს რადიოლოკაციური სურათების (ნახ. 1) და ქვემოთ მოყვანილი ცხრ. 3 და 4 ანალიზის შედეგად.

ცხრ. 3

2015 წლის 13 ივნისი 20.82-დან 22.98 საათამდე ახალდაბის მიდამოებში დაკვირვებული ღრუბლის რადიოლოკაციური მახასიათებლები

პარამეტრი	H _m , კმ	Hz _m , კმ	Z _m , dBZ	Z _m , კოორდინატები		ღრუბლის ზონის ფართობი, სადაც ნალექებია ≥100 მმ/სთ
				გრძედი, E°	განედი, N°	
საშუალო	7.4	4.8	55	44.7	41.7	5.1
მინიმუმი	3.7	2.7	43	44.4	41.6	0.5
მაქსიმუმი	8.8	8.2	64	44.9	41.8	20

ცხრ. 4

მეწყერის და მის თავზე განლაგებული ღრუბლის მაქსიმალური რადიოლოკაციური ამრეკლადობის კოორდინატები (ახალდაბა, 2015 წლის 13-14 ივნისი)

პუნქტი	გრძედი, E°	განედი, N°	სიმაღლე, მ	მანძილი მეწყერის შუიდან (კმ)
გზის წაღებული ადგილი, ცენტრი	44.68	41.68	1289	0
ახალდაბა, წყალგამტარი გზაზე	44.67	41.68	910	1.3
ახალდაბა, ცენტრი	44.66	41.69	902	1.5
ვაშლიჯვარი, მეტეოსადგური	44.77	41.75	441	11.5
ფილარმონია	44.79	41.71	449	9.8
ზონის დასავლეთი ნაწილი	44.64	41.69	788	3.1
RP-5, მეტეოსადგური	44.75	41.70	425	6.7
1 გვირაბის დასაწყისი	44.74	41.71	471	7.2
2 გვირაბის დასაწყისი	44.76	41.76	448	8.2

ურბანული ზეწოლის სავარაუდო გავლენა. სხვა მთის მდინარეებისაგან განსხვავებით ვერეს ხეობის სპეციფიკური ნიშანია მისი ბოლო მონაკვეთის საკმაოდ ძლიერი ურბანიზაცია. ამ თვალსაზრისით ვერეს ხეობის ანალოგი შესაძლოა ვეძებოთ მაგალითად, ჩრდილოეთ იტალიაში, ალპების მიმდებარე რეგიონში, ან ბალკანეთში. მჭიდრო დასახლება და, განსაკუთრებით, მაღლივი შენობების გავლენა მიკროკლიმატზე შესაძლოა გამოიხატოს ერთი ტრივიალური ფაქტორით, ხეობის ბუნებრივი ოროგრაფიის ხელოვნური ცვლილებით, რომელსაც შეაქვს გარკვეული შემფოთება ხეობის ბუნებრივ სითბურ ბალანსში. კერძოდ, ბოლო ორი ათწლეულის განმავლობაში ოროგრაფიის ცვლილების გავლენა ვერეს ხეობაში ატმოსფერული ცირკულაციის სურათზე შესამჩნევად იგრძნობა. კერძოდ, მოიმატა ქარის ინტენსივობამ, რომლის გამომწვევი მიზეზი პირველ რიგში უნდა იყოს ვერეს ხეობის ლოკალური ტემპერატურული რეჟიმის შემფოთება, რომელიც გამოწვეულია ურბა-

ნული ობიექტების ზედაპირიდან არეკლილი მზის სხივების რადიაციით. დღეს ხეობის ორივე მხარეს მჭიდროდ განლაგებულია მრავალსართულიანი კორპუსები, რაც ბუნებრივია ხელს უწყობს ხეობის ლოკალური ტემპერატურული ველის კვაზისტაციონარულ შემფოთებას. აღვნიშნავთ, რომ საქართველოში დღესაც მომქმედი ყოფილი საბჭოთა სამშენებლო ნორმები მოითხოვენ ე.წ. სოლარიზაციის პირობის დაცვას მაღლივი კორპუსების მშენებლობის დროს [24]. ამ ნორმებით უნდა მოხდეს შენობათა ფასადების გარკვეული წესით განლაგება (აღმოსავლეთ და სამხრეთ-აღმოსავლეთ მიმართულებით). მიუხედავად იმისა, რომ ეს მოთხოვნა ახლად აგებულ კორპუსებში მეტნაკლებად დაცულია, მაღლივი შენობების მჭიდროდ განლაგება ვერეს ხეობის გასწვრივ ეჭვსგარეშეა მოქმედებს მიწისპირა ქარების დინამიკურ სურათზე. ამ თვალსაზრისით საკმაოდ ვიწრო ვერეს ხეობა შეიძლება მივამსგავსოთ მრუდწირულ არხს, რომელშიც ატმოსფერული წნევის გრადიენტით გამოწვეული ჰაერის მასის მოძრაობა შეშფოთებას განიცდის არხის მაღალ კედლებთან შეჯახების გამო. მსგავსი ეფექტი, ანუ დაბალი ატმოსფერული დინების რეგულარული შემფოთება, დამახასიათებელია ვერეს ხეობის მსგავსი ვიწრო კანიონებისათვის, რომლებიც მთელ სიგრძეზე შეზღუდულია საკმაოდ მაღალი კედლებით. მათი სიმაღლის დაახლოებით 200-250 მეტრამდე ზრდასთან ერთად ჩვეულებრივ იზრდება აგრეთვე ქარის სიჩქარე, რომლის სიდიდე გარკვეული სიმაღლის მიღწევის შემდეგ თანდათან მცირდება იმდენად, რომ ამ, ე.წ. „ინვერსიის“ დონის, ზემოთ მისი მიმართულება ნიშანს იცვლის. ეს ეფექტი, რომელიც თვისებრივად ერთნაირად დაიკვირვება პრაქტიკულად ყველა ხეობაში, რაოდენობრივად სხვადასხვა ნაირად უნდა იყოს გამოხატული. მაგალითად: ქალაქ ალმა-ატაში, რომლის ოროგრაფია მეტწილად თბილისის ოროგრაფიის მსგავსია, მიედინება იმავე სახელწოდების პატარა მთის მდინარე, რომლისათვისაც „ინვერსიის“ სიმაღლე $H_0 = 800$ მ. ხოლო მდინარე ცეას ხეობაში (ჩრდილოეთ კავკასია), რომლის სიგრძეა მხოლოდ 17 კმ, $H_0 = 1100$ მ [25]. ზოგადად ცნობილია, რომ ატმოსფერული არამდგრადობის ზრდის დროს „ინვერსიის“ სიმაღლე, ისევე, როგორც ქარის სიჩქარე, იზრდება. ნორმალურ (წყნარ) ნაკლებად ღრუბლიან ბუნებრივ პირობებში მთის ფერდზე ქარის დინება, მზის ჩასვლიდან დაახლოებით ნახევარი საათის შემდეგ, ხდება ხეობის ქვედა მიმართულებით. თბილ პირობებში, მზის ამოსვლის შემდეგ, ქარი იგივე მიმართულებით უბერავს კიდევ დაახლოებით ერთ საათს. ამის შემდეგ ქარის მიმართულება იცვლება დაღმავალიდან აღმავლისაკენ. წყნარ პირობებში ამ ქარის დამახასიათებელი სიჩქარეა (1 – 3) მ/წმ.

ზემოთ აღწერილი მოვლენა, რომელიც თვისობრივად ერთნაირი სქემით უნდა ვითარდებოდეს ყველაპ ატარამთის მდინარის ხეობაში, ცხადია ახასიათებს აგრეთვე ვერეს ხეობასაც. მსგავსი ეფექტის მთავარი გამომწვევი მიზეზია ქვედა ატმოსფეროს ტემპერატურული ველის არაერთგვაროვნება, რომელსაც იწვევს მთავარი ლოკალური მახასიათებელი, ხეობის შემომსაზღვრელი ქედების სიმაღლე. მთის კალთების ზედაპირის ტემპერატურის დღე-ღამური ცვლილება სხვადასხვა ბუნებრივ პირობებში საკმაოდ დიდ საზღვრებში მერყეობს, რაც განსაზღვრავს ჰაერის მასის დინებას ქედების ფერდების გასწვრივ. ამ პროცესის მათემატიკური მოდელი ეკუთვნის სასაზღვრო ფენის თეორიის შემქმნელს ლ. პრანდტლს. მისი ცნობილი ანალიზური ამონახსნი მიღებულია შემდეგი გამამარტივებელი დამშვებების საფუძველზე: განიხილება მხოლოდ უკვე განვითარებული მოძრაობა ვერტიკალურ სიბრტყეში XZ ; მცირე ხაზოვანი მასშტაბის გამო უგულვებელყოფილია კორიოლისის ეფექტი; მთის კალთა დახრილია ჰორიზონტისადმი საკმაოდ მცირე α კუთხით;

ადგილი არა აქვს კონვექციური ნაკადების წარმოქმნას, რადგანაც ქედის გასწვრივ მოძრავი ჰაერის მასა არ წვდება მის ზედაპირს, ამიტომ მოძრაობა იმდენად ნელია, რომ შეიძლება აჩქარების უგულვებელყოფა.

პრანდტლის მოდელის თანახმად, თავისუფალ ატმოსფეროში ტემპერატურა θ სიმაღლესთან ერთად წრფივად იზრდება, ხოლო ქედის ფერდობის ზედაპირს შეაქვს θ' შემფოთება, რომელიც წარმოადგენს ფერდობიდან დაშორების n სიმაღლის ფუნქციას. ტურბულენტური ატმოსფეროსათვის, რომლისათვისაც ტემპერატურა გადაცემისა და კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტები ერთმანეთის ტოლად შეიძლება ჩაითვალოს, θ' პარამეტრისათვის მიღებული იყო შემდეგი განტოლება

$$\frac{\partial^4 \theta'(n)}{\partial n^4} + \frac{g\beta B \sin^2 \alpha}{v^2} \theta'(n) = 0, \quad (1)$$

სადაც g – სიმძიმის ძალის აჩქარებაა, β – ტემპერატურული გაფართოების კოეფიციენტი, $B = const$ – ვერტიკალური ტემპერატურული გრადიენტი, v – ჰაერის კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი.

(1) განტოლების ზოგადი ამონახსნი შედგება ოთხი წევრისაგან, თუმცა მონოგრაფიაში [10] მოცემულია ზოგადი ამონახსნის მხოლოდ ის წევრი, რომელიც აკმაყოფილებს შემდეგ კონკრეტულ პირობას

$$\begin{aligned} \theta' &= \theta'_0, \text{ როცა } n = 0, \\ \theta' &= 0, \text{ როცა } n = \infty, \end{aligned} \quad (2)$$

და ითვალისწინებს ქარის სიჩქარის ინვერსიის ეფექტს.

შესაბამის ამონახსნს აქვს შემდეგი სახე

$$\theta' = \theta'_0 \exp\left(-\frac{n}{L}\right) \cos \frac{n}{L}, \quad (3)$$

რომელშიც მახასიათებელ ვერტიკალურ მასშტაბად მონაწილეობს სიჩქარის მაქსიმუმის სიმაღლე

$$L = \sqrt[4]{\frac{4v^2}{g\beta B \sin^2 \alpha}}. \quad (4)$$

ქედის კალთის გასწვრივ წარმოქმნილი ტემპერატურული შემფოთება იწვევს თავდაპირველად უძრავი ჰაერის მასის კონვექციურ მოძრაობას, რომლის სიჩქარეა

$$V_1 = \theta'_0 \sqrt{\frac{g\beta}{B} \exp\left(-\frac{n}{L}\right) \sin \frac{n}{L}}. \quad (5)$$

ამრიგად, (5) გამოსახულება იძლევა ქარის სიჩქარის ვერტიკალურ პროფილს, აგრეთვე განსაზღვრავს სიჩქარის მაქსიმუმის სიმაღლეს ($n_m = \frac{L\pi}{4}$) და ინვერსიის სიმაღლეს, რომელიც შეესაბამება ტრიგონომეტრიული ფუნქციის პირველ მინიმუმს ($n_m = \pi L$). მაგრამ, მიუხედავად ასეთი ამონახსნის სიცხადისა, ჩვენი შეხედულებით, მხოლოდ ერთი კერძო ამონახსნის გამოყენება საკმაოდ ზღუდავს ლ.პრანდტლის მოდელის პრაქტიკულ ღირებულებას. კერძოდ, მიგვაჩნია, რომ ფიზიკური სურათი უფრო სრული იქნება, თუ მხედვე-

ლობაში მივიღებთ სასაზღვრო პირობების დროში პერმანენტულად ცვლილების ეფექტს. ასეთი მოვლენა სრულიად რეალურია ატმოსფერული პროცესებისათვის. ცნობილია აგრეთვე, რომ მისი გათვალისწინება იწვევს გრძელვადიანი პროგნოსტიკული მეტეოროლოგიური ამოცანების შედეგების მნიშვნელოვან რაოდენობრივ კორექციას. ამიტომ, ბუნებრივია მოსაზრება, რომ სასაზღვრო პირობების ცვლილების ეფექტი საგრძნობი უნდა იყოს მოკლე პერიოდიან ლოკალურ ატმოსფერულ პროცესებშიც. კერძოდ, სავარაუდოა, რომ ვერეს ხეობის მსგავს ვიწრო კანიონში ტემპერატურული ველის შეშფოთება, ანთროპოგენული ზეწოლის გამო, არ იქნება დამოკიდებული მხოლოდ ბუნებრივ ფაქტორებზე. ამიტომ, რათა პრანდტლის მოდელის ფარგლებში ანალიზური სახით გათვალისწინებული იყოს ურბანული ეფექტის გავლენა ლოკალურ ტემპერატურულ ველზე, უპრიანად მიგვაჩინა განვიხილოთ სასაზღვრო პირობების კიდევ ერთი, (2) – განსხვავებული ვარიანტი, რომელიც აგრეთვე ითვალისწინებს ინვერსიის ეფექტს

$$\begin{aligned} \theta' &= \theta'_0, \text{ როცა } n = 0, \\ \theta' &= \infty, \text{ როცა } n = \infty. \end{aligned} \quad (6)$$

ამ სასაზღვრო პირობებს აკმაყოფილებს (1) განტოლების კიდევ ერთი კერძო ამონახსნი, რომელიც განსხვავდება (3)-საგან მხოლოდ ექსპონენციალური მამრავლის ნიშნით

$$\theta' = \theta'_0 \exp\left(\frac{n}{L}\right) \cos \frac{n}{L}. \quad (7)$$

(7) გამოსახულების შეცვლისას შეიცვლება აგრეთვე (5) გამოსახულებაც, რომელშიც მოხდება $\sin \frac{n}{L}$ ფუნქციის სიმეტრიული ჩანაცვლება $\cos \frac{n}{L}$ – სით. ამიტომ, ინვერსიის ეფექტს ადგილი ექნება განსხვავებულ სიმაღლეზე ($n_m = \frac{L\pi}{2}$), ისევე, როგორც განსხვავებული იქნება სიჩქარის ვერტიკალური პროფილი. თუმცა, ამ შემთხვევაში ისმის კითხვა: აქვს თუ არა პრაქტიკული ღირებულება პრანდტლის ამოცანის ისეთ ამონახსნს, რომლის ასიმპტოტური ქცევა არ აკმაყოფილებს ტემპერატურული ველის შეშფოთების მიღვევის პირობას იმ შემთხვევაში, როცა $n = \infty$ ასეთი მისწრაფებისას, ერთი შეხედვით, (7) ამონახსნი მცდარია, რადგან ზოგადად შეშფოთებაში ყოველთვის იგულისხმება ძირითადი სიდიდის მხოლოდ მცირე ცვლილება. თუმცა, ლ.პრანდტლის მოდელი სპეციფიკური ხასიათისაა, რადგანაც (1) განტოლების მისაღებად გამოყენებული იყო ტემპერატურული ველის ცვლილების ისეთი მოდელი, რომელიც ფორმალურად უშვებს სიმაღლესთან ერთად ტემპერატურის შეუზრუდავად ზრდას, რაც ზოგადად არაკორექტულია დედამიწის ატმოსფეროსათვის

$$\theta = \theta_0 + Bz + \theta'(n). \quad (8)$$

რეალურად, ლ.პრანდტლის მოდელში ადგილი აქვს მოჩვენებით წინააღმდეგობას თუ გავითვალისწინებთ, რომ ის სამართლიანია მხოლოდ მცირე სიმაღლეებისთვის. მართლაც, ამ მოდელის მიზანი მდგომარეობს ქვედა ატმოსფეროში ტემპერატურული ველის შეშფოთებით გამოწვეული, ქედის ზედაპირის პარალელური, სუსტი ქარის სიჩქარის ვერტიკალური პროფილისა და მიმართულების ინვერსიის სიმაღლის განსაზღვრაში. ამიტომ, რეალურად, (7) ამონახსნის კორექტულობის არე, (5)-ის მსგავსად, შემოსაზღვრულია ინვერსიის დონის მიმდებარე არით. სწორედ ამიტომ პრანდტლის ამოცანის ფიზიკური ღირებულება არა თუ საეჭვო ხდება, არამედ აშკარად იზრდება კიდევ ერთი კერძო ამონახ-

სნის დამატებით. კერძოდ, ასეთ შემთხვევაში შესაძლებელი ხდება ინვერსიის სიმაღლის დროში ცვლილების ეფექტის არაცხადად მოდელირება საწყისი პირობების პერმანენტული ცვლილების გამო. ჩვენი შეხედულებით, სწორედამ მოვლენის ალბათობა მნიშვნელოვნად გაიზარდა ვერეს ხეობაზე ურბანული ზეწოლის შედეგად, რაც, თავის მხრივ, გავლენას უნდა ახდენდეს ლოკალურ ჰიდრომეტეოროლოგიურ მახასიათებლებზე.

დასკვნა. ნაშრომში [3] ნაჩვენებია იყო, რომ მდინარე ვერეს ხელოვნური კალაპოტის შემადგენელი საკმაოდ გრძელი გვირაბების გოფირებული შიდა ზედაპირი მნიშვნელოვნად ზრდის გვირაბების ჰიდრაულიკურ წინააღმდეგობას, რაც იყო 13.06.2015 წ. კატასტროფის ტექნოგენური მიზეზი. თუმცა, ამ მოვლენის განმეორადობის ალბათობა მომავალში სავარაუდოდ კიდევ უფრო მაღალი იქნება თანამედროვე ეტაპზე კლიმატური ფაქტორის ზოგადად განსაკუთრებულად სწრაფი ცვლილებების გამო. ამას, ვერეს ხეობაში შეიძლება დაემატოს ურბანული ზეწოლა, როგორც ლოკალური თერმოდინამიკური სისტემის შემამფოთებელი ერთ-ერთი ხელოვნური ფაქტორი.

