

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
მიხეილ ნოდის სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტი

**IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY**  
**Mikheil Nodia Institute of Geophysics**

**ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ**  
**Институт геофизики им. М. З. Нодиа**

**შრომების კრებული**  
**ტ. LXVI**

**TRANSACTIONS**  
**vol. LXVI**

**СБОРНИК ТРУДОВ**  
**т. LXVI**

**თბილისი - Tbilisi - Тбилиси**

**2016**

## სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭო

აბაშიძე ვ. (მთავარი რედაქტორი), 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), ელიზბარაშვილი ე., ვარამაშვილი ნ., ზაალიშვილი ვ. (რესპუბლიკა ჩრდილოეთ ოსეთი-ალანია, რუსეთი), თავართქილაძე კ., კვინიკაძე მ., კერესელიძე ზ., კორძაძე ა., მამაძლი ტ. (აზერბაიჯანი), მელიქაძე გ., მეტრეველი გ., მინდელი პ., პეტროსიანი ჰრ. (სომხეთი), პოვოლოცკაია ნ. (რუსეთი), ჟოვინსკი ე. (უკრაინა), სენიკი ი. (რუსეთი), ტატიშვილი მ., ქართველიშვილი კ., ქირია ჯ., ლლონტი ნ., ჩაგელიშვილი გ., ჭელიძე თ., ხარშილაძე ო., ხვედელიძე ზ.

## THE EDITORIAL AND PUBLISHING BOARD

Abashidze V. (Editor-in-Chief), Adamia Sh., Adjiev A. (Kabardino-Balkar Republic, Russia), Amiranashvili A. (secretary), Benderev A. (Bulgaria), Bolashvili N., Chagelishvili G., Chelidze T., Darakhvelidze L. (Associate Editor), Elizbarashvili E., Gankrelidze I., Ghlonti N., Gogichashvili A. (Mexico), Gvelesiani A., Gventsadze T., Kartvelishvili K., Kereselidze Z., Kharshiladze O., Khvedelidze Z., Kiria J., Kordzadze A., Mammadli T. (Azerbaijan), Kvinikadze M., Melikadze G., Metreveli G., Mindeli P., 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

Абашидзе В.Г. (главный редактор), 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), Дарахвелидзе Л.К. (заместитель главного редактора), Жовинский Э.Я. (Украина), Заалишвили В.Б. (Республика Северная Осетия-Алания, Россия), Картвелишвили К.З., Квиникадзе М.С., Кереселидзе З.А., Кириа Дж.К., Кордзадзе А.А., Маммадли Т. (Азербайджан), Меликадзе Г.И., Метревели Г.С., Миндели П.Ш., 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, მოკლე ინფორმაციები, დისკუსიები, წიგნების მიმოხილვები, განცხადებები სამ - ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენაზე. პუბლიკაციები უფასოა. კრებული არის საერთაშორისო რეფერირებადი, რეცენზირებადი და ციტირებადი გამოცემა; ჩართულია საერთაშორისო ელექტრონულ საბიბლიოთეკო მონაცემთა ბაზა **DSpace** - ში. მისი ინდექსირება ხდება **Google Scholar** და **Publish or Perish** - ში. გამოდის, როგორც წესი, წელიწადში ერთხელ, სტატიების დაგროვების მიხედვით. საჭიროების შემთხვევაში შესაძლებელია წელიწადში რამდენიმე კრებულის გამოცემა.

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

Сборник охватывает все направления геофизики. Издается с 1936 года. В сборнике публикуются научные статьи, монографии, обзоры, краткие информации, дискуссии, обозрения 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. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
Tel.: 233-28-67; Fax: (99532) 2332867; e-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com

### 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

### 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

ელექტრონული ვერსიის მისამართი  
The address of electronic version  
Адрес электронной версии

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

დაიბეჭდა თსუ გამომცემლობის სტამბაში  
Published by TSU Press  
Напечатано в типографии ТГУ

0128 Tbilisi, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 1  
1 Pila Chavchavadze Avenue, Tbilisi 0128  
0128 Тбилиси, просп. И.Чавчавадзе, 1  
Tel 995 (32) 225 14 32, 995 (32) 225 27 36

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

ISSN 1512-1135

უაკ 550.3 + 551.5 + 551.509.61 + 556.1

## რეზიუმე

კრებული ეძღვნება ცნობილი ქართველი გეოფიზიკოსის ამირან ქარცივაძის დაბადებიდან 95 წლისთავს. მოყვანილია მოკლე ბიოგრაფიული მონაცემები ა. ქარცივაძის შესახებ, ატმოსფეროს ფიზიკის და ამინდის მოდიფიკაციის დარგებში მისი სამეცნიერო და პრაქტიკული საქმიანობის შესახებ. წარმოდგენილია კერძოდ იმ შრომების მიმოხილვა, რომლებიც დაიწყო ა. ქარცივაძის მოღვაწეობის დროს, გაგრძელდა მისი აქტიური მონაწილეობით და მიიღო განვითარება მისი გარდაცვალების შემდეგ. განსაკუთრებული ყურადღება მიექცა ა. ქარცივაძის მიერ დაწყებული ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების საკითხების ევოლუციას.