ლიტერატურა

1. Климат Тбилиси. Сб. ст., ред.проф. Г. Сванидзе. Санкт-Петербург, Гидромет.,1992. 230с.
2. Kereselidze D., Alaverdashvili M., Kiknadze D., Tsintsadze N., Kokaia N. Devastating floods on the river Vere and the methods for their estimations. TSU transaction, series GEOGRAPHY, № 8-9, 2011, (in Georgian).
3. კერესელიძე ზ., შერგილაშვილი გ. მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დაზარალებული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 66. 2016. გვ. 199-221.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя, гл. XX. Москва. Наука. 1974. 711 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа, гл. X. Москва. Наука. 1973, 847 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, гл. 4. Москва. Наука. 1988, 733 с.
7. კერესელიძე დ., ალავერდაშვილი მ., ცინცაძე თ., ტრაპაიძე ვ. ბრეგვაძე გ. რა მოხდა 2015 წლის 13 ივნისს მდინარე ვერეს წყალშემკრებ აუზში. თბილისი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის გამომცემლობა, ქ. თბილისი, 2015, 40 გვ.
8. CNN. საქართველო, მდინარე ვერეს 2015 წლის 13 ივნისის წყალმოვარდნა. ანგარიში მომზადდა "ტყის მდგრადი მართვა საქართველოში" პროექტის ფარგლებში, ავსტრიის თანამშრომლობა განვითარებისათვის, -ADC -ის მხარდაჭერით, თბილისი, 2015, 35 გვ.
9. Amiranashvili A., Dolidze J., Tsereteli N., Varazanashvili O. Statistical Characteristics of Flash Flood in Georgia, Papers of Int. Simp. On Floods and Modern Methods of Control Measures, ISSN 1512-2344, 23-28 September 2009, Tbilisi, pp. 28-36.
10. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3, 2021-2056, 2012, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3 , <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>.
11. Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of Protection

- and Fight with Their Negative Consequences. Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp.155-164. <http://www.nato.int/science>; <http://www.iospress.nl> <http://www.springer.com>;
12. Khvedelidze Z., Amiranashvili A., Dolidze J., Chitaladze D., Pavlenishvili N. Statistical Structure of Diurnal Precipitation Distribution on the Territory of Eastern Georgia. Proc. of I. Javakhishvili Tbilisi State University, Physics, N 357, ISSN 1512-1461, Tbilisi University Press, Tbilisi, 2004, pp. 79-87.
 13. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L. Expected Change of Average Semi-Annual and Annual Values of Air Temperature and Precipitation in Tbilisi, Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.
 14. Amiranashvili A.G. Special Features of Changeability of Daily Sum of Precipitation in Tbilisi in 1957-2006. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp.81-91.
 15. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
 16. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Кайшаури М.Н., Квеселава Н.С., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А. Р., Саури И.П., Телия Ш.О., Чаргазия Х.З., Чихладзе В.А. Возобновление работ по борьбе с градом в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 14-27.
 17. Avlokhshvili Kh., Banetashvili V., Gelovani G., Javakhishvili N., Kaishauri M., Mitin M., Samkharadze I., Tskhvediasvili G., Chargazia Kh., Khurtsidze G. Products of Meteorological Radar «METEOR 735CDP10». Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, v. 66, Tbilisi, 2016, pp. 60-65, (in Russian).
 18. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., 2015, www.gematronik.com
 19. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Метеорологические радары и радиолокационное обеспечение активных воздействий на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.101-112.
 20. Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кириа Дж.К., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Телия Ш.О., Хеташвили А.А., Цхведиашвили Г.Н., Чихладзе В.А. Радиолокационное обеспечение противорадовой службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
 21. Banetashvili V., Gelovani G., Grebentsova A., Javakhishvili N., Iobadze K., Mitin M., Saginashvili N., Samkharadze I., Khurtsidze G., Tsereteli A., Tskhvediasvili G., Chkhaidze B. Some Examples of Strong Precipitation in Eastern Georgia According to the Data of Radar Surveillance of 2015. Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, v. 66, Tbilisi, 2016, pp. 75-83, (in Russian).
 22. ზაგრატია თ., გაფრინდაშვილი მ., ჭითანავა რ. და სხვ. თბილისის ტერიტორიაზე სტიქიური მოვლენების საშიშროების ზოგადი ანალიზი და 2015 წლის 13-14 ივნისს მდ. ვერეს აუზში განვითარებული კატასტროფებით გამოწვეული მდგომარეობის წინასწარი შეფასება. გარემოს ეროვნული სააგენტო, ანგარიში, თბილისი, 2015, 58 გვ.

23. <https://bpn.ge/analizi/12761-mskhverplis-acilebis-3proeqti.html?device=xhtml&lang=kaGE>
24. СП 102.13330.2012. Туннели гидротехнические. Актуализированная редакция, СНиП 2.06.09-8, 2012.
25. Хргиан А.Х.. Физика атмосферы, т. 2. Ленинград, Гидрометеиздат, 1978, 237 с.

მდინარე ვერეს ხეობის მიკროკლიმატის შემაშფოთებელი ფაქტორები და მათი გავლენა წყალმოვარდნების ინტენსივობაზე

ამირანაშვილი ა., კერესელიძე ზ., მიტინი მ., ხვედელიძე ი., ჩიხლაძე ვ.

რეზიუმე

მდინარე ვერეს ხეობაში 13.06.2015 წლის კატასტროფული წყალმოვარდნის გამომწვევი ტექნოგენური მიზეზი, რომელიც ამ მდინარის ბუნებრივი კალაპოტის ხელოვნური დახურული გვირაბებით ცვლილებაში მდგომარეობს, შეიძლება გარკვეულად მივიჩნიოთ. თუმცა, ამ მოვლენის წინმსწრები იყო ექსტრემალური ჰიდრომეტეოროლოგიური პირობები და ხეობის ურბანიზაცია, რამაც გამოიწვია მრავალრიცხოვანი მსხვერპლი და დიდი მატერიალური ზარალი. მსგავსი მასშტაბის მქონე წყალმოვარდნის განმეორება მომავალში გამორიცხული არ არის, მითუმეტეს გადაჭარბებული ურბანული ზეწოლის პირობებში. ამ ნეგატიური ფაქტორის გავლენა ხეობის ლოკალურ ჰიდრომეტეოროლოგიურ მახასიათებლებზე შესაძლებელია პრანდტლის ცნობილი მოდელის გამოყენებით. მოცემულ ნაშრომში მოხდა ამ მოდელის მოდიფიკაცია ტემპერატურული ველის შემოფოთების სასაზღვრო პირობების ცვლილების დაშვების ფარგლებში, რაც თვისებრივად შესაძლებელია ნებისმიერი პატარა მთის მდინარის კანიონში. ამ მოდელის საშუალებით, ტემპერატურული ველის მონაცემების საფუძველზე, შესაძლებელი იქნება ვერეს ხეობის ისეთი დინამიკური სურათის აგება, რომელშიც ცხადად იქნება წარმოჩენილი ოროგრაფიული და ურბანული ფაქტორების წვლილი ლოკალური ჰიდრომეტეოროლოგიური პარამეტრების ფორმირებაში.

Тревожные факторы микроклимата долины реки Вере и их влияние на интенсивность паводков

**Амиранашвили А.Г., Кереселидзе З.А., Митин М.Н.,
Хведелидзе И.Б., Чихладзе В.А.**

Реферат

Техногенные причины, вызвавшие катастрофический паводок в долине реки Вере 13.06.2015 года, которые заключаются в замене естественного русла этой реки искусственными закрытыми тоннелями, можно считать выясненными (установленными). Хотя этому явлению предшествовали экстремальные гидрометеорологические условия и урбанизация долины, что вызвало многочисленные жертвы и большой материальный ущерб. Повторение паводков подобного масштаба в будущем нельзя исключить, особенно в условиях превышения урбанного воздействия. Влияние этого негативного фактора на локальные гидрометеорологические характеристики долины можно установить, используя известную модель Прандтля.

В данной работе приведена модификация этой модели в условиях возмущения температурного поля при изменении граничных условий в допустимых пределах, что качественно возможно в каньоне любой малой горной реки. С помощью этой модели, на основе данных температурного поля, имеется возможность создать для долины реки Vere такую динамическую картину, в которой явно будет представлен вклад орографических и урбанистических факторов в формировании локальных гидрометеорологических параметров.

Alarming Factors of the Microclimate of the Vere River Valley and their Influence on the Floods Intensity

Amiranashvili A., Kereselidze Z., Mitin M., Khvedelidze I., Chikhladze V.

Abstract

The technogenic reasons, which caused catastrophic flood in the Vere river valley 13.06.2015, which consist in the replacement of the natural bed of this river by the artificial closed tunnels, can be considered established. Although this phenomenon preceded the extreme hydrometeorological conditions and the urbanization of valley, which caused numerous victims and large material damage. The repetitions of the flood of a similar scale in the future cannot be excluded, especially under the conditions of increasing the urban action. The influence of this negative factor on the local hydrometeorological characteristics of valley can be installed, using a known model of Prandtl.

In this work is given the modification of this model under the conditions of disturbing the temperature field with a change of the boundary conditions within the permissible limits, which is qualitatively possible in the canyon of any small mountain river. With the aid of this model, on the basis of data of temperature field, is a possibility to create for the Vere river valley such dynamic picture, in which will be clearly represented the contribution of orographical and urban factors in the formation of the local hydrometeorological parameters.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА В ГРУЗИИ

Харчилава Дж.Ф.

*Институт геофизики им. М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета
им. Ив. Джавахишвили*

В Грузии наблюдения за общим содержанием озона (ОСО) начались в 1957 году в рамках Международного геофизического года в Абастуманской астрофизической обсерватории. В том же году Управление гидрометеослужбы начало измерения ОСО на горе Эльбрус (Терскол). В последующем эти измерения продолжились с 1964 года в Тбилиси [1].

Исследования атмосферного озона в Институте геофизики Академии наук Грузии начались с 1973 года. Измерялись общее содержание озона (ОСО), концентрация приземного озона (КПО), вертикальное распределение озона (ВРО). Такое комплексное исследование на территории бывшего Советского Союза проводилось только в Грузии. ОСО измерялось в с. Руиспири (Телавский район). Измерения КПО проводились в Тбилиси, Руиспири, в Сухуми, Зугдиди, Мestia, в селах Корцхели, Анаклиа, Бечо, Вани, на горе Телавис Циви и на Эльбрусе (Терскол). Был установлен сезонный и вековой ход ОСО, а также суточный, сезонный и вековой ход КПО в Тбилиси и в Руиспири. Максимум ОСО наблюдается весной, в феврале-марте, а минимум осенью [1]. Для условий Кахетии были исследованы вариации ОСО и КПО в связи с атмосферными процессами и метеорологическими параметрами [1]. Было установлено, что перед вторжением холодных фронтов наблюдался рост ОСО и КПО. Приближение грозových процессов вызывает резкое увеличение этих параметров. В стадии развития грозового облака КПО под этими облаками уменьшается, а на периферии облаков увеличивается, вследствие чего КПО может использоваться в качестве индикатора вертикальных потоков. При распаде грозových облаков КПО резко возрастает на 100 – 200 % и достигает значения 100 – 150 мкг/м³. На концентрацию приземного озона большое влияние оказывает вертикальный градиент температуры, скорость и направление ветра и влажность. Чем больше вертикальный градиент температуры, тем больше концентрация озона. Между скоростью ветра и КПО существует прямая пропорциональная зависимость. Западные ветры вызывают рост КПО и уменьшение ОСО. Во время восточных ветров имеет место уменьшение КПО. Увеличение влажности уменьшает КПО [1]. Было установлено, что в дни с массивными градобитиями во Внутренней Кахетии концентрация озона в приземном слое воздуха мала по сравнению с её значениями во время хорошей погоды и во время грозových процессов. [2]. Это прямо указывает на льдообразующие свойства озона, что было подтверждено лабораторными опытами сотрудников Института геофизики.

Был исследован характер аэродинамической ситуации над Алазанской долиной во время градо-грозových процессов. Были рассмотрены виды воздушных фронтов, барические образования на разной высоте и расположение струйных течений и их влияние на концентрацию приземного озона относительно пункта наблюдения. Такой анализ был проведен для, так называемых, дней с градом на большой площади (ГБП) и дней с градом на малой площади (ГМП).

Анализ показал, что для дней первого типа в основном (84% случаев) характерно влияние «холодных» фронтов воздуха, а для дней второго типа – ситуация без «фронтов» (55% случаев). Во время процесса ГБП на земной поверхности в основном (88% случаев) наблюдаются циклонические барические образования, а в дни с процессом типа ГМП наблюдаются в основном (55% случаев) антициклонические барические образования.

Анализ высотных барических образований на изобарической поверхности 500 мб показал, что во время процесса ГБП в 81% случае наблюдается ложбина и только в 19% случаях – левая сторона гребня. Для дней с процессом ГМП в 75% случаях наблюдается ложбина и только в 20% случаях – гребень.

Аналогичная картина наблюдается и на уровне 300 мб изобарической поверхности. Было рассмотрено положение пункта наблюдения за концентрацией приземного озона относительно струйного течения. Оказалось, что во время процесса ГБП в 69% случаях пункт наблюдения за озоном располагался в центральной и правой части струйного потока, а во время процесса ГМП – в 85% случаях. Соответственно, во время процесса ГБП в 31% случаях пункт наблюдения за озоном располагался в левой части струйного потока, а во время процесса ГМП – в 15% случаях.

Расстояние от пункта наблюдения за озоном не превосходило, в основном, 2° (1 градус примерно 111 км) в случае, когда зона струйного течения находится левее, а в случае расположения пункта наблюдения за озоном правее зоны струйного течения, расстояние между ними доходило до 8-12°.

Как при ГБП, так и ГМП, зона струйного течения в основном, в 55-75% случаях находится над пунктом наблюдения за озоном.

Во время процесса ГБП струйное течение было направлено преимущественно (в 54% случаях) с запада на восток, а в 40% случаях с юго-запада на северо-восток. Во время процесса ГМП струйное течение было направлено преимущественно (в 60% случаях) с юго-запада на северо-восток, а в 30% случаях с запада на восток. Направление с юга на север составило для процесса ГБП 4% случаев, а для процесса ГМП – 10% случаев.

Было проведено сравнение средних скоростей на оси струйного течения во время процессов ГБП и ГМП. Оказалось, что для первого процесса средняя скорость ветра составляла 40 м/сек, а для второго процесса – 30 м/сек. Для процесса ГБП скорость ветра на нижней границе составила 20 м/сек, а на верхней 60 м/сек, тогда как во время процесса ГМП скорость ветра на верхней границе составляет 15 м/сек, а на нижней – 45 м/сек. Это означает, что для процесса ГБП характерна большая скорость на оси струйного течения.

Проведенное исследование показывает весьма существенные моменты связей между КПО и градовыми процессами:

1. Во время процесса ГБП над Алазанской долиной преимущественно проявляется влияние холодных фронтов, а в случае процессов ГМП в основном наблюдается положение без фронтов, т.е. в этом случае процессы носят в основном внутримассовый характер.
2. Во время процессов ГБП и ГМП высотные барические образования для обоих процессов преимущественно одинаковы – высотная ложбина (правая сторона).
3. Во время всех рассмотренных случаях градовых процессов над Алазанской долиной наблюдаются струйные течения. Зона струйного течения находилась преимущественно над пунктом наблюдения за озоном. Ось струйного течения была направлена в основном с запада на восток и с юго-запада на северо-восток. Максимальная скорость ветра на оси струйного течения во время процесса ГБП выше, чем во время процесса ГМП.
4. Во время безградового грозового процесса над пунктом наблюдения за озоном струйное течение не наблюдается или бывает с небольшой скоростью ветра.
5. Высота градового облака существенно выше высоты безградового облака (по данным анализа радиолокационных данных).
6. КПО во время процесса ГБП существенно ниже, чем во время грозы и процесса ГМП.

Основываясь на результатах проведенных исследований можно сделать выводы: во время нахождения струйного течения над Кахетией, в атмосфере (тропосфере) будут господствовать восходящие потоки, которые понижают содержание озона в тропосфере. На уровне тропопаузы большие скорости ветра создают благоприятные условия для образования мощных, высоких облаков, которые пробивают тропопаузу и иногда достигают высоты 15 км и более. Ширина такого градового облака достигает несколько десятков километров, а количество таких облаков – единицы. Ввиду того, что содержание озона в тропосфере в это время мало, и если примем во внимание способность озона создавать из неактивных частиц активные, тогда количество ядер конденсации в атмосфере (тропосфере) и облаках будет незначительным. Поэтому создаются благоприятные условия для образования града. В том случае, когда струйный поток не находится над пунктом наблюдения за озоном и имеются условия для развития грозных облаков, в тропосфере образуется большое количество грозных зон, которые ввиду своей слабой энергии не способны пробивать тропосферу (струйный поток помогает конвективным облакам пробивать тропопаузу; иногда струйный поток сам пробивает тропопаузу [3] и этим способствует превращению грозного облака в градовое). Поэтому под тропопаузой возникает большое количество грозных ячеек, наблюдаются частые грозные разряды и это создает в тропосфере большое количество молекул озона. Благодаря озону создается такое количество ядер кристаллизации, что имеющаяся водность облака недостаточна для роста градин до опасных размеров. В результате получаем саморассеяние ядер кристаллизации.

Возникшим грозным облакам, которые достигают тропопаузы, кроме струйного течения, вероятно помогает и специфика орографии (для возникновения вдоль склонов начальных вертикальных потоков).

Таким образом, в условиях Алазанской долины, если в атмосфере образуется струйный поток и концентрация приземного озона будет на уровне КПО хорошей погоды или менее, при наличии условий образования конвективных облаков, с большой долей вероятности можно ожидать выпадения града.

Проведено исследование изменчивости КПО в условиях чистой окружающей среды на примере села Руиспири (Телавский район) при разнообразной погоде. Были использованы материалы наблюдения за КПО за период 2003 – 2012 годов. Изменчивость КПО была исследована для 7 типов погоды:

1. Полностью или преимущественно чистое небо, штиль или слабый ветер;
2. Полностью или преимущественно облачное небо, штиль или слабый ветер;
3. Полностью или преимущественно чистое небо, северо-западный ветер;
4. Полностью или преимущественно облачное небо, северо-западный ветер;
5. Полностью или преимущественно чистое небо, юго-восточный ветер;
6. Полностью или преимущественно облачное небо, юго-восточный ветер;
7. Полностью облачное небо, дождь (обложной), снег, туман.

Были рассмотрены суточные вариации КПО (9 – 23 часа) при всех 7 типах погоды. Было установлено, что при всех 7 типах погоды суточный ход вариаций КПО характеризовался максимальным значением в пределах 15 – 16 часов и минимальным значением утром и ночью. Во время погоды 1-го типа значение КПО всегда выше, чем во время погоды 2-го типа. Основная причина этого явления – высокая влажность во время погоды 2-го типа. Во время погоды 3-го типа значение КПО всегда выше, чем во время погоды 4-го типа. Основная причина этого явления в этом случае – высокая влажность во время погоды 4-го типа. Аналогично, и во время погоды 5-го типа значение КПО всегда выше, чем во время погоды 6-го типа. Основная причина этого явления также высокая влажность во время погоды 6-го типа. Во время погоды 7-го типа значение КПО ниже, чем во время всех остальных (1 – 6) типов погоды. И в этом случае, основная причина этого явления – высокая влажность. Из всех рассмотренных (1 – 7) типов

погоды, наибольшая величина КПО наблюдается при погоде 3 –го и 5-го типов. Причиной этого, в основном, является скорость ветра и связанная с этим турбулентность воздуха, в результате воздействия которых происходит перенос озона из верхних слоев в приземный слой воздуха. Изменчивость КПО всех семи типов погоды характеризуется весенним максимумом и осенним минимумом. Рассмотрение изменчивости КПО всех семи типов погоды за период 2003 – 2012 годов показало, что с 2008-го года значение КПО резко меняется в условиях погоды 3 – 6 типов. Причиной этого, в основном, должно быть загрязнение атмосферы из-за переноса масс воздуха северо-западными и юго-восточными ветрами [4].

Было проведено исследование изменчивости КПО в условиях различной погоды в двух: экологически чистом и загрязненном пунктах г. Тбилиси. Экологически сравнительно чистым пунктом выбрали район Делиси, точнее место расположения отдела космических лучей Института геофизики АН Грузии. Местом сравнительно загрязненной территории была выбрана территория Академгородка – измерения производились в здании Института геофизики. В указанных пунктах измерения проводились синхронно с июля 2003-го года по ноябрь 2005-го года. Для изучения влияния погоды на величину КПО, были проведены исследование для 7 типов погоды, аналогичные проведенном в Руиспири:

1. Полностью или преимущественно чистое небо, штиль или слабый ветер;
2. Полностью или преимущественно облачное небо, штиль или слабый ветер;
3. Полностью или преимущественно чистое небо, северо-западный ветер;
4. Полностью или преимущественно облачное небо, северо-западный ветер;
5. Полностью или преимущественно чистое небо, юго-восточный ветер;
6. Полностью или преимущественно облачное небо, юго-восточный ветер;
7. Полностью облачное небо, дождь (обложной), снег, туман.