კრებულში წარმოდგენილია აგრეთვე შრომები გეოფიზიკის ისეთ მიმართულებებში, როგორებიცაა: მდინარეების დახურული (დახშული) კალაპოტების ჰიდროდინამიკური პრობლემების გამოკვლევა, ეკოლოგიური მეცნიერებების ამოცანები ეკოლოგიური კრიზისის დასაძლევად, ჩრდილოეთ კავკასიის ტერიტორიაზე საშიში მეტეოროლოგიური პროცესების შესწავლა, ქ. თბილისში დედამიწის მიმოქცევითი დეფორმაციების შესწავლა, სეისმური პროცესების და მასების გადაადგილების ლაბორატორიული მოდელირება, ენგურჰესის რაიონში ბლოკების შესაძლო გადაადგილების ექსტენზომეტრული კონტროლი. წარმოდგენილია სტატია, რომელიც 2016 წელს გარდაცვლილი გეოფიზიკის ინსტიტუტის თანამშრომლის ნ. ჭიაბრიშვილის მოღვაწეობას ეძღვნება.

UDC 550.3 + 551.5 + 551.509.61 + 556.1

## Abstract

The transactions are dedicated to 95<sup>th</sup> anniversary from the birthday of well-known Georgian geophysicist Amiran Kartsivadze. Brief biographical information about A. Kartsivadze, his scientific and practical activity in the field of physics of atmosphere and weather modification are presented. In particular, the transactions include survey of the works, which were begun with the life A. Kartsivadze and were carried out with his active participation and underwent development after his death. Special attention is paid to questions of the evolution of works on active actions on atmospheric processes of initiated by A. Kartsivadze.

The transactions also touch works on such directions of geophysics as: study of the hydrodynamic problems of the closed river beds, task of ecological science for overcoming the ecological crisis, study of dangerous meteorological processes for the territory of the North Caucasus, study of the tidal deformations of the earth in Tbilisi, hydrodynamic foreshocks, laboratory simulation of the motion of masses and seismic process, extensometer control of the block movements across the Enguri dam. The transactions also includes an article describes the activities of scientist of Institute of Geophysics N. Chiabrishvili who passed away in 2016.

УДК 550.3 + 551.5 + 551.509.61 + 556.1

## Реферат

Сборник посвящен 95-летию со дня рождения известного грузинского геофизика Амირана Ильича Карцивадзе. Приводятся краткие биографические сведения об А.И. Карцивадзе, его научной и практической деятельности в области физики атмосферы и модификации погоды. В частности, представлен обзор работ, которые были начаты при жизни А.И. Карцивадзе, проводились при его активном участии и получили развитие после его смерти. Особое внимание уделено вопросам эволюции начатых А.И. Карцивадзе работ по активным воздействиям на атмосферные процессы.

В сборнике представлены также работы по таким направлениям геофизики, как: исследования гидродинамических проблем закрытого русла рек, задачи экологической науки для преодоления экологического кризиса, изучение опасных метеорологических процессов на территории Северного Кавказа, изучение приливных деформаций Земли в Тбилиси, гидродинамические предвестники землетрясений, лабораторное моделирование движения масс и сейсмического процесса, экстензометрический контроль возможного перемещения блоков в районе Ингурской ГЭС. Представлена статья, посвященная деятельности скончавшегося в 2016 году сотрудника Института геофизики Н.Г. Чиабришвили.

## АМИРАН ИЛЬИЧ КАРЦИВАДЗЕ. К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ

<sup>1</sup>Глonti Н.Я., <sup>1</sup>Дарахвелидзе Л.К., <sup>2</sup>Цинцадзе Т.Н.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, Ghlonti60@yahoo.com

<sup>2</sup>Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета



В 2015 году исполнилось 95 лет со дня рождения известного грузинского геофизика Амираана Ильича Карцивадзе.

В течение десятков лет А.И. Карцивадзе руководил сектором физики атмосферы в Институте геофизики АН Грузии (ныне Институт геофизики им. М.З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили), в котором проводились теоретические, лабораторные и полевые-экспериментальные исследования физических основ, средств и методов воздействия на градовые процессы, имеющие большое практическое значение. Под его руководством в институте был создан экспериментальный комплекс термобарокамер, где можно моделировать характерные для земной атмосферы физические условия.