При выборе указанного распределения температуры было учтено то обстоятельство, что господствующее направление ветра в Тбилиси – северо-западное и юго-восточное. В Делиси, в течение дня, наименьшее значение КПО наблюдалось во время погоды 2-го и 7-го типов, а наибольшая – во время погоды 3-го и 4-го типов. Здесь основную роль в росте КПО играет северо-западный ветер. Что касается юго-восточного ветра, то и он вызывает рост КПО, но значительно слабее. Во время процесса 1-го типа в Делиси, при наличии солнечной радиации, приземный озон из-за сравнительно чистого воздуха в результате фотохимических процессов не образуется. Во время процессов 2-го типа диффузионно перенесенный из стратосферы озон распадается ввиду высокой влажности воздуха. Во время процессов 3-го и 4-го типов, озон, перенесенный ветром из стратосферы, превосходит количество озона, которое расходуется из-за влажности облаков. Во время процессов 5-го и 6-го типов озон, благодаря турбулентности воздуха, переносится из стратосферы, но в это время юго-восточные ветры вызывают загрязнение атмосферы и, соответственно, понижение концентрации озона [5].

Наименьшее значение КПО в Академгородке в течение дня наблюдалось во время погоды 2-го и 7-го типов, а самое высокое – во время погоды 1-го, 3-го и 5-го типов. Во время погоды 1-го типа воздух в Академгородке настолько загрязнен, что происходит образование озона в результате фотохимических процессов. Во время процесса 2-го типа уровень загрязнения атмосферы высокий, однако, ввиду облачности фотохимические процессы не происходят и озон не образуется. Наоборот, это загрязнение вызывает расход озона, перенесенного диффузией из верхних слоев. Во время процесса 3-го типа атмосфера чистая, перенесенный ветром озон не расходуется и наблюдается его высокая концентрация. Во время процесса 4-го типа из-за облачности и высокой влажности перенесенный турбулентностью озон расходуется, в результате чего наблюдается низкая его концентрация. Во время процессов 5-го типа озон переносится юго-восточным ветром из верхних слоев и, кроме этого, образуется в загрязненной атмосфере в результате фотохимических реакций. В результате этого во время процессов 5-го

типа наблюдается высокая концентрация озона. Во время процессов 6-го типа озон, перенесенный турбулентностью, расходуется вследствие высокой влажности воздуха, а вследствие недостаточной солнечной радиации возникновения озона в результате фотохимических реакций не происходит. Во время процессов 7-го типа в атмосфере наблюдается высокая влажность, что вызывает распад озона, перенесенного из высоких слоев, вследствие чего КПО низкая [5].

Сравнение изменчивости КПО в двух различных со сравнительно чистым и загрязненным воздухом районах г. Тбилиси показывают своеобразие изменчивости КПО в связи с чистой атмосферой. В частности, ввиду того, что атмосфера в Делиси сравнительно чище, чем в Академгородке, во время процесса первого типа, когда в атмосфере Академгородка происходит образование смогового озона вследствие фотохимических процессов, в атмосфере Делиси этого не наблюдается вследствие низкой концентрации необходимых для протекания фотохимических процессов загрязняющих газов. Во время процессов 2-го типа КПО в Академгородке выше, чем в Делиси. Возможно в это время, вследствие высокого уровня загрязненности воздуха в Академгородке, в солнечные периоды дня происходит образование озона. Аналогичная картина должна иметь место во время процессов 5-го и 6-го типов. Во время процесса 4-го типа КПО в Делиси выше. В это время в обоих районах при чистой атмосфере смоговый озон не образуется. Однако, вследствие того, что воздух в Академгородке более загрязнен, чем в Делиси, там перенесенный турбулентностью озон расходуется интенсивнее. Во время процесса 7-го типа в обоих районах наблюдаются примерно одинаковые условия (высокая влажность), вследствие чего КПО в обоих районах примерно одинакова.

По данным оптических и электрохимических озонзондирований атмосферы были получены профили вертикального распределения озона над различными районами Грузии. Было установлено, что грозовые процессы, струйные течения и вторжение воздушных масс создают слоистую структуру ВРО. Существенным фактором переноса озона из одного слоя атмосферы в другой является турбулентность [1, 6-8].

Подробно были изучены долговременные вариации ОСО в Грузии, построены карты распределения ОСО над ее территорией и соседними регионами (Одесса, Самара, Ашхабад, Алма-Ата). Было отмечено наличие отрицательных трендов ОСО как для среднесезонных, так и среднегодовых значений [10-12].

Ряд работ был посвящен исследованиям связей озона с атмосферными аэрозолями, его роли в образовании льдообразующих ядер, возникновению фотохимического смога в Тбилиси, роли озона в качестве индикатора загрязнения воздуха [1, 11-15].

В монографии [15] представлен общий статистический анализ значений КПО в Тбилиси вне зависимости от условий погоды. В частности, в 2009-2011 гг. концентрация приземного озона менялась от 0 до 166 мкг/м³. Изменчивость концентрации приземного озона в 1984-2011 гг. происходила в соответствии с полиномом четвертой степени. С 1984 по 1997-1998 гг. происходил рост КПО, затем – до 2006-2007 гг., уменьшение и в 2008-2011 гг. – вновь рост. Была получена физико-статистическая модель связей процессов образования фотохимического смога и озона с различными параметрами атмосферы, на основании которой установлены условия образования смогового озона в различные сезоны года. Получена карта распределения КПО в Тбилиси. Показано, что по данным стационарного пункта измерений можно оценить уровень КПО в Тбилиси в целом. Разработаны ультракраткосрочная (2-5 часов) и краткосрочная (12 часов) статистические модели прогнозирования смогового озона, оправдываемость которых составляет 64-78 %.

Были проведены комплексные исследования влияния загрязнений атмосферы и озона на рост различных заболеваний и смертности, в том числе по поводу сердечно-сосудистых заболеваний [1, 15-21]. Показано, что в условиях города Тбилиси концентрация приземного озона 50 мкг/м³ и выше очень негативно влияет на здоровье людей и приводит к росту

смертности [15,21]. Эта концентрация в 3-5 раз ниже принятых в Европе и США предельно допустимых концентраций озона.

Рост КПО и сопутствующих ему вредных для здоровья людей компонентов смога в среднем увеличивают среднегодовую смертность населения г. Тбилиси на 1680 человек, что составляет 14.1 % от среднегодовой смертности населения города. Это в 3 раза выше, чем для тех же параметров в развитых странах. Также установлено, что в последние годы по сравнению с восьмидесятыми годами прошлого столетия, население г. Тбилиси стало более чувствительным к загрязнению воздуха (негативные эффекты для здоровья людей и случаи летального исхода происходят при более значимых КПО) [15,21,22].

В работе [23] было изучено влияние вариаций среднегодовых значений температуры воздуха, концентрации приземного озона и интенсивности галактических космических лучей на смертность населения города Тбилиси. В частности, было получено, что в пределах вариационного размаха вклад исследуемых параметров в изменчивость смертности следующий: случайной компоненты температуры воздуха – 8.5 %, реальных значений концентрации приземного озона и интенсивности космических лучей – 20.9 % и 16.5 % соответственно.

Для борьбы с фотохимическим смогом была проведена серия экспериментов с целью найти способ воздействия на озон высоких концентраций. Для воздействия использовались воды разной минерализации и паро-водяная смесь. На основании проведенных экспериментов была предложена предварительная методика воздействия на высокие концентрации озона с целью ее уменьшения [15,24].

Совместно с украинскими учеными с использованием методологии определения распределения содержания озона в нижней тропосфере по данным спутниковых и наземных измерений в Тбилиси получены карты 2D и 3D распределения содержания озона в 2.5-километровом слое атмосферы над территориями Грузии и сопредельных стран [25-27].

Литература

1. Харчилава Дж.Ф., Амиранашвили А.Г. Исследование вариации атмосферного озона в Грузии. М. МГК при президиуме АН СССР, производственно-издательский комбинат ВИНТИ, 1988, 114 с.
2. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Картвелишвили Л.Г. Аэросиноптическое состояние и изменчивость концентрации приземного озона в Кахетии при грозо-градовых процессах, Тр.Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 125-129.
3. Кварацхелия И.Ф. Аэрологические исследования в Закавказье. Гидрометеиздат, Л., 1964, 152 с.
4. Харчилава Дж., Багашвили Н., Чихладзе В. Исследование вариации концентрации приземного озона в экологически чистой среде. Тр.научн конференции, посвященной 80-ти летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 187-192.
5. Kharchilava J., Kekenadze E., Chkhaidze G., Mchedlishvili K. Analysis of weather dependent variations of ozone concentration in near earth air in hot pollution free and pollution pars of Tbilisi. Bulletin the Georgian Academy of sciences, 174, №3, 2006, p. 427-430.
6. Харчилава Д.Ф., Карцивадзе А.И., Амиранашвили А.Г., Чихладзе В.А., Джинчарадзе А.Х., Локапишвили М.Г., Хведелидзе Р.З. Некоторые результаты озонозондирования атмосферы в Грузии. Тез. Докл. 3-ей Всесоюзн. конф. по аэрологии, Москва, 24-30 июня 1985, с. 148-149.
7. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г., Локапишвили М.Г. Некоторые характеристики вертикального распределения озона над территорией Грузии, Сб. научн. тр. “Фотохимические процессы земной атмосферы”, М., Наука, 1990, с. 231-234.

8. თავართქილაძე კ., ბეგალიშვილი ნ., ხარჩილავა ჯ., მუმლაძე დ., ამირანაშვილი ა., ვაჩნაძე ჯ., შენგელია ი., ამირანაშვილი ვ. ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში. ჰავის განსაზღვრული ზოგიერთი პარამეტრის რეჟიმი და მისი ცვალებადობა. საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია. გეოგრაფიის, გეოფიზიკის და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტები, თბილისი, ISBN99928-885-4.7, მონოგრაფია, 2006, 177 გვ.
9. Kharchilava J., Tavartkiladze K., Lokapishvili M., Amiranashvili V. On the Total Ozone Variations in Georgia. J. of Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Cosmic Rays. Vol. 2B, Tbilisi, 1997, p. 39-50.
10. Amiranashvili V., Kharchilava J., Lokapishvili M., Tavartkiladze K. The Variability and Distribution of the Total Atmospheric Ozone in Georgia. Bull. of Georgian Acad. Sci., 157, N1, Tbilisi, 1998, pp. 53-55.
11. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Institute of Geophysics, Monograph, Trans. of M. Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sci., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.
12. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере, Тбилиси, Мецниереба, 1991, 113 с.
13. Амиранашвили А.Г., Бლიაძე Т.Г., Киркიტაძე Д.Д., Никофоров Г.В., Нодия А.Г., Харчилава Д.Ф., Чанкветაძე А.Ш., Чихლაძე В.А., Чочишвили К.М., Чхаიძე Г.П. Некоторые предварительные результаты комплексного мониторинга концентрации приземного озона (КПО), интенсивности суммарной солнечной радиации и содержания в воздухе субмикронных аэрозолей в Тбилиси в 2009-2011 г. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 62, Тб.:, 2010, с. 189-196.
14. Kharchilava J., Bliadze T., Chikhladze V. Connection Between Surface Ozone Concentration and Visibility in Tbilisi. Proc. of Int. Conf. "Environment and Global Warming", Dedicated to the 100th Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, p. 123-127.
15. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical Smog in Tbilisi. Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2012, vol. 63, 160 p., (in Georgian).
16. Kharchilava D., Amiranashvili A., Amiranashvili V., Chikhladze V., Gabedava V. Long-term variations of atmospheric ozone in Georgia and their connection with human health. Proc. 1st Int. Conf. on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Tbilisi, Georgia, October 6-7, 2001, pp. 80-82.
17. Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Харчилава Д.Ф., Таварткиладзе К.А., Горошелидзе Т.И., Габедავა В.А. Оценка влияния долговременных вариаций общего содержания озона на изменчивость режима биологически активной ультрафиолетовой солнечной радиации в Грузии. Сб. докл. 3-ей Межд. конф. "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов", Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 76-77.
18. Амиранашвили А., Чихლაძე В., Киркიტაძე Д., Тархნიшвили Л., Амиранашვილი Г., Чихლაძე А. Радиационные риск-факторы и безопасность населения, Тб.:, 2005, 32 с., <http://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/18488>
19. Amiranashvili A.G., Gogua R.A., Matiashevili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Khazaradze K.R., Kharchilava J.F., Khurodze T.V., Chikhladze V.A. The Estimation of the Risk of Some Astro-Meteo-Geophysical Factors for the Health of the Population of the City of Tbilisi. Int. Conference "Near-Earth Astronomy 2007" Abstract, Terskol, Russia, 3-7 September 2007, p. 86.

20. ამირანაშვილი ა.გ., ჩიხლაძე ვ.ა., ბლიაძე თ.გ. Современное состояние вопроса о воздействии фотохимического смога и приземного озона на здоровье человека, Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 62, Тб.:, 2010, с. 177–188.
21. Amiranashvili A., Khurodze T., Shavishvili P., Beriashvili R., Iremashvili I. Dynamics of the Mortality of the Population of Tbilisi City and its Connection with the Surface Ozone Concentration. Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (B), Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol.16b, Tbilisi, 2013, pp. 31-38.
22. აპხაიდზე ა.ა., ბალავაძე ა.შ., ნიკიფოროვ გ.ვ., ხარჩილავა დ.ფ., ჩხაიდზე გ.პ. Об исследованиях атмосферного озона в институте геофизики им. М. Нодиа. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 66, Тбилиси, 2016, с. 191-198.
23. Amiranashvili A.G., Bakradze T. S., Berianidze N.T., Japaridze N.D., Khazaradze K.R. Effect of Mean Annual Changeability of Air Temperature, Surface Ozone Concentration and Galactic Cosmic Rays Intensity on the Mortality of Tbilisi City Population. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.19B, Tbilisi, 2016, pp. 135-143.
24. ამირანაშვილი ა.გ., ბლიაძე თ.გ., ჩიხლაძე ვ.ა. Лабораторное моделирование приземного озона высокой концентрации. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 151-156.
25. Stankevich S. A. , Titarenko, O. V., Amiranashvili, A. G., Chargazia, Kh. Z. Analysis of the Atmosphere Aerosol and Ozone Condition Over Tbilisi Using Satellite Data and Ground Truth Measurements. 1 4th Ukrainian Conference on Space Research, Uzhgorod, September, 8-12, 2014, Abstracts, Kyiv, 2014, p. 161.
26. Stankevich A.S., Titarenko O.V., Amiranashvili A.G., Chargazia Kh. Z. Determination of Distribution of Ozone Content in Lower Troposphere and Atmospheric Aerosol Optical Thickness over Territory of Georgia Using Satellite Data and Ground Truth Measurements. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue (B). Physics of Atmosphere, Ocean, and Space Plasma, v.17b, 2014, pp. 26-37.
27. Stankevich S., Titarenko O., Amiranashvili A., Chargazia Kh. Modeling of Ozone Content Distribution in Lower Troposphere over the Territory of Georgia Using the Data of Satellite and Ground Observations. Bulletin of the Georgian National Academy of sciences, vol. 9, No. 2, 2015, pp. 54-58.

საქართველოში ატმოსფერული ოზონის კვლევების

ზოგიერთი შედეგები

ხარჩილავა ჯ.

რეზიუმე

საქართველოში ატმოსფერული ოზონის კვლევები და იწყო 1957 წელს საერთაშორისო გეოფიზიკურ წელთან დაკავშირებით და გრძელდება დღესაც. იზომებოდა ოზონის საერთო რაოდენობა (ოსრ) აბასთუმანში, მთა იალბუზზე (დაბა ტერსკოლი), თბილისში, ს. რუისპირში, სოხუმში. იზომებოდა მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია (მოკ) თბილისში, ს. რუისპირში, სოხუმში, მესტიაში, ზუგდიდში და ა.შ. ოზონის ვერტიკალური განაწილების გაზომვები ჩატარდა ს. რუისპირში და სოხუმში. დადგინდა, რომ ოსრ-ის მაქსიმუმი დაიკვირვება გაზაფხულზე, ხოლო მინიმუმი შემოდგომას. მოკ-ის დღელამურ სვლაში მაქსი-

მუმი დაიკვირება 13 – 15 საათზე, მინიმუმი კი დილით და საღამოს. მოკ-ის სეზონურ სვლაში მაქსიმუმი დაიკვირება გაზაფხულზე და შემოდგომით, ხოლო მინიმუმი ზამთარსა და ზაფხულში. ოზონის ვერტიკალური განაწილების შესწავლისას აღმოჩნდა, რომ ელჭექის ღრუბლების განვითარების სტადიაში მოკ ამ ღრუბლის ქვემოთ მცირდება, ხოლო ღრუბლის პერიფერიაში იზრდება. ელჭექის ღრუბლის დაშლისას მოკ მკვეთრად იზრდება 100-200%-ით დააღწევს 100-150 მკგ/მ³-ს. აღმოჩნდა, რომ ელჭექის პროცესის მიმდინარეობისას ტროპოსფეროში დაიკვირება ოზონის მეტად მაღალი კონცენტრაცია, რომელიც თავის სიდიდით უახლოვდება ოზონის ვერტიკალური პროფილის მაქსიმუმს (300 – 500 მკგ/მ³-ს.).

თბილისში მზიანი, უქარო სუფთა ანტიციკლონარული ამინდის პირობებში მოკ-ის მაქსიმალური მნიშვნელობა აღწევს 50-60 მკგ/მ³-ს, დასავლეთი ძლიერი ქარების დროს დროს კი 70 მკგ/მ³-ს. მზიანი უქარო ამინდის პირობებში, ატმოსფეროს ძლიერი გაჭუჭყიანებისას მოკ-ი 11 საათიდან იწყებს ზრდას და ზოგჯერ აღწევს 100 – 160 მკგ/მ³-ს. მოკ-ის ასეთი მნიშვნელობა აღნიშნული ამინდის პირობებში შეიძლება გაგრძელდეს 17-18 საათამდე, რამაც შეიძლება დიდი ზიანი მიაყენოს ბიოსფეროს.

მ. ნოდისას გეოფიზიკის და მიწათმოქმედების ინსტიტუტების თანამშრომლებმა დაადგინეს, რომ ჰაერში ჭარბი ოზონის არსებობისას პარკოვანი მცენარეების თესლების გაღვივება არ ხდება. სოფელ კორცხელში (ზუგდიდის რაიონი) ელჭექის დროს და ფიქსირდა ოზონის მაღალი კონცენტრაცია (80 მკგ/მ³-ს), რამოდენიმე საათის შემდეგ დაიწყო ლიმონის ყვავილების მასიური ცვენა.

ბიოსფეროსთვის მავნეა ნორმაზე დაბალი კონცენტრაციებიც, რამდენადაც ოზონი წარმოადგენს ბუნებრივ დეზინფექტორს. მისი სიმცირის ან არ არსებობის დროს ჰაერში ინტენსიურად მრავლდებიან სხვადასხვა ინფექციური დაავადების მიკრობები.

Некоторые результаты исследований атмосферного озона в Грузии

Харчилава Дж.Ф.

Реферат

Представлена обзорная информация о проведенных в Грузии исследованиях атмосферного озона с 1957 года по настоящее время.

Some Results of Investigations of Atmospheric Ozone in Georgia

Kharchilava J.

Abstract

The paper considers the survey information about the conducted investigations on atmospheric ozone since 1957 in Georgia.

АЭРОЗОЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ В АТМОСФЕРЕ

Бердзенишвили Н.М., Давиташвили М.Д.

*Телавский государственный университет им. Якоба Гогებაшвили,
ул. Картули университета, 1, 2200, г. Телави, Грузия*

Введение: В атмосфере аэрозольные загрязнения воспринимаются в виде дыма, тумана. По своему происхождению аэрозоли подразделяются на естественные и искусственные. Первые возникают в природных условиях без участия человека. Они поступают в тропосферу (реже – в стратосферу) при извержении вулканов, сгорании метеоритов, при возникновении пылевых бурь, поднимающих с земных поверхностей частицы почвы и горных пород, а также при лесных и степных пожарах. Во время извержения вулканов, черных бурь или пожаров образуются громадные пылевые облака, которые нередко распространяются на тысячи километров. Штормовые ветры сбрасывают с гребней волн капельки морской воды, насыщенной солями хлоридов и сульфатов, которые осаждаются как на водной поверхности, так и на суше [1-3].

Аэрозоли в атмосфере: Атмосфера представляет собой химически сложную систему, находящуюся во взаимодействии с земной поверхностью, океаном и биосферой. Ее состав непрерывно меняется. В последнее столетие эти изменения резко ускорились в результате человеческой деятельности. В последние десятилетия выявилась тенденция – увеличение содержания в атмосфере аэрозолей и парниковых газов – окиси и двуокиси углерода, метана, хлорфторуглеродов и некоторых других [4-7]. Вследствие этого изменилось состояние климатической системы и произошло потепление климата на Земле [8]. Потепление сопровождается рядом неблагоприятных явлений, в частности, увеличением повторяемости экстремальных метеорологических и экологических ситуаций (ливневых осадков, наводнений, ураганов, оползней и т.п.) и опустыниванием южных территорий [9,10]. Мониторинг состава атмосферы и прогнозирование его изменений являются одним из важнейших условий устойчивого развития страны. Мониторинг дает необходимую информацию как для решения фундаментальных научных проблем, связанных с изучением и прогнозированием глобальных изменений среды обитания человека и климата Земли, так и для выработки эффективной экологической политики, в частности, в области принятия и исполнения международных соглашений: Монреальского и Киотского протоколов, Конвенций о трансграничном переносе загрязнений, об устойчивых органических загрязнителях и целом ряде других [11].

Неоднократно проводились конференции, посвященные экологическим проблемам, учёными были подготовлены статьи о загрязнении окружающей среды, был выявлен условный коэффициент устойчивости приземной атмосферы [12], который прилагается к статье в виде таб. 1. Данные в таб. температура воздуха и скорость ветра – в прямой связи со стабильностью аэрозолей в атмосфере.

Интерес к изучению закономерностей атмосферного переноса аэрозолей обусловлен все возрастающим антропогенным загрязнением. Основные компоненты атмосферного загрязнения – выхлопы автотранспорта и авиации, выбросы промышленных предприятий проникают в

атмосферу в аэрозольной форме и, переносясь на большие расстояния, оказывают глобальное воздействие на климат и всю биоту. Разрушение озонового слоя, кислотные дожди и уменьшение скорости воспроизводства биоты, нарушение круговорота кислорода, углерода и ряд других необратимых изменений – вот результат непреднамеренных антропогенных воздействий. Кроме того, политические реалии последних лет региона Кавказа не позволяют игнорировать возможность крупных террористических актов, с проникновением в атмосферу высокотоксичных аэрозольных образований [13].

Таб. 1

Условный коэффициент устойчивости приземной атмосферы
для некоторых пунктов Грузии [12]

Пункты	Среднее	Абс. Мин.	Абс. макс.	Макс. скорость ветра
Гагра	14.1	-13	40	-
Сухуми	14.1	-12	40	-
Поти	14.4	-11	41	5.1
Батуми	14.4	-8	40	-
Побережье Черное море	14.25	-11.0	40.2	5.0
Зugdиди	13.8	-19	40	3.1
Самтредиа	14.4	-17	41	5.1
Кутаиси	14.5	-17	42	8.0
Западная Грузия	14.2	-17.7	41	5.4
Ахалкалаки	4.9	-38	34	6.7
Ахалцихе	9.0	-32	39	2.6
Боржоми	9.1	-28	37	3.1
Южная Грузия	7.7	-32.7	-36.7	4.1
Гудаури	2.1	-33	27	2.6
Шови	5.2	-33	32	-
Они	10.0	-27	38	2.4
Гори	10.9	-28	40	4.5
Тбилиси	12.7	-23	35	3.9
Дманиси	7.8	-28	38	-
Гурджаани	12.4	-22	38	3.8
Телави	11.8	-23	-	-
Восточная Грузия	11.04	-24.8	37.8	-4.1

Выявилось, что приморские регионы характеризуются большими скоростями очистки атмосферы, чем удаленные от побережья. Условно, градация скоростей очистки нижней тропосферы выглядит для региона Кавказа следующим образом: для континентальных пунктов – не более 1.5 км/сутки; для «переходного режима вымывания» – до 2.0 км/сутки; для прибрежных-морских – свыше 2.2 км/сутки.

На практике эксплуатации особо опасных предприятий с крупнообъемными выбросами токсичной примеси, при нештатных ситуациях не исключены случаи возникновения необходимости быстрого удаления токсичного аэрозоля из конкретного помещения или локализации и предотвращения крупной утечки в атмосферу. Для этих целей служат обычно различные распылительные системы для получения жидкого «вымывающего» аэрозоля (форсунки, дисковые

распылители и т.д.); в качестве рабочей жидкости чаще всего используются водные смеси (растворы). При возможности регулирования дисперсности генерируемого водного аэрозоля можно существенно увеличить эффективность работы подобных устройств [4,6,12,14,15]. Значительное внимание уделяется также вопросам нейтрализации выхлопов двигателей автотранспорта [<http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/1035.html>].

Мониторинг атмосферного воздуха в Грузии проводит (ЮЛПП – Юридическое лицо публичного права) национальное агентство окружающей среды [<http://moe.gov.ge/>; <http://soegeorgia.blogspot.com>]. В настоящее время загрязнение воздуха наблюдается в пяти городах: Тбилиси, Батуми, Кутаиси, Зестафони и Рустави. Восемь наблюдательных будок расположены в данных городах. В 2013 году в Тбилиси, на территории метеостанции Вашлиджвари, была добавлена 4-ая станция автоматического измерения. С 2010 года агентство окружающей среды начало измерения концентрации приземного озона в Тбилиси (в Институте геофизики концентрация приземного озона в Тбилиси измеряется с 1984 по сей день [16]). В том же году начали измерять монооксид углерода в Кутаиси и Батуми, а также концентрации монооксида углерода и диоксида азота в Рустави. В 2014 году было добавлено измерение свинца в Кутаиси, а в Рустави – свинца и пыли (таблица 2).

Таб. 2

Среднегодовое содержание различных примесей в воздухе некоторых городов Грузии в 2012-2016 гг. [<http://moe.gov.ge>]

Город	Примеси (мг/м ³)				
	Пыль	Двуокисьсеры	Окись углерода	Двуокись азота	Свинец
Батуми	0.49	0.134	2.3	0.154	0.000143
Зестафони	0.40	0.131	1.4	0.048	-
Тбилиси	0.69	0.130	3.2	0.090	0.000140
Рустави	0.97	-	2.7	0.130	0.000133
Кутаиси	0.79	0.152	3.2	0.111	0.000083

При распределении существующих примесей в атмосфере замечается некоторая закономерность, по которой наибольшие концентрации пыли и окиси углерода приходятся на промышленные города (Рустави, Кутаиси, Тбилиси), что объясняется множеством выхлопов и выбросов промышленных предприятий и транспорта в атмосферу. Что касается Батуми, там происходит механическое очищение запыленности воздуха из-за его месторасположения – это приморский город у Чёрного моря.

По данным последних лет, основные загрязняющие регионы Грузии: Имерети, Квемо Картли, Шида Картли и Аджария. Более 91% общих выбросов в Грузии находятся в этих регионах, поскольку там расположены крупные предприятия, которые оказывают наибольшее влияние на атмосферу. Доля транспорта в Грузии в общем объёме выбросов значительно превышает долю загрязнения из стационарных источников и составляет около 71%. В зависимости от низкого качества потребляемого топлива увеличился общий показатель выбросов вредных веществ в атмосферный воздух. Несмотря на ужесточение массовое содержание серы в бензине и дизельном топливе по-прежнему высок и в 15-20 раз превышает стандарты, установленные Евросоюзом [15; <http://soegeorgia.blogspot.com>]. В то же время, из существующих в стране автотранспортных средств – 37% собрано в Тбилиси.

За последние три десятилетия в секторе физики атмосферы Института геофизики им. М.З. Нодиа проводились теоретические и экспериментальные исследования физических характеристик и вариаций минеральных и вторичных аэрозолей (распределение по размерам, весовая и

счетная концентрации, коагуляция, конденсационные и льдообразующие свойства, оптические характеристики, влияние ионизирующего излучения на образование вторичных аэрозолей и др.) [15,17]. В работе [18] приведены результаты исследования вариаций концентрации субмикронных аэрозолей диаметром ≥ 0.1 мкм (LgN) и их связи с содержанием радона (Rn) в приземном слое воздуха города Тбилиси. Были проанализированы данные средних дневных значений исследуемых параметров с декабря 2009 по ноябрь 2010 г. без учета погодных условий (365 дней, с 9 до 17-18 час.). Изучены особенности вариаций радона и субмикронных аэрозолей в течение года, а также в зимний, весенний, летний и осенний сезоны. Выявлено влияние радона на формирование субмикронных аэрозолей для указанных периодов года. Изменчивость концентрации субмикронных аэрозолей и содержания радона в разные сезоны имеет сложный характер. Временной ход Rn и LgN в различные периоды года имеет различный вид. Внутригодовой ход – полином десятой степени для Rn и LgN, зима – линейная регрессия для Rn и LgN, весна – полином пятой степени Rn и LgN, лето – линейная регрессия для Rn и полином пятой степени для LgN, осень – полином шестой степени для Rn и десятой степени для LgN. Проведен корреляционный и регрессионный анализ связей между реальными значениями и остаточными компонентами временных рядов LgN и Rn для указанных сезонов года. Во все сезоны года наблюдается прямая связь между содержанием радона и концентрацией субмикронных аэрозолей. Для реальных данных тесная корреляционная связь наблюдается осенью, близкая к тесной – летом; для остаточных компонентов – зимой и летом соответственно.

Заключение: Особое внимание уделялось исследованию влияния различных компонентов фотохимического смога на здоровье людей [15, 19, 20]. Так, в частности было получено, что при среднедневной концентрации субмикронных аэрозолей более 1000 см^{-3} в Тбилиси на 11 % отмечался рост числа вызовов скорой медицинской помощи [20]. Результаты указанных выше исследований согласуются с международными оценками экологической ситуации в Грузии.

Согласно Международным исследованиям 2017 года (Вашингтонский университет, США), Грузия занимает третье место в мире в связи с уровнем смертности из-за загрязнения воздуха. В результате исследований, проведенных Йельским университетом (США), согласно общему загрязнению, с 2016 года Грузия занимает 111-е место из 180 стран мира [<https://www.apsny.ge/2016/pol/1462474371.php>]. Что касается Тбилиси, то столица Грузии среди 273 городов Мира с 2018 года по уровню загрязненности воздуха занимает 58-ое место [https://sputnik-georgia.ru/Tbilisi/20181106/242830645/Tbilisi-popal-v-top-60-samykh-zagryaznenny_kh-gorodov-mira.html]. Поэтому в будущем необходимы кардинальные решения вопроса экологического оздоровления окружающей среды в Грузии.

Литература

1. Химия нижней атмосферы – под ред. Расула С., М., Мир, 1976, 408 с.
2. Кондратьев К.Я., Москаленко Н.И., Поздняков Д.В. Атмосферный аэрозоль, Л., Гидрометеиздат, 1983, 224 с.
3. Таварткиладзе К.А. Моделирование аэрозольного ослабления радиации и методы контроля загрязнения атмосферы, Тбилиси, Мецниереба, 1989, 203 с.
4. Болбас М. М. Основы промышленной экологии. Москва: Высшая школа, 1993.
5. Данилов-Данильян В.И. «Экология, охрана природы и экологическая безопасность» М.: МНЭПУ, 1997 г.
6. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере, Тбилиси, Мецниереба, 1991, 113 с.
7. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Gzirishvili T.G., Kharchilava J.F., Tavartkiladze K.A. Modern Climate Change in Georgia. Radiatively Active Small Atmospheric Admixtures, Institute

- of Geophysics, Monograph, Trans. of M.Nodia Institute of Geophysics of Georgian Acad. of Sci., ISSN 1512-1135, vol. LIX, 2005, 128 p.
8. თავართქილაძე კ., ბეგალიშვილი ნ., ხარჩილაძე ჯ., მუმლაძე დ., ამირანაშვილი ა., ვაჩნაძე ჯ., შენგელია ი., ამირანაშვილი ვ. – ჰავის თანამედროვე ცვლილება საქართველოში. ჰავის განსაზღვრული ზოგიერთი პარამეტრის რეჟიმი და მისი ცვალებადობა, საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია. გეოგრაფიის, გეოფიზიკის და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტები, თბილისი, ISBN 99928–885–4.7, მონოგრაფია, 2006, 177 გვ.
 9. Алпенидзе М., Элизбарашвили Э., Харадзе К. Общая физическая география. Издательство Тбилисского университета, 2003 г.
 10. Элизбарашвили Э. Ш, Элизбарашвили М. Э. Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Тбилиси, 2012, 1.
 11. Цицкишвили М.С., Амиранашвили А.Г. Глобальный мониторинг динамики аэрозольной компоненты атмосферы средних широт на синхронно-сопряженных фоновых стационарах северного и южного Кавказа (предложение по совместному проекту). Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября, Москва, 2014, с. 86.
 12. Цицкишвили М., Лушников А., Загайнов В., Пхаладзе М., Амиранашвили А., Цхакая К., Чихладзе В., Киквадзе Р., Гогинава И.Б. Некоторые результаты исследований и перспективы активных воздействий на атмосферные аэрозоли. International Scientific Conference «Modern Problems of Ecology», Collection of reports, ISSN 1512 -1976, Kutaisi 2014, с. 180-191.
 13. Amiranashvili A.G. Increasing Public Awareness of Different Types of Geophysical Catastrophes, Possibilities of Their Initiation as a Result of Terrorist Activity, Methods of Protection and Fight with Their Negative Consequences. Engaging the Public to Fight Consequences of Terrorism and Disasters. NATO Science for Peace and Security Series E: Human and Societal Dynamics, vol. 120. IOS Press, Amsterdam•Berlin•Tokyo•Washington, DC, ISSN 1874-6276, 2015, pp. 155-164. <http://www.nato.int/science>; <http://www.springer.com>; <http://www.iospress.nl>
 14. Амиранашвили А.Г., Цицкишвили М.С. Аэрозольная экспресс – очистка атмосферы. Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября, Москва, 2014, с. 98.
 15. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V. Photochemical Smog in Tbilisi. Monograph, Trans. of Mikheil Nodia institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, Tbilisi, 2012, vol. 63, 160 p., (in Georgian).
 16. Харчилава Дж.Ф., Амиранашвили А.Г. Исследование вариации атмосферного озона в Грузии. М. МГК при президиуме АН СССР, производственно-издательский комбинат ВИНТИ, 1988, 114 с.
 17. Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Чанкветадзе А.Ш., Чхаидзе Г.П. Некоторые результаты исследований атмосферных аэрозолей в институте геофизики им. М.З. Нодиа за последние три десятилетия. Тр. Института геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 66, Тбилиси, 2016, с. 178–185.
 18. Amiranashvili A., Chargazia Kh. Intra-Annual and Seasonal Variations of Sub-Micron Aerosols Concentration and their Connection with Radon Content in Surface Boundary Layer of Tbilisi City. Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences, vol. 10, N 2, 2016, p. 72-78.
 19. Амиранашвили А. Г., Чихладзе В. А., Блиадзе Т. Г. Современное состояние вопроса о воздействии фотохимического смога и приземного озона на здоровье человека. Тр. Института геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 62, Тб.:, 2010, с. 177–188.
 20. Амиранашвили А. Г., Блиадзе Т. Г., Киркитадзе Д. Д., Чихладзе В. А., Чанкветадзе А. Ш. Субмикронные аэрозоли в атмосфере Тбилиси и их влияние на здоровье людей. Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября, Москва, 2014, с. 68.

აეროზოლური ეფექტი ატმოსფეროში

ბერძენიშვილი ნ., დავითაშვილი მ.

რეზიუმე

აეროზოლი წარმოადგენს მყარი ნაწილაკების ან თხევადი წვეთების შეერთებას ჰაერში. აეროზოლი შეიძლება იყოს ბუნებრივი ან ანთროპოგენური. ბუნებრივი აეროზოლების მაგალითებია ნისლი, მტვერი, ტყის ექსუდატები და გეიზერის ორთქლი. ანთროპოგენური აეროზოლის მაგალითებია სმოგი, ჰაერის დამაბინძურებელი ნაწილაკები და კვამლი. ატმოსფერული აეროზოლის რამდენიმე სახეობა მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს დედამიწის კლიმატზე: ვულკანები, უდაბნოს მტვერი, ზღვის მარილი, რომელიც წარმოშობილია ბიოგენური წყაროებისაგან და ადამიანური ფაქტორისაგან. ვულკანური აეროზოლები ამოფრქვევის შემდეგგოგირდის მჟავების სახით ფორმირდება სტრატოსფეროში და შეიძლება ორ წელზე მეტი ხნის განმავლობაში დაყოვნდეს და მზეზე ჰპოვოს ასახვა, ანუ მოხდეს ტემპერატურის შემცირება. უდაბნოს მტვერი, მინერალური ნაწილაკები შეჩერებულია დიდ სიმაღლეებზე, აკავებს სითბოს და შეიძლება იყოს მისი პასუხისმგებლობა ღრუბლების ფორმირების თავიდან ასაცილებლად. ადამიანის მიერ ნავთობისა და ქვანახშირის წვის შედეგად გამოიყოფა არა მხოლოდ სათბურის გაზები, არამედ ასევე მთელი რიგი საშიში ჰაერის დამაბინძურებლები, როგორცაა: გოგირდის დიოქსიდი, აზოტის ოქსიდები, პოლიციკლური არომატული ნახშირწყალბადები, ტოქსიკური ნივთიერებები, მძიმე მეტალები (მერკური, კადმიუმი, ტყვია, დარიშხანი, რადიოზოტოპები), მყარი ნაწილაკები და დიოქსინები. ეს ყველაფერი ქარის მიერ გადაიტანება ასობით კილომეტრზე და სულფატი აეროზოლები გავლენას ახდენს ღრუბლების ქცევაზე. 2017 წელს საერთაშორისო კვლევების (ვაშინგტონის უნივერსიტეტი) მონაცემებით, საქართველო მსოფლიოში მესამე ადგილზეა სიკვდილობის დონით ჰაერის დაბინძურების გამო. იელის უნივერსიტეტის (აშშ) მიერ ჩატარებული კვლევის შედეგად, მთლიანი დაბინძურების თანახმად, 2016 წლიდან საქართველო 180 ქვეყნიდან 111-ზეა.

Аэрозольный эффект в атмосфере

Бердзенишвили Н. М., Давиташвили М. Д.

Реферат

Аэрозоль представляет собой суспензию мелких твердых частиц или капель жидкости в воздухе или другом газе. Аэрозоли могут быть природными или антропогенными. Примерами природных аэрозолей являются туман, пыль, экссудаты леса и пар гейзеров. Примерами антропогенных аэрозолей являются дымка, загрязнители воздуха в виде частиц и дыма. Несколько видов атмосферного аэрозоля оказывают значительное влияние на климат Земли: вулканическая, пустынная пыль, морская соль, которая происходит из биогенных источников и производится человеком. Формирование вулканических аэрозолей в стратосфере после извержения в виде капель серной кислоты, которые могут преобладать в течение двух лет, и отражать солнечный свет, понижая температуру. Пустынная пыль, минеральные частицы, взорванные на большие высоты, поглощают тепло и могут нести ответственность за подавление образования облаков. Человеческие сульфатные аэрозоли, в основном от сжигания нефти и угля, влияют на поведение облаков. Согласно Международным исследованиям 2017

года (Вашингтонский университет, США), Грузия занимает третье место в мире в связи с уровнем смертности из-за загрязнения воздуха. В результате исследований, проведенных Йельским университетом (США), согласно общему загрязнению, с 2016 года, Грузия занимает 111-е место из 180 стран мира.

Aerosol Effect in the Atmosphere

Berdzenishvili N., Davitashvili M.