Амиран Ильич Карцивадзе родился 22 января 1920 года в Тбилиси, в семье педагогов Ивлиты Пурцеладзе и Ильи Карцивадзе. Ивлита Пурцеладзе – дочь грузинского писателя, публициста и общественного деятеля Антона Пурцеладзе, выпускница училища благородных девиц, преподавала грузинский язык, имела звание заслуженного педагога Грузии (1948г.). Отец Илья Карцивадзе – выпускник физико-математического факультета Петербургского государственного университета, был репрессирован в 1938 году, реабилитирован в 1956 году.



А.И. Карцивадзе с родителями.

А.И. Карцивадзе в 1937 году с отличием окончил 25-ую среднюю школу, и в том же году поступил на физико-математический факультет Тбилисского государственного университета (ТГУ). В школьные и студенческие годы занимался спортом, был рекордсменом Грузии по легкой атлетике. С 1937 по 1941 год одновременно с учебой работал старшим преподавателем на кафедре физкультуры ТГУ. В 1941 году женился на Гильде Евгеньевне Бюс, дочери известного сейсмолога проф. Е.И. Бюса. Проф. Е.И. Бюс работал заведующим Тбилисской Центральной сейсмической станцией Тбилисской геофизической обсерватории, был одним из основателей Геофизического института в Грузии. Амиран Ильич всегда с большим уважением и любовью вспоминал Евгения Ивановича, интересные беседы с ним, его мудрые высказывания и взгляды.



А.И. Карцивадзе с семьей (слева – направо, сыновья Зураб и Гуннар, справа – супруга Гильда, в центре – невестка Ольга).

В 1941 году из-за семейных обстоятельств А.И. Карцивадзе пришлось временно оставить учебу в университете. Он устроился старшим преподавателем в Центральной детской спортивной школе Тбилисского отделения народного образования (ТОНО), в которой работал до 1944 года. Одновременно в 1942-1943 гг. работал инспектором в Тбилисском комитете по делам физкультуры и спорта, а в 1942-1952 гг. – на кафедре легкой атлетики Грузинского государственного института физической культуры. В 1946 году А.И. Карцивадзе восстановил учебу в ТГУ. В 1948 г. закончил физико-математический факультет ТГУ по специальности «геофизика».

В то время Амиран Ильич был заинтересован вопросами физических свойств снежного покрова. С этой целью он установил контакты с лабораторией физики атмосферы тогдашнего Института физики и геофизики, в котором с 1949 года работал внештатным сотрудником, а с 1950 года он был зачислен в штат и с марта по ноябрь 1950 года принимал участие в работе Эльбрусской высокогорной геофизической экспедиции. В экспедиции Амиран Ильич пользовался им же сконструированным прибором для определения механических напряжений, возникающих в снежном покрове

По окончании экспедиции А.И. Карцивадзе регулярно посещал семинар лаборатории физики атмосферы и активно участвовал в его работе.

В 1951 году А.И. Карцивадзе поступил в аспирантуру Института геофизики (к этому времени Институт физики и геофизики распался на два самостоятельных института) по специальности «Физика атмосферы». Вступительные экзамены сдал на отлично. 18 января 1952 года на ученом совете института были утверждены тема его кандидатской диссертации: «Термический режим приземного слоя воздуха в зависимости от особенностей радиационных

условий горных склонов» и индивидуальный план работы. Научным руководителем был утвержден руководитель лаборатории физики атмосферы, доктор физ.-мат. наук, проф. А.Г. Балабуев. По вопросам диссертационной темы А.И. Карцивадзе с 2 июля по 2 августа 1952 г. был командирован в научные учреждения Москвы и Ленинграда (Санкт-Петербурга). Командировка преследовала следующие цели: консультации с ведущими специалистами, ознакомление с существующей и новейшей литературой, ознакомление с существующими работами по физике атмосферы и с существующей аппаратурой и выяснение возможностей ее получения, разработку схемы методики предстоящих экспериментальных работ.

Итак, шаг за шагом, с помощью большой трудоспособности в нем вырабатывались качества, необходимые для успешной научной деятельности. Тем не менее странно, что, при таких успехах и такой самоотверженной работе, кандидатская диссертация им в то время не была защищена.