Abstract

An aerosol is a combination of solid particles or liquid droplets in the air, or another gas. Aerosols can be natural or anthropogenic. Examples of natural aerosols are fog, dust, forest exudates and geysers steam. Examples of anthropogenic aerosols are smog, particulate air pollutants and smoke. Several types of atmospheric aerosol have a significant effect on Earth's climate: volcanic, desert dust, sea-salt, originated from biogenic sources and man-made. Volcanic aerosol formed in the stratosphere after an eruption as droplets of sulfuric acid can prevail for up to two years, and reflect sunlight, lowering temperature. Desert dust, mineral particles blown to high altitudes absorb heat and may be responsible for inhibiting storm cloud formation. Man-made sulfate aerosols, primarily formed as a result of oil and coal burning, affect the behavior of clouds. According to the 2017 International Studies (University of Washington, USA), Georgia ranks third in the world due to the level of mortality caused by air pollution. As a result of the research conducted by Yale University (USA), according to the total pollution since 2016, Georgia is 111th out of 180 countries.

Хроника

**Международная научная конференция
“СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ”
Кутаиси, 21-22 сентября 2018 г.**

Глонти Н.Я.

Институт геофизики им М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили

21-22 сентября 2018 г. в Кутаиси (Грузия) была проведена международная научная конференция “СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ”.

Конференция была посвящена 100-летию основания Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили, 85-летию основания Государственного университета им. А. Церетели и 85-летию основания Института геофизики им. М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили.

Организаторами конференции: Государственный университет им. Акакия Церетели, Тбилисский государственный университет им. Ив. Джавахишвили, Институт геофизики им. М.З. Нодиа ТГУ, Национальная Академия наук Грузии, Кутаисско-Гаэнатская Епархия Грузинской Апостольской Православной Церкви, Академия экологических наук Грузии.

Почетные председатели конференции: митрополит Кутаисско-Гаэнатской епархии Грузинской Апостольской Православной Церкви, епископ Калистрат; президент Академии экологических наук Грузии, акад. Марат Цицкишвили; руководитель администрации ректора Государственного университета им. Акакия Церетели, проф. Роланд Копалиани; руководитель аппарата ректора и секретариата Академического Совета Тбилисского Государственного университета им. Ив. Джавахишвили проф. Мзекала Ачаидзе.

Председатель конференции: вице-президент Академии экологических наук Грузии, эмеритус-профессор Государственного университета им. Акакия Церетели – Теймураз Адеишвили.

Сопредседатели конференции: проф. Автандил Амиранашвили, ассоциированный проф. Магдана Джикия.

Ученый секретарь конференции: акад. доктор департамента физики Государственного университета им. Акакия Церетели Хатуна Кикалишвили.

Члены организационного комитета и редакционно-издательского совета:

акад. Тамаз Челидзе, проф. Марат Цицкишвили (редактор), проф. Александр Александров (Болгария), проф. Алексан Арзуманян (Армения), эмеритус – профессор Теймураз Адеишвили (редактор), проф. Автандил Амиранашвили, проф. Амиран Апциаури, проф. Акакий Гиргвлиани, проф. Рамаз Киладзе, проф. Джемал Кириа, проф. Нина Поволоцкая (Россия), проф. Ирина Сеник (Россия), ассоциированный проф. Нугзар Глонти, ассоциированный проф.р Эмзар Киласония, проф. Иосиф Тавберидзе, ассоциированный проф. Тенгиз Жвйтиашвили, ассоциированный проф. Серго Цагареишвили, ассоциированный проф. Натия Камкамидзе, ассоциированный проф. Мамука Цикоридзе, ассоциированный проф. Магдана Джикия, ассоциированный проф. Малхаз Микаберидзе, ассоциированный проф. Дареджан Чхиродзе, акад. доктор Хатуна

Кикалишвили, акад. доктор Мурад Беродзе, акад. доктор Хатуна Даварашвили, акад. доктор Леонардо Хведелидзе.

Работа конференции проходила в четырех секциях:

- Физико-химическая и космическая экология (25 докладов)
- Экология ландшафтов и охрана окружающей среды (19 докладов)
- Инженерная и продовольственная экология (20 докладов)
- Биомедицинская экология и экология духовного мира (21 доклад)

В работе конференции, кроме ученых из Грузии, принимали участие ученые из России, Болгарии, Украины, Швейцарии и Армении.

Первый день конференции проходил в академическом зале Гелатского монастырского комплекса (зеленый зал), второй – в Государственном университете им. Акакия Церетели.

Язык конференции и публикаций – грузинский, английский, русский.

Сборник трудов конференции (Международная научная конференция „Современные проблемы экологии“, Труды, ISSN 1512-1976, т. 6, Кутаиси, Грузия, 21-22 сентября, 2018, 435 с.) издан с благословения митрополита Кутаисско-Гаэзатской Епархии Владыки Калистрата.

Институт геофизики им. М.Нодиа ТГУ был представлен на конференции 19 докладами

В работе [1] было установлено, что связь между среднемесячной температурой воздуха в Кутаиси и такими показателями здоровья населения, как общее число вызовов скорой медицинской помощи, случаев госпитализации и летальных исходов, имеет вид полинома третьей степени. В целом, в теплые месяцы происходит сокращение общего количества вызовов скорой помощи, случаев госпитализации и смертей. В жаркие месяцы наблюдается ухудшение этих показателей здоровья человека, сравнимое с холодными месяцами года (увеличение количества вызовов скорой помощи, случаев госпитализации и смертей).

В исследовании [2] продемонстрированы некоторые результаты моделирования динамических полей и освоения нефти и других загрязняющих веществ в Грузинской черноморской прибрежной зоне. Численные модели дисперсии 2D и 3D-примесей, основанные на уравнении переноса-диффузии для неконсервативной примеси, являются компонентами самой восточной системы прогнозирования побережья Черного моря. Нестационарное поле морского течения, используемое в этих моделях, представлено Институтом геофизики им. М.З. Нодиа региональной моделью динамики Черного моря с высоким разрешением, которая является основой системы прогнозирования. Эта модель вложена в базовую модель черноморской динамики Морского гидрофизического института (Севастополь). Для решения уравнений переноса-диффузии используется метод двухциклического расщепления.

В статье [3] с использованием трехмерной модели масштаба бассейна черноморской динамики (BSM-IG, Тбилиси, Грузия) численно смоделированы некоторые черты верхнего смешанного слоя Черного моря (UML).

О возможности выявления слабых диэлектрических различий почвы под влиянием антропогенного воздействия с использованием GPR-метода изложено в работе [4].

Исследование георадара по периметру железобетонной платформы на дне карстовой пещеры Сатсбурлия проводилось с использованием 5 георадарных профилей слежения. В результате было обнаружено, что в области исследования нет общих подземных полостей, которые могут ослабить базу платформы и создать угрозу ее стабильности [5].

В работе [6] приведены результаты исследования динамики генерации и распространения электромагнитных волновых структур планетарной глобальной атмосферообразующей сверхнизкой частоты (ULF) в диссипативной ионосфере. Эти волны обусловлены пространственным неоднородным геомагнитным полем. Крупномасштабные волны слабо затухают. Волны генерируют геомагнитное поле от нескольких десятков до нескольких сотен нТл и более. Установлено, что планетарные ULF-электромагнитные волны при их нелинейном взаимодействии с

локальными сдвиговыми ветрами могут самолокализоваться в виде нелинейных долгоживущих одиночных вихрей, движущихся вдоль широтных кругов на запад, а также на восток со скоростью, отличной от фазовой скорости соответствующих линейных волн. Вихревые структуры переносят захваченные частицы среды, а также энергию и тепло. Нелинейные вихревые структуры представляют собой структурные элементы сильной макротурбулентности основных ионосферных моментов электромагнитной погоды на ионосферном уровне.

В работе [7] представлены результаты исследования механических характеристик стен различных зданий и качества их повреждений с использованием методов ультразвукового зондирования и томографии.

В работе [8] рассматриваются обнаруженные аномалии при подготовке землетрясений среднего класса. Для этой цели были обработаны данные об уровне воды и атмосферном давлении из сети гидродинамического мониторинга, а также данные геомагнитной обсерватории Душети. Исправлено изменение поля гидрогеодеформации, вызванное процессом подготовки землетрясений и отражением критического напряжения на уровне воды и аномальными изменениями геомагнитного поля. В результате были выявлены предварительные аномалии и подтверждена высокая чувствительность к геодинамическим процессам.

Целью исследования [9] была оценка ресурсов подземных вод для прогнозирования периода засухи. Во время исследования была организована метеорологическая сеть гидрологического мониторинга в трех речных бассейнах. Проанализировано накопление снега, снеготаяние и сток с использованием стабильных изотопов (^{18}O , ^2H). Хотя снегопад составляет около 30% годовых осадков, таяние воды является важным источником воды для рек (максимальный взнос около 50%). Среднее время прохождения грунтовых вод около 2-3 лет.

С использованием модели Зименкова – Иванова, для условий Кахетии (Грузия) получены расчетные данные о диаметре выпадающих на поверхность земли градин из облаков с апреля по октябрь, по всем декадам указанных месяцев. При начальных размерах града от 1.0 до 5.0 см и высоте земной поверхности от 300 до 700 метров над уровнем моря конечный размер выпадающего из облаков градин варьирует от 0 до 4.88 см в зависимости от высоты нулевой изотермы [10].

В работе [11] приводятся данные радиолокационных измерений максимальных размеров града и горизонтальной площади градовых зон облака с диаметром града $\geq 0,5$ см в течение двух градообразующих процессов 10 июня 2017 года над Тбилиси. Одновременно рассчитывался ожидаемый размер выпадающих на поверхность Земли градин с учетом радиолокационных данных об их диаметре в облаках. Получено удовлетворительное согласие расчетных и измеренных на поверхности земли размеров града.

Результаты статистического анализа среднемесячных значений содержания в воздухе пыли, диоксида азота, диоксида серы и окиси углерода в Тбилиси и Кутаиси в 2014-2015 гг. представлены в работе [12]. В среднем, уровень загрязненности воздуха пылью и окисью углерода в Тбилиси выше, чем в Кутаиси. Содержание в воздухе диоксидов азота и серы в обоих городах одинаковое. Содержание указанных примесей в обоих городах (кроме окиси углерода в Кутаиси) выше установленных для них в Грузии суточных норм предельно допустимых концентраций. Проведен корреляционный анализ связи между концентрациями указанных примесей, а также изучены особенности их изменчивости во времени.

В работе [13] рассмотрены вопросы специфики использования диффузионной модели изменения загрязнения почвы во времени.

В работе [14] отмечается, что в случае, если существует некоторый технический фактор, например, вибрация или шероховатость поверхности, нарушающих поток воды в гидравлическом канале, то ламинарный поток неизбежно превратится в турбулентный. Поэтому в условиях отрицательных факторов для замкнутого канала реки Вере, как и других рек и гидротехнических акведуков, необходимо использовать приближение с трубкой круглого сечения, которое на основе гидродинамической аналогии позволяет моделировать гидродина-

мические параметры канала. Эффект шероховатости проявляется, когда ее высота превышает толщину пограничного слоя. В этом случае гидравлическое сопротивление трубки заменяется нелинейным (квадратичным) законом. Река Вере резко поворачивает перед вторым каналом закрытого дна. После разрушительного наводнения 13.06.2015, в результате модернизации закрытого канала, направляющие стены были построены до второго канала. Авторы полагают, что в случае, если в этом месте будет другой поток, образуется зона застоя, то есть вода будет локально запружена. Этот эффект, подобно эффекту шероховатости, вызовет увеличение гидравлического сопротивления канала и, как следствие, уменьшение расхода воды.

Приводятся данные о климатическом индексе туризма (КИТ) в Кутаиси (Имеретинский регион Западной Грузии), имеющего важное значение для планирования развития курортно-туристической индустрии этой местности. Внутригодовое распределение значений КИТ для Кутаиси имеет бимодальный характер с экстремумом в мае и сентябре (категория «Отлично»). В декабре, январе и феврале значения КИТ варьируют от 31 до 38 (категория «Неблагоприятно»). Таким образом, для развития в Кутаиси массового туризма благоприятный сезон – с марта по ноябрь [15].

С использованием электрического метода поиска (электропоиск) изучена влажность горных пород и возможное существование подземных вод на разных глубинах. В оползневых зонах исследованы литология, возможное существование воды и проведена оценка коэффициента безопасности оползней [16].

В работе [17] отмечается, что одним из способов использования солнечной энергии является применение фотоэлектрических систем. Описаны основные компоненты фотогальванической системы и их назначение, основные схемы строительных систем. Приведены примеры расчета энергии системы

Получены картины пространственного распределения пыли, проанализировано влияние орографии, горизонтальной и вертикальной турбулентности, а также адвективных процессов на ее распространение в атмосфере в условиях города Зестафони (Грузия) [18].

В работе [19] представлена обзорная информация об истории создания и 85-летней деятельности Института геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета имени Ивана Джавахишвили.



Ведущие заседания секции в зеленом зале Гелатского монастырского комплекса
(слева направо: Т. Адеишвили, М. Цицкишвили, Н. Глonti)



Доклад зам. директора Института геофизики им. М.З. Нодиа Д.К. Кириа



Участники заседания секции в зеленом зале Гелатского монастырского комплекса



Интервью директора Института геофизики им. М.З. Нодиа Н.Я. Глonti представителю пресс-службы Кутаисско-Гаэнатской Епархии



Организаторы конференции и сорудники Института геофизики им. М.З. Нодиа во дворе Гелатского монастырского комплекса



Организаторы конференции и сорудники Института геофизики им. М.З. Нодиа в аудитории Государственного университет им. Акакия Церетели



Организаторы конференции и сорудники Института геофизики им. М.З. Нодиа во дворе Государственного университет им. Акакия Церетели

Литература

1. Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Khazaradze R.R. Effects of Variations of the Monthly Mean Air Temperature on the Population Health of Imereti Region of Georgia. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 38-41.
2. Demetrashvili D. I., Kukhalashvili V. G. Application of Coastal Forecasting System to Simulate Spread of Polluting Substances in the Georgian Black Sea Coastal Area. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 47-50.
3. Kvaratskhelia D.U., Chargazia Kh. Z., Demetrashvili D.I. Numerical Investigation of the Upper Biologically Acting Turbulent Layer of the Black Sea. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 51-55.
4. ოდილაგაძე დ., ჭელიძე თ., ჯაში გ., ქირია ჯ., თარხნიშვილი ა., მიწიშვილი ი. ერთგვაროვან კონტინენტალურ ნიადაგის ფენებში ანტროპოგენული ჩარევით შექმნილი დიელექტრიკულად სუსტად განსხვავებული სივრცეების დაფიქსირება. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 79-82.
5. ოდილაგაძე დ., ქირია ჯ., ქობულაშვილი თ. საწურბლიას მღვიმის გეორადიოლოგიური კვლევის შედეგები. (წყალტუბოს კირქვული მასივი). საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 96-99.
6. Chargazia Kh., Kharshiladze O., Kvaratskhelia D. Global Weather-Forming ULF Electromagnetic Nonlinear Vortex Structures in the Shear Flow Driven Ionosphere Plasma. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 100-102.
7. ვარამაშვილი ნ., ჭელიძე თ., ჭელიძე ზ., გიგბერია მ., ლლონტი ნ. აკუსტიკური მეთოდები გეოდინამიკურ და გეომექანიკურ ამოცანებში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 103-106.
8. მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ., კობზევი გ., კერესელიძე ზ., გოუგაძე ნ., გოგუა რ., მათიაშვილი თ., დევიძე მ., ჭანკვეტაძე ა. ლითოსფეროში მიმდინარე დეფორმაციული პროცესების შესწავლა მულტიდისციპლინარული მონიტორინგით. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 112-115.
9. მელიქაძე გ., ჟუკოვა ნ., ზაპუა მ., თოდაძე მ., ვეფხვაძე ს., კაპანაძე ნ. კლიმატური ცვლილებების ფონზე წყლის რესურსების შეფასება სტაბილური იზოტოპების გამოყენებით. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 116-119.
10. Jamrshvili N. K., Tavidashvili Kh. Z. Estimation of the Diameter of Fallen to the Earth's Surface Hail Stones Taking into Account Their Size in the Cloud and the Heights of Zero Isotherm Under the Conditions of Kakheti Region of Georgia. International Scientific Conference „Modern

- Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 130-133.
11. Jamrlishvili N. K., Javakhishvili N.R., Sauri I. P., Tavidashvili Kh. Z., Telia Sh. O. Comparison of the Radar and Ground-Level Characteristics of the Hail Process on 10 June 2017 in Tbilisi. International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 134-137.
 12. Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Чанкветадзе А.Ш., Чихладзе В.А. Сравнительный анализ загрязнения воздуха в Тбилиси и Кутаиси. Международная научная конференция „Современные проблемы экологии“, Труды, ISSN 1512-1976, т. 6, Кутаиси, Грузия, 21-22 сентября, 2018, с. 157-160.
 13. ჩხიტუნძე მ., მათიაშვილი ს., კერესელიძე ზ. ნიადაგის დაბინძურების დროში ცვლილების დიფუზიური მოდელი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 218-222.
 14. ხვედელიძე ი., კერესელიძე ზ. წყლის სტაგნაციის ეფექტის თვისობრივ-რაოდენობრივი შეფასება ვერეს დახურული კალაპოტის მეორე გვირაბის წინ. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 223-226.
 15. Amiranashvili A.G., Japaridze N.D., Kartvelishvili L.G., Khazaradze K.R., Kurdashvili L.R. Tourism Climate Index in Kutaisi (Georgia). International Scientific Conference „Modern Problems of Ecology“, Proceedings, ISSN 1512-1976, v. 6, Kutaisi, Georgia, 21-22 September, 2018, pp. 227-230.
 16. ვარამაშვილი ნ., ჩიხლაძე ვ., ტეფნაძე დ., ამილახვარი დ., დვალი ლ., ჭიკაძე თ., ქაჯაია გ., ვარამაშვილი დ. ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება წყლის ძიების ამოცანებში და მეწყრული საშიშროების შესაფასებლად. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ.244-247.
 17. ჩიხლაძე ვ., ლლონტი ნ., ხელაძე გ., ცხვედიაშვილი გ., სკრიპნიკი დ., პრუდკი ვ. ფოტოვოლტაიკური სისტემები და მათი გამვითარების პერსპექტივები საქართველოში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 297-301.
 18. გიგაური ნ., გვერდწითელი ალ., სურმავა ა., ინჭირველი ლ. ინდუსტრიული რეგიონების ატმოსფეროში მტვრის გავრცელების შეფასება რიცხვითი მოდელირებით. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 311-313.
 19. ლლონტი ნ. თსუ მ. ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შექმნისა და განვითარების ისტორია. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, შრომები, ISSN 1512-1976, ტ. 6, ქუთაისი, საქართველო, 21-22 სექტემბერი, 2018, გვ. 373-379.

**საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია
„ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“
ქუთაისი, 21-22 სექტემბერი, 2018 წელი**

ღლონტი ნ.

რეზიუმე

წარმოდგენილია ინფორმაცია საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“ შესახებ. კონფერენცია მიძღვნილი იყო ი. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დაარსების 100 წლისთავის, აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტის დაარსების 85 წლისთავის და ი. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდias სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის 85 წლისთავისადმი.

**Международная научная конференция
“СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ”
Кутаиси, 21-22 сентября 2018 г.**

Глонти Н. Я.

Реферат

Представлена информация о международной научная конференции “СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ”, которая была проведена в Кутаиси, 21-22 сентября 2018 г. Конференция была посвящена 100-летию основания Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили, 85-летию основания Государственного университета им. А. Церетели и 85-летию основания Института геофизики им. М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили.

**International Scientific Conference
“MODERN PROBLEMS OF ECOLOGY”
Kutaisi, 21-22 September, 2018**

Ghlonti N.

Abstract

Information about the international scientific conference “MODERN PROBLEMS OF ECOLOGY”, which was carried out in Kutaisi 21-22 September 2018 is represented. Conference was dedicated to the 100th anniversary of the foundation of I. Javakhishvili Tbilisi State University, the 85th anniversary of the foundation of A. Tsereteli State University and the 85th anniversary of the foundation of M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakhishvili Tbilisi State University.

ПАМЯТИ КОЛЛЕГ

Дарахвелидзе Л.К., Деметрашвили Д.И., Хатиашвили В.Г.

Институт геофизики им М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили

Ушли из жизни много лет плодотворно проработавшие в Институте геофизики им. М.З. Нодиа доктор наук Г. Е. Гугунава, проф. А. А. Кордзадзе, акад. докт. Г.Г. Джаши и акад. докт. Н.Г. Хатиашвили.

Гурам Евгеньевич Гугунава



4 сентября 2017 года скончался известный грузинский геолог-геофизик, видный специалист по изучению одной из актуальнейших проблем разведочной и «большой» геофизики – внутреннего строения земной коры и верхней мантии Земли, бывший главный научный сотрудник Института геофизики, доктор геолого-минералогических наук Гурам Евгеньевич Гугунава.

Г.Е. Гугунава в 1956 году окончил географо-геологический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых». С 1954 г. он сотрудник отдела геоэлектричества и электрометрии Института геофизики, в 1956-1959 гг. аспирант института. В 1964 г. в Государственном университете г. Киева защитил кандидатскую диссертацию «Изучение глубинного строения Восточной Грузии методами магнитотеллурической разведки», в 1989 г. в Баку, в Институте геологии им. И.Н. Губкина защитил докторскую диссертацию «Взаимосвязь некоторых геофизических полей и глубинное строение Кавказа». Г.Е. Гугунава впервые построил и рассчитал стационарные трехмерные геотермические, термоупругие и термоденситные модели земной коры Кавказа и акваторий Черного и Каспийского морей: определил мощности и глубины залегания инверсионного слоя (коровой астеносферы) Кавказа и акваторий Черного и Каспийского морей; им построена геоэлектрическая модель коры Кавказа с двумя проводящими горизонтами; построена карта электропроводности астеносферы для территории Кавказа и акваторий Черного и Каспийского морей; им разработан «Способ прогнозирования регионов, перспективных на нефть и газ», на что в 1998 г. получил патент на изобретение. Г.Е. Гугунава в 1989- 2005 гг. заведующий лабораторией (затем отделом) геоэлектричества и геотермии, с 2006 г до выхода на пенсию (2012 г.) – главный научный сотрудник сектора динамики геофизических полей и вычислительной геофизики. В 2010 году в соавторстве с проф. Дж. К. Кириа опубликовал фундаментальную монографию «Трехмерная стационарная геотермическая модель Кавказа и ее геодинамические аспекты», которая была отмечена премией имени академика Мераба Алексидзе.

Грузинские геофизики чтят память о глубоко культурном, интеллигентном человеке – Гураме Евгеньевиче Гугунава.

Автандил Александрович Кордзадзе



6 марта 2018 года скончался видный представитель геофизической науки, руководитель сектора математического моделирования геофизических процессов моря и атмосферы, вице-президент экологической академии наук Грузии, лауреат премий имени проф. М.З. Нодиа и акад. М.А. Алексидзе, доктор физико-математических наук, профессор Автандил Александрович Кордзадзе.

А.А. Кордзадзе родился 14 июля 1944 года в г. Кутаиси в семье математика Кутаисского пединститута Александра Кордзадзе. В 1962 году поступил на математический факультет этого же института, а с третьего курса был переведен на механико-математический факультет Новосибирского государственного университета. В 1967-1984 годах А.А. Кордзадзе работал в Новосибирске, в отделе динамики атмосферы и океана Вычислительного центра Сибирского отделения АН СССР. Под научным руководством президента Академии наук СССР академика Гурия Ивановича Марчука А.А. Кордзадзе прошел плодотворный путь со скамьи студента до доктора физико-математических наук. В 1987 году, по приглашению акад. Г.И. Марчука, был переведен в Москву, в Отдел вычислительной математики при президиуме АН СССР (ныне Институт вычислительной математики РАН). В том же году А.А. Кордзадзе в Севастополе, в Гидрофизическом институте успешно защитил докторскую диссертацию. С 1989 года научная деятельность проф. А.А. Кордзадзе тесно связана с Институтом геофизики АН Грузии, в котором до конца своей жизни руководил основанным им сектором математического моделирования геофизических процессов моря и атмосферы.

Научные труды А.А. Кордзадзе в области математического моделирования гидродинамических процессов Черного моря нашли широкое применение. В его трудах рассматриваются как чисто теоретические, так и прикладные аспекты. Им доказаны теоремы существования и единственности решения задач бароклинного океана как в линейной, так и нелинейной постановках. С практической точки зрения, очень важна разработанная при его активном участии первая нестационарная математическая модель динамики Черного моря. В Тбилиси, в Институте геофизики А.А. Кордзадзе усовершенствовал модели динамики Черного моря и адаптировал их к грузинскому сектору моря и прилегающей акватории, а на основе этой модели в рамках научно-технических проектов Евросоюза разработал региональную систему прогноза для крайне восточной части Черного моря, которая является одной из компонентов системы диагноза и прогноза состояния Черного моря в масштабах всего бассейна.

При исследовании всех рассмотренных задач применен разработанный академиком Г.И. Марчуком метод расчленения для решения математических задач динамики атмосферы и динамики Черного моря.

В 1993-2005 гг. А.А. Кордзадзе был заместителем директора Института геофизики по научной части, был главным редактором журнала Геофизического общества Грузии (серия: Физика атмосферы, океана и космической плазмы), членом редакционного совета журнала «Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности» (Киев) и членом Европейского геофизического союза. Читал лекции в Тбилисском государственном университете им. Ив. Джавахишвили, награжден медалью Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили, премиями имени М.З. Нодиа и М.А. Алексидзе.

А.А. Кордзадзе автор 170 научных работ, в том числе 5 монографий. Под его руководством защищено 4 кандидатских и 5 докторских диссертаций.

Досадно, что тяжелая болезнь оборвала жизнь Автандила Александровича тогда, когда он был полон энергии и трудоспособности и мог принять участие во многих исследованиях. Он был заботливым семьянином, любящим отцом, дедом, надежной опорой для людей, испытывающих жизненные проблемы.

Светлая память об Автандиле Александровиче навсегда сохранится в памяти друзей и коллег.

Гиви Григорьевич Джаши



10 апреля 2018 года скончался видный представитель грузинской геофизической школы, один из пионеров электроразведочных изысканий в Грузии, академический доктор геолого-минералогических наук Гиви Григорьевич Джаши.

Г.Г. Джаши родился 4 апреля 1935 года в селе Шухути Ланчхутского района в семье служащих. Отец, Григорий Павлович Джаши, экономист, в 1937 году был репрессирован, расстрелян. Мать, Мария Лукинишна Кикава, педагог, репрессирована в 1937 и сослана в Сибирь. В 1956 году они были реабилитированы. Мать скончалась в 1973 году.

Г.Г. Джаши в 1953 году с серебряной медалью окончил Шухутскую среднюю школу, а в 1958 году с отличием окончил географо-геологический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Геологическая съемка и поиски месторождений полезных ископаемых». Ему была присвоена квалификация инженера-геолога.

После окончания университета Г.Г. Джаши начал работать в отделе электроразведки и электрометрии Института геофизики АН Грузии, в котором проработал до конца своей жизни. Одаренный природой и верный научной деятельности он смог занять достойное место среди геофизиков Грузии. Научные интересы Г.Г. Джаши были сконцентрированы на решении практических и методических вопросов электроразведки, применительно к вопросам формирования и структуры естественных электрических полей на рудных (сульфидных) месторождениях Грузии. Путем изучения распределения естественных электрических полей оказалось возможным увязать проявления электрических аномалий с металлогенией исследуемого региона. Разработке этих вопросов была посвящена кандидатская диссертация Г.Г. Джаши «Естественное электрическое поле медно-пирротиновой полосы южного склона Большого Кавказа и его геологическая интерпретация», которую успешно защитил в 1967 году в Тбилисском государственном университете. Далее Г.Г. Джаши установил новый вид естественного электрического поля глубинного происхождения, причиной которого могут явиться электродные окислительно---восстановительные процессы, образующие мегалгальванические элементы с анодным полюсом над синклинорными образованиями.

В 1974-1978 годах Г.Г. Джаши, как высококвалифицированный специалист, вместе с сотрудниками Института работал в Сирийской Арабской Республике, где они успешно решали электроразведочными методами задачи по обнаружению водоносных горизонтов в закрытых структурах. За высокие производственные показатели и активное участие в соответствующих работах послом бывшего Советского Союза в САР ему была объявлена благодарность.

С 1982 года по 2005 год Г.Г. Джаши занимал должность руководителя отдела геоэлектричества и электрометрии Института геофизики, в котором проводились полевые и методические комплексные исследования по изучению глубинного строения земной коры и поиску и разведке полезных ископаемых электромагнитными методами.

Г.Г. Джаши является автором около 90 научных работ и соавтором одной монографии и одного учебника для высших учебных заведений; под его научным руководством защищены три кандидатских диссертации, в 1994 году ему присуждена премия им. академика Мераба Алексидзе. Необходимо сказать несколько слов о его поэтическом даровании, он писал стихи, знал их наизусть и любил нам их читать, а также очень хорошо знал грузинскую литературу, помнил множество избранных стихотворений грузинских поэтов.

Г.Г. Джаши – был ученым-профессионалом высокого уровня, обладающим способностью проникать в глубины научных, либо житейских проблем, верным науке, с сильным интеллектом, благожелательным, внешне и душевно красивым, прекрасным семьянином, память о нем надолго останется среди близких, коллег и друзей.

Нодар Георгиевич Хатиашвили



В январе 2018 года в Будапеште скончался видный грузинский геофизик, академический доктор физико-математических наук, в 1962-1003 годах сотрудник Института геофизики Нодар Георгиевич Хатиашвили. В области физики сверхпроводимости ему принадлежат пионерские работы об электрическом излучении минералов горных пород в условиях механического воздействия.

Н.Г. Хатиашвили родился 24 августа 1947 в г. Севастополе в семье полковника авиации Георгия Ивановича Хатиашвили. С первых же дней Великой Отечественной войны 1941-1945 гг. Г.И. Хатиашвили был направлен в Ленинград, где командовал дислоцированной в Ориенбауме девятой штурмовой авиацией (впоследствии Краснознаменная дивизия), а семья –жена с четырьмя детьми была эвакуирована в Тбилиси). В день освобождения Ленинграда Г.И. Хатиашвили был тяжело ранен, после чего был назначен начальником Летно-испытательного института в Баку. В 1944 г институт был переведен в г. Ригу, куда переехала и семья. В 1945 г. Нодар Хатиашвили поступил в 10-ую Рижскую среднюю школу. С 1947 г. следовали переезды отца, и соответственно его семьи, в Симферополь, Баку, Тбилиси, Минск и снова в Тбилиси. В Тбилиси Нодар учился в 14-ой мужской средней школе, а в 1955 г. окончил Тбилисскую 56-ую среднюю школу и поступил на двухгодичные курсы при телестудии Грузии. В 1957-1962 гг. он учится в Грузинском политехническом институте на факультете «Автоматика и телемеханика».

С 1962 года Н.Г. Хатиашвили сотрудник отдела горных пород Института геофизики АН Грузии. Деятельность отдела охватывала задачи по исследованию физических свойств веществ Земли при различных давлениях и температурах, развитию физических и математических моделей процессов, происходящих в очаге землетрясения и поиска его предвестников, исследованию связи электрических свойств с деформацией пород, исследованию электромагнитного излучения (ЭМИ) при разрушении твердых тел как в лабораторных, так и в полевых условиях. Особенно Н.Г. Хатиашвили увлекли проблемы электромагнитного излучения. Он предложил теорию ЭМИ, согласно которой при образовании трещин флюктуационный заряд, несомый ускоренно движущимися берегами трещины вызывает излучение, интенсивность которого определяется плотностью заряда и модулем упругости вещества. В 1974 году в Москве, в Институте физики Земли Н.Г. Хатиашвили успешно защитил диссертацию на тему: «Электрические явления при деформации и разрушении горных пород». Он является: автором многих научных статей, в том числе трех монографий в соавторстве; научным руководителем трех диссертаций. В 1974-75 годах находился в служебной командировке в Сирийской Арабской Республике. Н.Г. Хатиашвили в 1989-92 годах в Институте геофизики руководил лабораторией физики горных пород. В 1993 году переехал в Будапешт, где стал работать в лаборатории геофизики при Будапештском университете, но связь с родным институтом никогда не прерывал.

В последние годы Н.Г. Хатиашвили увлекся литературной деятельностью, писал сценарии телефильмов и программ для Будапештского телевидения, некоторые из них даже удостоились наград на международных конкурсах. Он автор нескольких рассказов и повестей, являлся членом союза писателей России.

Светлую память и теплые воспоминания об этом хорошем человеке, истинном интеллигенте надолго сохранят в памяти все знавшие Нодара Георгиевича коллеги и друзья.

СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ДИАНЫ ВАШАКМАДЗЕ

Гвелесиани А.И.

Институт геофизики им М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили



(1966-2011)

“Кто может, океан угрюмый,

Твои изведать тайны?

Кто Толпе мои расскажет думы?

Я – или Бог – или никто!”

М . Ю. Лермонтов

Экстраординарное явление человеческого духа

Анзор Гвелесиани

Агностики утверждают, что мир непознаваем. Гомер дал человечеству великие поэтические памятники исторических событий своей эпохи и мистическое познание мира в скитаниях своего героя. Сократ советует познавать самого себя, доказывая, что знание есть не что иное, как воспоминание. Шекспир, следуя ему, фигурально “повернул Гамлету глаза зрачками внутрь”. Кант рекомендует: даже если всё открыто, лучше не лениться и работать, чем ничего не делать. Гегель, возмущённый всеми сомневающимися в познании мира, восклицает: Как можно эту свою неспособность воздвигать во главу угла Разума и науки! Эйнштейн, обобщив достижения физики, в противовес утверждениям агностиков и их сторонников, считает, что мир всё же познаваем. Поэт-романтик Гумилёв призывает встать на путь познания земного и небесного мира, “покуда не все пересчитаны звёзды, покуда наш мир не открыт до конца”. В

этой связи следует отметить необычайно возросшую в последние годы интенсивность исследований во всех областях науки и техники. Как результат – рекордное количество открытий и Нобелевских премий, при наличии современных, достаточно высоких технологий, осуществляемых широкой сетью дифференцированных наук. Не боясь ошибиться, можно сказать, что пока что вавилонская башня продолжает строиться. Уместно ли тут отчаянье авторов Библии, что, мол, не от древа познания, а от древа жизни должен был вкусить человек?

Приуроченная к столетию основания Тбилисского государственного университета, данная статья посвящается памяти Дианы Вашакмадзе-Веронезе (1966-2011), физику-теоретику ТГУ, вокалисту, выпускнице Тбилисской и Манхэттенской консерватории Нью-Йорка, удостоенной премии Фулбрайта, выступавшей в театрах Америки и Европы, в том числе на сцене Миланского оперного театра Ласкала, посвящается как экстраординарному явлению в сфере творческой деятельности человека, объединившего в одном лице феномены математики, физики, музыки, вокала, поэзии, лингвистики, философии...Эта особенная многогранность, я бы сказал, моцартовская универсальность, как ёмкое проявление симультанного, высшего рода мышления, плюс ко всему необычайная, редкая, родители сказали бы, неуёмная энергия и участливость во всём присущи были Диане от рождения. На благодатной почве знаний, данных ребёнку её родителями, учёными-профессионалами, был бережно взращён и взлелеян талант девочки-вундеркинда. Корни грузинского и греческого феноменов оказались в ней глубокими и крепкими. Диана рано осознала потенциал и масштабы своих способностей.

Кем ведома была в своём мире Диана? Льюисом Керролом, Эдгаром По, геометром, физиком, философом, поэтом, композитором, художником... Диана всегда была погружена в сомнамбулические поиски и работу мыслей, пронизываемых взглядом её тёмно-фиолетовых глаз (так запечатлённых в моей памяти в парке Ваке, где я встретил её случайно, гуляющую с матерью (гречанкой по происхождению) и с младшей сестрёнкой, ясноглазой Экой, позднее прошедшей блистательный путь от студентки ТГУ до ведущего сотрудника-экономиста Всемирного Банка в Вашингтоне. Мать, узнав меня, воскликнула от радости. Диана тут же обратила на меня свой завораживающий синим блеском взор. Любопытно, что именно синий цвет стал доминирующим в её стихах, от которых веет музыкой родной Имеретии и не менее родной древней Греции. Потребность решать задачи у Дианы была с детства. Она поражала учителей и родителей тем, что настойчиво требовала задавать ей вопросы и задачи повышенной трудности и решала их в уме оригинальным, на удивление простым способом. С лёгкостью “щёлкала” она их в своей ранней детской “практике”осуществляя то, что с возрастом называется инсайтом – феноменальным полётом творческих начал, высочайшим проявлением экстраординарности разума и духовности. Здесь уместно упомянуть для сравнения теорему Гаусса о возможности вписания в круг с помощью циркуля и линейки правильного многоугольника, с ограниченным числом сторон, равным простому числу Ферма $2^{2^n} + 1$, с теоремой Дианы Вашакмадзе. По ней на листе бумаги циркулем следует провести дугу, отложить на ней произвольное число N равных отрезков, затем, сложив сектор в конус, склеить концы дуги. Врезультате любой отрезок от центра до дуги перейдёт в образующую конуса, а сама дуга – в искомую границу его основания, точно на N равных частей разделённую окружность (!). Метод настолько прост и ясен, что он сразу же был реализован на компьютере программистами Тбилисского университета им. Андрея Первозванного. Над этой задачей в течение тысячелетий бились многие великие умы человечества. Когда решение найдено, оно кажется тривиальным.

Приведём вкратце результаты, полученные Дианой Вашакмадзе на научном поприще, изложенные скорее всего для специалистов. Первая статья, посвящённая этой тематике (на 30 стр.), как изложение, вернее, создание математической теории элементарных частиц, была опубликована в 1992 г. Она сразу же получила высокую оценку иностранных учёных (в 1996 г. в книге Акио Каваучи была сделана соответствующая ссылка на её работу). В дальнейшем,

несмотря на то, что Диана участвовала во многих конференциях, со стороны учёных советской школы, в том числе грузинских, не было никакой реакции на её работу. Что касается грузинских учёных довольно высокого ранга, связанных с Дубнинским и Церновским центрами ядерных исследований, они позаботились лишь о практической стороне дела, хотя, вместе с тем были попытки осмысления (математического описания) проблемы другим методом (методом теории струн), от применения которого на практике они, кстати, в последнее время отказались. В 2006 году под редакцией Акио Каваучи и Томоко Уанагиомото, был издан учебник для средней и высшей школ и для докторантуры. В этой книге даётся полноценная теория узлов, как аппарат для применения на практике. Конечно, первоисточником для этих авторов была развитая Дианой Вашакмадзе теория узлов применительно к задачам микромира. Как известно, сразу же в дальнейших публикациях Диана Вашакмадзе развивает и обобщает теорию узлов для исследования некоторых задач астрофизики. На основе применения теории узлов к вопросу классификации элементарных частиц Вашакмадзе создала стройную концепцию-теорию, связывающую фундаментальные свойства элементарных частиц (заряд, спин, барионное число, изоспин, чётность и др.) с топологическими инвариантами узлов. На основе этих связей она доказала соответствие между фундаментальным математическим соотношением Гаусса-Боне, описывающим связь между топологическими инвариантами узлов, и физической формулой Гелл-Мана-Нишиджимы, связывающей между собой физические инварианты элементарных частиц – квантовые числа (тем самым Диана Вашакмадзе возвела формулу Гелл-Мана-Нишиджимы в статус закона).

Поэтапно эти исследования нашли достойное отражение в курсовой и дипломной работах, а также в цикле опубликованных статей Д. Вашакмадзе. Приведя в соответствие результаты теории с новыми экспериментальными фактами в астрофизике (волоконистые – филаментные – образования звёздных скоплений в 1998 г. и структуры типа “Великой стены Слоуна в 2003 г.”, часто демонстрируемые на теле-канале “Discovery”), Д. Вашакмадзе убеждается в правильности её концепции о топологической квантованности Вселенной. Её метод описания Вселенной, как топологически квантованного гиперпространства, обосновывается сложнейшими по содержанию, но простыми по форме топологическими соотношениями, на основе которых утверждается: (а) распространению электромагнитной волны в вакууме соответствует топологическое U-квантование заданного многообразия пространства; (б) излучение реликтового фона (экспериментально наблюдаемого) есть следствие глобального топологического квантования – топологического взрыва НЗ (новой звезды), происшедшего в неквантованном пространстве; (в) визуально наблюдаемая Вселенная всегда Евклидова, а нулевая энергия вакуума (известная в теории Большого Взрыва, но не объяснённая) может интерпретироваться, как скрытая гиперболичность топологически-квантованного пространства; (г) объём одного кванта этого пространства – гиперболический объём гиперболического додекаэдра совпадает с объёмом сферы, радиус которой оказывается равным полуоси додекаэдра (по Платону додекаэдр является геометрическим изображением эфира (праны, чёрной энергии – (А. Г.)).

Когда обратились к академику Сергею Новикову с предложением быть руководителем её диссертации, он возразил: “Руководителем – нет. Диана сделала всё сама, а быть консультантом – с большой охотой. Теорию узлов она осмыслила и впервые создала математическую теорию физики элементарных частиц. Далее она применила её для решения задач астрофизики; мне кажется более перспективным её развитие для задач космической физики”.

Небольшое отступление по поводу метода аналогий Платона и силлогизма в “Началах” Аристотеля. Логика, необходимая в любом исследовании, несмотря на её убедительность, неспособна к открытию; она создала лишь его подобие в виде аристотелевского силлогизма, в то время как платоновская аналогия между казалось бы несравнимыми явлениями, возбуждая творческое воображение, естественным образом может привести к открытию. Математика –

наука творческая. В этом преимущество математика Платона перед Аристотелем, как нематематиком. Не исключено, что Диане более близок мир взирающего на небо мечтателя Платона. Математический метод, используемый Дианой Вашакмадзе, можно сравнить с ариадниной нитью, которая ведёт её к более глубокому пониманию микро- и макромира.

При решении научных задач и стихосложений Диана общается с Богом. На сцене же – с Богом и музыкой. Переход от науки к поэзии или музыке и, наоборот, является естественной потребностью у неё и совершается весьма гармонично, так как они, поэзия-наука-музыка составляют единое неразделимое целое. Пример – опера Шарля Гуно “Сапфо” (в интернете имеется запись арии Сапфо в исполнении Дианы Вашакмадзе-Веронезе), в бумагах Дианы уборым почерком на древнегреческом языке выписаны стихи Сапфо, а рядом перевод стиха на грузинский, сделанный Дианой. Перевод оказался конгениальным оригиналу. Здесь обнаружился и развернулся в полную мощь её переводческий дар – ещё один феномен, могущий поконкурировать с первыми двумя. Ещё раз убеждаемся в родстве душ Сапфо и Дианы: Сапфо, страдающая от безответной любви, обращается к богине Афродите, дочери Зевса, с мольбой об избавлении её от тяжких страданий. Диана же своё предчувствие доверяет бумаге, надеясь на целительную синеву небесного купола и на певучие голоса херувимов. Ради полноты информации о широте её интересов не будет излишним упомянуть, что подростком она знала наизусть многие сонеты Шекспира, а в 12-летнем возрасте перевела для печати детектив Агаты Кристи “The Man in a Brown Suit”, а также либретто нескольких опер Доницетти по просьбе Нодара Андгуладзе.

Во всеоружии своей эллинистически яркой образованности и пытливого ума вступает она на путь науки и музыки одновременно. Наделённая абсолютным слухом, по-грильпарцерски влюбленная в музыку, она поступает в музыкальную десятилетку для одарённых детей, где овладевает техникой фортепьянной игры. Как-то в консерватории Диана исполнила французский романс старой графини из “Пиковой дамы” Чайковского, услышанный ею в исполнении Елены Образцовой (Чайковский заимствовал известный романс Гретри для сопрано из оперы “Ричард Львиное Сердце”, дав его в интерпретации для драматического меццо-сопрано, как бы специально прописанного для голоса Дианы). Педагог, Светлана Корсантия, сразу же обратила внимание на её неординарные вокальные данные, которые позже были развиты под руководством Нодара Андгуладзе, восхищённо восклицавшего: “Контральто! Диана – наше контральто!”. Одновременно с музыкальной школой она заканчивает известную Комаровскую школу для физико-математически одарённых детей. Поступает в ТГУ на физический факультет, а после его окончания – в аспирантуру ТГУ по теоретической физике (руководитель А. Хелашвили, чл.-корр. АН Грузии) и одновременно в консерваторию по вокалу (в класс Н. Андгуладзе, преподаватель – проф. Гулико Кариаули). Не случайно Н. Андгуладзе дарит Диане книгу известного венгерского математика Альфреда Реньи с надписью: “Математику Диане от нематематика маэстро”. Можно сказать, что главным образом в музыке и физике микромира находит Диана свой мир. Ритмы кастаньет в хабанере Дианы-Кармен, обращенные к движениям тела танцовщицы, на фоне анахатов её серебристо-струящегося драматического меццо-сопрано, настраивая слух зрителя на беззаветное проникновение в музыку оперы, позволяют заострить внимание зрителя на глубину разрешения музыкального замысла композитора. Здесь будет уместна характерная оценка, данная дирижёром Вексфордского Фестиваля Вокалистов-2003 (Ирландия) на страницах одной из ирландских газет:

“Диана Веронезе, сопрано из Грузии, – был мой финальный концерт, на этот раз в благо-родной обстановке церкви Св. Ибериуса. Луиджи Феррари без удивления представил её как русскую, а затем забыл имя репетитора, Эрика Мэлсона. Она чудесным голосом пела из Рахманинова, Брамса, Вагнера, Гранадоса и в завершение Бизе. Её Либестод (Песня Любви и Смерти из оперы Вагнера “Тристан и Изольда”– (А. Г.)) был поразительным; было бы весьма интересно

послушать её в полной постановке оперы. Она обладает чрезвычайно глубоким и полным голосом – я бы скорее причислил его к меццо-сопрано, нежели к сопрано. Её необычайная харизматичность и великая личностность передались через зал аудитории. Некоторые члены оперного хора из Марии дел Кармел, находившиеся на балконе церкви, когда Диана на бис исполняла Кармен Бизе, присоединились к её пению. Представление превратилось во всеобщее веселье, а в конце – всех нас обуял совершенный восторг”.

“On the margins of the Wexford Opera Festival:

Diana Veroneze, a soprano from Georgia was my final concert, this time in the noble setting of the St. Iberius church. Luigi Ferrari, unsurprisingly, introduced her as Russian and then forgot the name of the repetiteur, Eric Malson. She had a wonderful voice, singing Rachmaninov, Brahms, Wagner, Granados and finishing with Bizet. Her Libestod was wonderful, and again, it would be very interesting to hear her in a full Wagner production. She has a very deep and full voice – I would have put her closer to a mezzo-soprano than soprano. She was very charismatic and her big personality came across well to the audience. Some of the chorus members from Maria de l Carmen were in the church balcony, and when she sang an encore from Bizet’s Carmen, they joined in with her. The performance was great fun, and after the performance we left quite elated.”

Когда слушаешь арию Аиды или Амнерис, арию Сапфо или романс Рахманинова “Не пой красавица при мне ты песен Грузии печальной...”, то хочется слушать только этот голос, только эту музыку, и ничего другого. Нельзя не отметить пушкинскую и рахманиновскую ностальгию, так чутко переданную Дианой при исполнении этого романса на концерте в Америке. Как будто, авторы, и поэт, и композитор, именно ей посвятили свои вдохновенные сочинения. В её воображении перекликаются эпохи от Пифагора, Орфея и Платона до Руставели, Шекспира и Эдгара По, от Архимеда и Эвклида до Гаусса, Размадзе и Шафаревича и до Гёте и Важа Пшавела, Верди и Вагнера, одарённых способностью философского постижения мира, одухотворённого мистикой трансцендентального мышления. Их творения не были в разладе друг с другом и составили в душе Дианы цельный расплав, из которого, как самостоятельная фаза, выделяется её философская научно-музыкальная модель микро- и макромира. Каково же было нашей нежной Диане с этакой ношей?!

Теперь же обратимся к её поэзии и переводам. Вот её стихи, публикуемые впервые в подстрочном переводе с грузинского на русский язык (А. Г.).

“Для чего я пришла на этот свет, Страшнейшая среди уродов, Чтобы красоте протянуть руку подаяния? Для чего я пришла с весенними Удушающими ливнями, С кем поделиться дарами поэзии и любви? Для чего я явилась, столь высокая, неслышанная и неувиденная, Для вас – заведомо погребённая, Я, безлика и ужасающая! Меня погребёт одиночество И оплатит молчания служба, Лишь бы тёмных душ стервятников Мой орёл разогнал хоть раз”.

რისთვის მოვედი ამ ქვეყანაზე /უსაშინლესი მახინჯთა შორის, /თვალეზდამწვარმა ამ სილამაზეს/რომ გავუწოდო ხელი მათხოვრის? რისთვის მოვედი გაზაფხულების /სულშემხუთავი ნიაღვარებით, /ვის გავუმხილო სასწაულები /პოეზიათა და შეყვარების? /რისთვის მოვედი ასე მაღალი, არგაგონილი და არნახული, /თქვენთვის – გაჩენით დასამარხავი/ვარ შემზარავი და უსახური! /მე მარტოობა დამსამარებს /და დამიტირებს სიჩუმის წირვა, /ოღონდ ერთხელაც შავ სულთა სვავებს /გადაუფრინოს ჩემმა არწივმა.

“Синий цвет тумана, – цвет ирисов, Цвет тоски немой, цвет печали, Синий цвет во тьме, Запах лилий Медленное таяние, Тёмное безумство. В ожидании смерти зришь лишь спасение, Когда сердце склонно только к печали, И слеза скрывает боль и вопли совокупно, И уста немеют в тягостном молчаньи, Огненного бреда синий цвет пригреет, Как предсмертный стон и песня лебединая, Синий звёздный купол, клики серафимов, Моря цвет и неба, парусов мечтаний, Ваших синих взоров цвет бессмертья”.

ლურჯი ფერი ნისლის, – ფერი ზამბახების, /ფერი ჩუმი სევდის, ფერი მწუხარების, /ბინდში ლურჯი ფერი, /იების სურნელი /თქვენთვის დნობა ნელი, /შემლილობა ბნელი. /როცა სიკვდილს ელი, როგორც ხსნას და შვებას, /როცა გული ნატრობს მხოლოდ მწუხარებას, /როცა ცრემლი ფარავს ტკივილს და ვედრებას, როცა ენა არჩევს ტანჯულ მდუმარებას, /შემიწყალებს ლურჯი – ფერი ცეცხლში ბნედის, /სიმღერის და კვნესის მომაკვდავი გედის, /ფერი ვარსკვლავთ თაღის, სერაფიმთა ხმების, /ფერი ზღვის და ზეცის, ნატვრის ხომალდების, /ფერი თქვენთა თვალთა, ფერი უკვდავების.

Невольно приходят на ум известные стихотворные шедевры В. Бенедиктова, А. Чавчавадзе, Н. Бараташвили, Б. Пастернака, посвящённые гармонии цветовых гамм, отличительная черта которых – их непревзойдённая художественность. Субъективный фактор: в стихах и голосе Дианы осязается чистое пламя синего цвета, таинственной глубиной обволакивающее мир её переживаний и ощущений. Интересно, что цветовое ощущение возникает от скрипок опер Прокофьева “Огненный ангел” и Пуччини “Тоска”, а также мягкая гамма красок от тембра голосов Гамлета Гонашвили и Бадри Майсурадзе...

“О, как безбожно затоскую по вам, Когда свечу задует ветер Серенадами и сонатами, (О, как безбожно затоскую по вам!) Непостижимое опьянит умирание. Вновь шлёте мне вкрадчиво смерть Фарисейски в туманной тьме. (О, не шлите мне вкрадчиво смерть!) Бледность луны туманная вся Пролилась испепелённой души чернотой. (О, не шлите мне вкрадчиво смерть!) В горле – ночи когти ледяные, В глазах отраженье иное – Безнадёжно бессильные краски. Во мраке печальные ангелы.

Погасшие свечи и ангелы в белом. Свечи глазам уж не смогут солгать, Ночь горько и молча сгорела дотла”.

ო, რა უღმერთოდ მომენატრებით, /როდესაც სანთელს ქარი ჩააქრობს. /გაუგებარი კვდომა დამატრობს /სერენადებით და სონატებით. /(ო, რა უღმერთოდ მომენატრებით!) /ისევ მიგზავნით სიკვდილს შეფარვით /ნისლიან მწუხარში ფარისევლურად. /რაც კი სითეთრე მთვარეს ებურა – /გაწვიმდა სულის შავ ნაფერფლავით. /(ო, ნუ მიგზავნით სიკვდილს შეფარვით!) /ყელში – ყინულის კლანჭებით ღამე, /თვალეზსაც უცხო ფერი დაედო – /ფერი უღონო და უიმედო. /წყვდიადში ჭმუნვენ ანგელოსები /ჩამქრალ სანთლებთან თეთრ სამოსებში. /სანთლები თვალეზს ცილს ვეღარ სწამებს, – /მწარე დუმილით დაიწვა ღამე.

Ангелы в длинных белоснежных одеяниях парят в вертикальных струях дыма погасших свеч над главой моей Дианы. По Гёльдерлину “не всегда хрупкий сосуд в состоянии вместить в себя Бога. Лишь крайне редко – может человек вынести божественную полноту”. Диана излучала свою божественную сущность.

Кто же она, как не носительница Мировой Скорби?!– Олицетворение причастности к общему,– высшего счастья в печали. Мы ещё раз убеждаемся, что её научное, музыкальное и поэтическое творчество всецело пронизаны трансцендентальным здоровьем.

Вот стихи, написанные Дианой на русском языке, лишний раз подтверждающие этот факт:

В сердце – лунный камень, Мрак очей глубокий, Мглою ли опечален, Дым ли заволок? Кто-то белых лилий Заплетёт венки, Сядет у могилы И прольёт вино. Кто-то к колокольне В полночь побредёт, Звон во тьме утопит, К зёздам тьма уйдёт. Филин, голос вещий Ты подай в ответ: Пламя всё трепещет На ветру? Аль нет? Слово утешенья, Не подавшим в срок, Дождь прольёт прощенье, Светлых струй поток ...

На могильной плите Гаусса символически высечен в его честь правильный 17-угольник. Будем надеяться – на могильной плите Вашакмадзе Дианы благодарные потомки высекут конус с основанием, разделённым на равные части. Она унесла с собою в могилу рой невыказанных мыслей и планы, оставшиеся, к величайшему нашему сожалению, неосуществлёнными...

“Кто-то белых лилий Заплетёт венок, Сядет у могилы И прольёт вино.”

Диана Вашакмадзе

Славные юноши и девушки Грузии и Эллады! Нет с нами больше Дианы Вашакмадзе! Войдите в мир её свободных научных исканий, в мир музыки и поэзии, усвойте его и пойдите дальше, своим путём...

ПРИЛОЖЕНИЕ I

Ниже приводится пионерская работа Дианы Вашакмадзе по применению метода узлов Гаусса-Боне в области топологии элементарных частиц к задачам космологии.

Текст её доклада на международной конференции в Греции (2010 г.).

From “Knotted Particles” to Some Cosmological Problem

Diana T. Vashakmadze

Javakishvili Tbilisi State University, 2, University str., 0143, Tbilisi, Georgia,
emiliofidelio@yahoo.it

Abstract: Knotted singularity model for elementary particles is proposed and hence some consequences for cosmology are obtained which are in good agreement with the recent astronomical data.

Key words: knot, universal group, manifold, particle, cosmological problems.

Knots play fundamental role in the modern topology, as in the modern topology, as in the theory of 3-dimension manifolds. The idea of imaging particles as knots was developed among some others in the widely-referenced papers by Faddeev and Niemi, where also a rich bibliographical data in this direction is provided (for example [1]).

We started to look for analogies as early as in 1992 [2], where we considered wild and non-invertible knots, defined knot as a particle, considering the knot as a branching set of some 3-dim.

Manifold over sphere S_0^3 . Even more precisely – in our scenario a particle is a branching set for the physical space, where the total topology of space is homeomorphic to H^3 , we follow the action of universal group U [3-5] (introduced by Thurston [6]) on hyperbolic space for any closed and oriented 3-manifold. M^3 there is a finite subgroup $G \leq U$ such that M^3 is homeomorphic to H^3/G .

The fundamental polyhedron corresponding to this universal group is a regular hyperbolic dodecahedron with dihedral right angles, where identification occurs by some group $G \subset \text{Isom}E^3$, and the orbit space is S^3 with the singular set Σ – Borromean rings. Then any 3D manifold is a branched covering of S^3 with Σ . This group is generated by $\pi/2$ rotating around the axes taken for each of the

three pairs of opposite edges of any one dodecahedron on which can serve as a fundamental domain. An important property (for us) is the fact that for the families of surfaces which are formed by the left-invariant (under the action of group U) faces of dodecahedron each two do not cross, or cross at right angles (see Fig. 1). Generators of group U have the following form as shown in (4)

$$A = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 - iR + iR^2 & -iR - iR^2 - iR^3 \\ 1 - 2iR + iR^3 & 1 + iR - iR^2 \end{bmatrix},$$

$$B = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 - R + R^2 & 1 - R + R^2 \\ -R - R^2 + R^3 & 1 + R - R^2 \end{bmatrix},$$

$$C = \frac{\sqrt{2}}{2} \begin{bmatrix} 1 + R - iR^2 & -i - 2iR - iR^3 \\ 1 - R + R^2 & 1 - R + iR^2 \end{bmatrix}.$$

We will denote by U quantization the action of U on H3. We also postulate that:

(*)To the propagation of electromagnetic waves in vacuum corresponds topological U – quantization of given set of space.

Now we state volume some correspondences following from (*): (1) The photons canonly travel on the U-invariant Euclidean sub-manifold of H3; (2) The Relic Background Radiation is interpreted a consequence of global topological quantizations of the H3 Topological Bang, which occurred to a non-quantized space; (3) Considering the volume of a single quantum of this space – the hyperbolic volume of a hyperbolic dodecahedron where we take it approximately to be equal to a sphere of radius $r = \alpha$, where α is the half-axes of the dodecahedron $R/\alpha = 1.27$ cm (see [4, 7]):

$$V_{hyper} = 4\pi \left(\frac{r(1+r^2)}{(1-r^2)^2} - \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \right).$$

One can calculate that respect to a Euclidian sphere the hyperbolic volume will be about 44 times more so, the volume of observed space is only 3% of the whole hyperbolic space H3. As known, in order to obtain the critical value of the density of matter in the universe (needed to explain its flatness) it became necessary to introduce dark energy together with the dark mass both of which provide for the missing 95 % of the whole mass of the universe. But according to (*) the optically observed Universe will always result Euclidean, while the non-zero vacuum energy can be interpreted as hidden hyperbolicity of the topologically quantized space. The trajectory of a photon-localized in space (as in atom) will take form of Borromean Rings as the Euclidean lines– the axes of the rotations generation of the universal group for the covering n^3/u

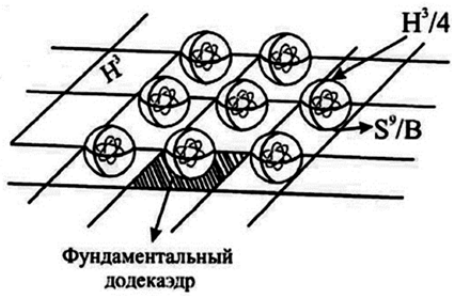


Fig. 1. Acting of group U on space $H(3)$

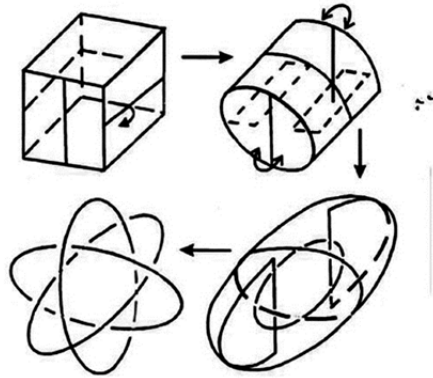


Fig. 2. The image of the axes of rotation is the Borromean rings.

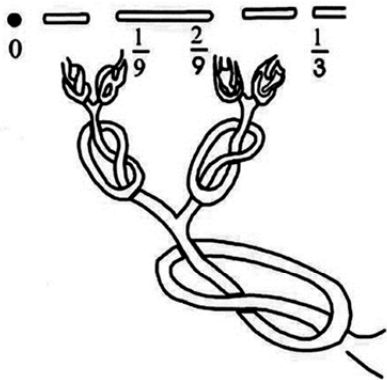


Fig.3. Branching of neutrons wave-function

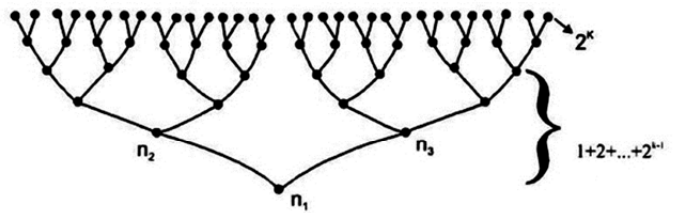


Fig. 4. N-particle wave-function of neutrons

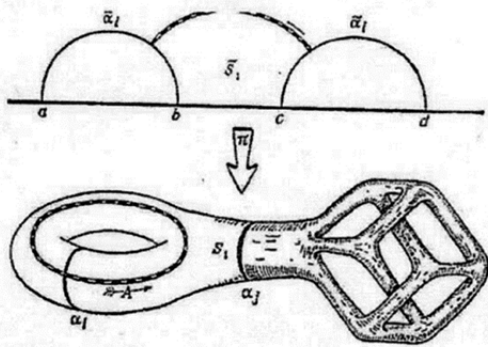


Fig. 5. Perturbation in the covering group. Picture by George Francis

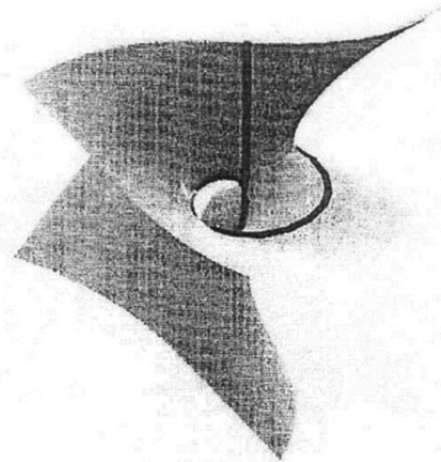


Fig. 6. Phase surface M. Berry.

$S^3 \setminus B$ will cover the Borromean Rings infinite number of times. The Field particles such as W^+ , W^- , Z^0 – Bosons of the Electro-weak theory are described by Universal knots. So weak decays of the type $A \rightarrow BF$ (for instance, $(n^0 \rightarrow p^+ w^-)$) are viewed as a transformation of a manifold $M_0^3 = S^3 \setminus k_\Delta$ in to a manifold $M_0^3 = S^3 \setminus k_\beta$ because every closed oriented 3-manifold can be obtained from a finite set of dodecahedra by pasting along pentagonal faces in pairs. We conjecture the existence of the following group-type structure which includes leptons and gauge vector bosons (some unknown definitions are from [2]):

$$\{G^*\} = \{e, \nu_e, \bar{e}, \bar{\nu}_e, \mu, \nu_\mu, \bar{\tau}, \bar{\nu}_\tau, W^-, W^+, Z^0\}.$$

Then the expression for the processes of the type $[g(i)g(k)(-1)] = K$, where whole K is a subgroup of G^* , will divided G^* in the equivalence classes $\{\alpha, \{\beta\}, \text{and } g\{g\}\}$ respect to the semi group $F = \{W^-, W^+, Z^0\}$. According to E. No ether theorem this division induces a natural homomorphism of the G^* on to a group Γ – where the non-identity elements of the group Γ are homeomorphic images of the lepton generations. Suppose that the complementary spaces for proton and neutron $S^3 \setminus k_p$ and $S^3 \setminus k_n$ are covering spaces for the same M_0^3 (Fig. 5) [5], but there is a perturbation in the covering group of the neutron, which means, that for an ensemble of N neutrons, $N \gg 1$, a single branching of the universal covering space for N neutron wave function includes the leaves of different copies of $S^3 \setminus k_{(n^0)}$, as can be illustrated by the analogy with the Kantor type Wild Knot (Fig. 3) [8], then in the remaining neutrons will be $1 + 2 + \dots + 2^{k-1} \approx 2^k$. Here we note that in 1957 Everett introduced the concept of a branched wave-function, to explain the probability nature of the particle decay; introducing a many world interpretation of quantum mechanics, when for all moments when the neutron can decay, there is one copy of the universe, where this really happens (Fig. 2). We also underline the affinity of this concept to the theoretical bases of which is at the origin of very interesting for us experiments by M. Berry. Here we quote the branching of the dislocation loop of the wave-function. The phase-surface of monochromatic light see for instance Fig. 6. It is natural to ask does this topological bang scenario have any advantages respect to traditional big bang theory. One can easily see that for the topologically quantized universe the problems of homogeneity and horizon can be solved without the help of the inflationary theory if one desires of course. Secondly the large-scale structure of the universe such as filamentary distribution of ordinary matter and structure like Sloan-Great Wall follow naturally from *postulate*(*). At last I would be express my great gratitude to my scientific consultant Academician Sergei Novikov for his attention to my work and Sofo Burjanadze, who helped me in writing down this article.

References

- [1] Faddeev L. Knotted solitons and their physical applications. Phil. Trans. R. Soc. Lond. A, 2001, pp. 1399-1403.
- [2] Vashskmadze D. Knot theory and Particle Physics. Proceed. Vekua Inst. Appl. Mathematics. 1992, V. 44, pp. 128-158.
- [3] Hilden H. M., Lozano M. T., Montesinos J. M. On the universal group of the Borromean rings. Lecture Notes, Mathem., V. 820, Springer-Verlag, 1989, pp. 1-13.
- [4] Hilden H. M., Lozano M. T., Montesinos J. M., Written W. C. On the universal groups and three-dim. manifolds. Invent. Math., 1987, V. 87, pp. 441-456.
- [5] Abikoff W. The real-analytic theory of Teichmüller Space. Springer-Verlag, Bern / Heidelberg / New York, 1980.

- [6] Thurston W. The geometry and topology of three-dimensional manifolds. Princeton Press Preprint, 1996.
- [7] Elstrodt J., Grunewald F. Mennicke groups acting on hyperbolic space. Springer, 1997.
- [8] Sossinsky A. No digenesidiuna teoria matematica. Bollati Boringhieri, 2000.

ПРИЛОЖЕНИЕ II. В мире науки и искусства.



1



2



3



4

1. На научной конференции (1981 г.); 2. Триумфальный докладна заседании кафедры теоретической физики физического факультета ТГУ (1992 г.);
3. Перед выступлением на концерте в Вашингтоне (2005 г.);
4. В роли Аиды в Тбилиси (2005 г.).

სარჩევი – Содержание – Content

დარახველიძე ლ. – მ. ნოდია სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის დამაარსებლები Дарახвелидзе Л.К. – Основатели Института геофизики им. М.З. Нодиа Darakhvelidze L. – The Founders of M. Nodia Institute Geophysics	5-15
დარახველიძე ლ.კ. – Поздравляем юбиляра Института геофизики В.Г. АБАШИДЗЕ с 90 летием	16-17
დარახველიძე ლ.კ. – Поздравляем юбиляров Института геофизики с 70 летием	18-20
აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. – ენგურის თაღოვანი კაშხლის ტანის და მის ფუძეში გამავალი რღვევის ბლოკების დინამიკა სტაციონარული გეოფიზიკური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით Абашидзе В.Г., Челидзе Т.Л., Довгаль Н.Д., Давиташвили Л.А. – Динамика тела Ингурской высотной арочной плотины и разлома, проходящего под плотиной по данным стационарных геофизических наблюдений Abashidze V., Chelidze T., Dovgal N., Davitashvili L. – The Dynamics of the Enguri Arch Dam Body and the Fault Blocks under its Foundation according to the Stationary Geophysical Observation Data	21-29
მინდელი პ., იავოლოვსკაია ო., გამყრელიძე ნ., ადიკაშვილი ლ., ნიკოლაიშვილი მ. – გეოფიზიკური მონაცემებით გეოლოგიის ზოგიერთი პრობლემის გადაწყვეტის შესახებ Миндели П.Ш., Яволовская О.В., Гамкрелидзе Н.П., Адикашвили Л.Н., Николайшвили М. М. – К решению некоторых проблем геологии геофизическими методами Mindeli P., Yavolovskaya O., Gamkrelidze N., Adikashvili L., Nikolaishvili M. – Solution of some problems of geology by geophysical methods	30-38
ხუნდაძე ნ., ხითარაშვილი ვ., რაზმაძე თ. – დახრილი ჭაბურღილებს ბურღვა გამრუდების პარამეტრების განსაზღვრისა და გეოფიზიკური კვლევების გაუმჯობესებით Хундадзе Н.Ш, Хитарашвили В.Э., Размадзе Т.Д. – Бурение наклонных скважин с улучшением определения параметров искривления и геофизических исследований Khundadze N., Khitarishvili V., Razmadze T. – Drilling of inclined wells by defining curve parameters and improving geophysical surveys	39-43
ოდილადაძე დ., ჭელიძე თ., ღლონტი ნ., კირია ჯ., თარხნიშვილი ა. – გეორადიოლოკაციის პირდაპირ და შებრუნებულ ამოცანებში „ფენობრივი სოლის“ ტიპის მოდელის ფიზიკური მოდელირება Одилавадзе Д.Т, Челидзе Т. Л., Глонти Н.Я., Кирия Д.К., Тархнишвили А.Г. – Физическое моделирование модели типа „слоистый клин“ в прямых и обратных задачах георадиолокации Odilavadze D., Chelidze T., Glonti N., Kiria J., Tarkhnishvili A. – Physical modeling of the type "layer wedge" model in direct and reverse problems of georadiolocation	44-61
არაბიძე ვ., გოგმაჩაძე ს., გოგოლაძე ზ. – სეისმური ზემოქმედებისას რელიეფის დახრილობის გავლენა შენობა-ნაგებობების რეაქციაზე Арабидзе В.Г., Гогмачадзе С.А., Гоголадзе З.Р. – Влияние рельефа на реакцию зданий-сооружений при сейсмических воздействиях Arabidze V., Gogmachadze S., Gogoladze Z. – Reaction of buildings placed on sloped terrain during seismic action	62-68

არაბიძე ვ., ჭკუასელი ლ. – შენობების კლასიფიკაცია სეისმური რისკის შეფასების დროს	69-77
Арабидзе В.Г., Чкуасели Л.Б. – Классификация зданий-сооружений при определении сейсмического риска	
Arabidze V., Chkuaseli L. – Classification of buildings for the determination of seismic risk	
გოგუა რ., გვანცელაძე თ., ქირია ჯ. – გურიის ტერიტორიის მაგნიტური ველი და მისი გეოლოგიური ინტერპრეტაცია	78-85
Гогуа Р.А., Гванцеладзе Т.А., Кириа Дж. К. – Магнитное поле территории Гурии и его геологическая интерпретация	
Gogua R., Gvantseladze T., Kiria J. – The magnetic field of the territory of Guria and its geological interpretation	
ჩანქსელიანი ზ., მათიაშვილი ს., კერესელიძე ზ., ჩხიტუნძიძე მ. – ნიადაგის ზედაპირის რადიაციულ-ქიმიური დაბინძურების ინტენსივობის ცვლილების არასტაციონარული მოდელი	86-99
Чанкსелиани З.Ж., Матиашвили С.Б., Кереселидзе З.А., Чхитунидзе М.С. – Нестационарная модель изменения интенсивности радиационно-химического загрязнения поверхности почвы	
Chankseliani Z., Matiashvili S., Keresekidze Z., Chkhitudze M. – Non-stationary model of intensity variation in radial-chemical pollution of soil surface	
კერესელიძე ზ., ხვედელიძე ი. – წყლის ხარჯის შეფასება მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნის დროს	100-117
Кереселидзе З.А., Хведелидзе И.Б. – Оценка расхода воды во время паводка реки Vere 13. 06. 2015 года	
Kereselidze Z., Khvedelidze I. – Evaluation of water flow at Vere during the flood of 13.06.2015	
ამირანაშვილია., ჯაფარიძე ნ., ქართველიშვილი ლ., მეგრელიძე ლ., ხაზარაძე ქ. – ჰაერის საშუალო თვიური ეფექტური ტემპერატურის სტატისტიკური მახასიათებლები მისენარდის მიხედვით აჭარის ავტონომიურ რესპუბლიკასა და კახეთში (საქართველო)	118-138
Амиранашвили А.Г., Джапаридзе Н.Д., Картвелишвили Л.Г., Мегрелидзе Л.Д., Хазарадзе К.Р. – Статистические характеристики среднемесячных значений эффективной температуры воздуха по Миссенарду в Автономной Республике Аджария и Кახетии (Грузия)	
Amiranashvili A., Japaridze N., Kartvelishvili L., Megrelidze L., Khazaradze K. – Statistical characteristics of the monthly mean values of air effective temperature on Missenard in the Autonomous Republic of Adjara and Kakheti (Georgia)	
ზერაკიძე ზ., ქირია ჯ., ქირია თ., ჭანია მ. – ჰიპოთეზათა შემოწმების ძალდებული კრიტერიუმები გაუსის სტატისტიკური სტრუქტურებისათვის	139-145
Зеракидзе З., Кириа Д., Кириа Т., Чания М. – Состоятельные критерии проверки гипотез для статистических структур Гаусса	
Zerakidze Z., Kiria J., Kiria T., Chania M. – Состоятельные критерии проверки гипотез для статистических структур Гаусса	
ზერაკიძე ზ., ქირია თ., ჭანია მ. – ჰიპოთეზათა შემოწმების ძალდებული კრიტერიუმები	146-148
Зеракидзе З., Кириа Т., Чания М. – Состоятельные критерии для проверки гипотез	
Zerakidze Z., Kiria T., Chania M. – Cantidation for existence of such criteria	
საკვარელიძე ე., გლონტი ლ. – ბრტყელი იმპულსური წყაროს მეთოდით ქანების სითბური პარამეტრების განსაზღვრის მეთოდის შესახებ	149-152
Сакварелидзе Е.А., Глонти Л.Е. – О методике измерения теплофизических параметров горных пород методом плоского импульсного источника тепла	
Sakvarelidze E., Glonti L. – About the methodology for measuring thermo physical parameters of rocks by the method of a flat pulsed heat source	

გველესიანი ა. – გეოფიზიკური თერმოდინამიკური სისტემების სტატისტიკური და სითბური თვისებები Гвелесиани А. И. – Статистические и тепловые свойства параметров геофизических термодинамических систем Gvelesiani A. -Statistical and thermal properties of geophysical thermodynamic systems	153-174
სურმავა ა., გიგაური ნ., გვერდწითელი ლ., ინჭკირველი ლ. – ქ. ზესტაფონის მტვრის გავრცელების რიცხვითი მოდელირება ფონური დასავლეთის წყნარი, სუსტი და ზომიერი ქარის დროს Сурмава А. А., Гигаური Н. Г., Гвердцители Л. В., Инцкирвели Л. Н – Численное моделирование распространения пыли г. Зестафони при фоновом западном тихом, слабом и свежем ветрах Surmava A., Gigauri N., Gverdtsiteli L., Intskirveli L. – Numerical modeling of Zestafoni city dust distribution in case of background western, light air, gentle and fresh breezes	175-184
დემეტრაშვილი დ. – მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ზღვისა და ატმოსფეროს დინამიკის მოდელირების სექტორში ჩატარებული სამეცნიერო-კვლევითი სამუშაოები და მათი შემდგომი განვითარების პერსპექტივები Деметрашвили Д. И. – Научно-исследовательские работы, проводимые в секторе моделирования динамики моря и атмосферы Института геофизики им. М. З. Нодиа и перспективы их дальнейшего развития Demetrashvili D. – Researches carried out in the sector of modeling the sea and atmosphere dynamics of M. Nodia institute of geophysics and prospects for their further development	185-195
ამირანაშვილი ა., კერესელიძე ზ., მიტინი მ., ხვედელიძე ი., ჩიხლაძე ვ. – მდინარე ვერეს ხეობის მიკროკლიმატის შემაშფოთებელი ფაქტორები და მათი გავლენა წყალმოვარდნების ინტენსივობაზე Амиранашвили А.Г., Кереселидзе З.А., Митин М.Н., Хведелидзе И.Б., Чихладзе В.А. – Тревожные факторы микроклимата долины реки Vere и их влияние на интенсивность паводков Amiranashvili A., Kereselidze Z., Mitin M., Khvedelidze I., Chikhladze V. – Alarming factors of the microclimate of the Vere river valley and their influence on the floods intensity	196-210
ხარჩილავა ჯ. – საქართველოში ატმოსფერული ოზონის კვლევების ზოგიერთი შედეგები Харчилава Дж. Ф. – Некоторые результаты исследований атмосферного озона в Грузии Kharchilava J. – Some results of investigations of atmospheric ozone in Georgia	211-219
ბერძენიშვილი ნ., დავითაშვილი მ. – აეროზოლური ეფექტი ატმოსფეროში Бердзенишвили Н. М., Давиташвили М. Д. – Аэрозольный эффект в атмосфере Berdzenishvili N., Davitashvili M. – Aerosol effect in the atmosphere	220-226
ღლონტი ნ. – საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“, ქუთაისი, 21-22 სექტემბერი, 2018 წელი Глонти Н. Я. – Международная научная конференция “СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ”, Кутаиси, 21-22 сентября 2018 г. Ghlonti N. – International Scientific Conference “MODERN PROBLEMS OF ECOLOGY”, Kutaisi, 21-22 September, 2018	227-235
Дарахвелидзе Л.К., Деметрашвили Д.И., Хатиашвили В.Г. – ПАМЯТИ КОЛЛЕГ	236-239
Гвелесиани А.И. – Светлой памяти Дианы Вашакмадзе	240-250

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY

ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXIX, 2018

Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXIX, 2018

Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. LXIX, 2018

ტირაჟი 50 ც.

მასალები მომზადებულია მიხეილ ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის საგამომცემლო კომპიუტერულ ცენტრში.

სამეცნიერო საგამომცემლო ჯგუფის ხელმძღვანელი – ლ. დარახველიძე.

ტექნიკური რედაქტორი – მ. დარსანია.

კომპიუტერული უზრუნველყოფა – თ. ქირია.

Circulation 50 copy.

Material for the Transactions is prepared in the publishing- computer center of the M. Nodia Institute of Geophysics.

Leader of scientifically – publishing group – L. Darakhvelidze.

Technical editor – M. Darsaniya.

Computer guarantee – T. Kiria.

Тираж 50 экз.

Материал для сборника подготовлен в издательско-компьютерном центре Института геофизики им. М. З. Нодиа.

Руководитель научно-издательской группы – Л. К. Дарахвелидзе.

Технический редактор – М. С. Дарсания.

Компьютерное обеспечение – Т. В. Кириа.

ISSN 1512-1135

E-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com; geophysics.transactions@tsu.ge

<https://scholar.google.com/citations?user=EdMkYoYAAAAJ&hl=en>

<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>

თბილისი

Tbilisi 2018 Тбилиси

კომპ. უზრუნველყოფა
გარეკანის დიზაინი

ლალი კურდღელაშვილი
მარიამ ებრალიძე

Layout Designer
Cover Designer

Lali Kurdghelashvili
Mariam Ebralidze

0179 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 14
14, Ilia Tchavtchavadze Ave., Tbilisi 0179
Tel: 995(32) 225 14 32
www.press.tsu.edu.ge