С начала 1953 года в Институте геофизики начался новый этап развития исследований в области физики атмосферы. Это было связано с развитием проблемы активных воздействий на атмосферные процессы, в частности, с исследованием грозоградовых явлений и с разработкой средств и методов воздействия на них. Значение изучения проблемы градовых явлений было велико в связи с тем ущербом, который сельскому хозяйству Грузии ежегодно наносился градобитиями. Исследования показали, что в Кахетии вдоль склонов Цив-Гомборского хребта и в Алазанской долине наиболее часто осуществляются условия, способствующие градообразованию, и этот район является как-бы естественной лабораторией, где можно всесторонне изучить это явление и вести опытные работы по воздействию на процессы градообразования. Эти работы были возложены на молодого тогда ученого А.И. Карцивадзе. В дальнейшем работы по решению этих проблем осуществлялись под его руководством с охватом широкого комплекса исследований. Со второй половины 50-ых годов проводились опыты по воздействию на конвективные облака. Тогда же специальными конструкторскими организациями была начата разработка первой отечественной противоградовой ракеты. На вершине Цив-Гомборского хребта были проведены испытания опытной партии этих ракет. Эта ракета нашла широкое применение в практических работах по борьбе с градом в Грузии, Молдавии, в Крыму и других союзных республиках бывшего СССР, а также в Болгарии, Венгрии, Швейцарии.



А.И. Карцивадзе знакомит академиков М.В. Келдыша и А.П. Александрова с противоградовой базой в Кахетии. Начало шестидесятых годов прошлого столетия.

Научные разработки и крупномасштабные натурные эксперименты, проведенные Институтом геофизики, явились основой для создания в 1961 году при Министерстве сельского хозяйства Грузии первой в СССР Службы борьбы с градом. Сотрудники Службы (А.И. Карцивадзе, сотрудники Института гидрометеорологии и других организаций) внесли большой вклад в усовершенствование и развитие средств и методов борьбы с градом, а также в их внедрение в практику.

В 1959 году А.И. Карцивадзе назначают заведующим лабораторией физики облаков и осадков и начальником Алазанской противоградовой стационарной экспедиции. С 1963 года - он уже заведующий отделом физики облаков и активных воздействий. В 1966 году его назначают начальником Военизированной Службы борьбы с градом Министерства сельского хозяйства Грузии (по совместительству, на этой должности находился до 1983 года). 11 октября 1967 года в главной Геофизической обсерватории (Москва, ГГО) им. Воейкова А.И. Карцивадзе защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему: «О механизме искусственного воздействия на градовые процессы».

Разработка и внедрение средств и методов воздействия на градовые процессы в 1969 году была отмечена Государственной премией СССР по науке и технике. Этой премии наряду с другими специалистами был удостоен и А.И. Карцивадзе. Кроме того, сотрудники Института геофизики, выполняющие эти работы, были отмечены высокими правительственными наградами, а также золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР.

В 1969-1970 гг. была создана новая противоградовая система «Алазани», которая по своим тактико-техническим показателям являлась наилучшей по сравнению с существующими в мире техническими средствами аналогичного назначения. В 1971 году А.И. Карцивадзе награждают орденом «Трудового Красного Знамени», а в 1973 году он получает высшую награду - орден Ленина. С 1972 года до конца своей жизни Амиран Ильич Карцивадзе в Институте геофизики руководил сектором физики атмосферы. В те годы этот сектор объединял отдел физики облаков (рук. А.И. Карцивадзе), отдел моделирования атмосферных процессов (рук. А.М. Окуджава), экспериментальный полигон по физике облаков (рук. Дж.Ф. Харчилава), отдел грозового электричества (рук. Т.Г. Гзиришвили), отдел научно-технического обеспечения термобарокамеры (рук. Т.Ш. Зеделашвили, позднее А.Г. Амиранашвили), отдел диффузии и загрязнения атмосферы (рук. А.Г. Балабуев, позднее В.Г.Хоргуани). Основными работами сектора были: изучение вопросов физики облаков и активных воздействий на них; исследование вредных явлений погоды, разработка методов профилактики и способов активного воздействия на них; исследование загрязнения воздуха и процессов распространения примесей в атмосфере; моделирование физических процессов, происходящих в атмосфере и исследование облаков и осадков в естественных условиях и натурные испытания различных методов воздействий на них; исследование физических процессов образования и развития конвективных облаков и осадков; изучение их структуры и динамики и микрофизики; разработка моделей градовых процессов; разработка средств и методов воздействия на мощные конвективные облака с целью предотвращения градобитий и подавления гроз и т.д.



Слева направо: проф. Л.Г. Качурин, Т.Г. Гзиришвили, А.И. Карцивадзе, М.Г. Бахсолиани (зам. начальника противоградовой службы) за обсуждением результатов опытов по воздействию на градовые процессы. Конец 70-годов прошлого столетия.



За свою жизнь А.И. Карцивадзе имел множество научных и дружественных контактов с различными учеными и специалистами в области физики атмосферы [1]. Но особо теплые деловые и дружественные отношения А.И. Карцивадзе в течение нескольких десятков лет поддерживал с профессором Ленинградского гидрометеорологического института Львом Григорьевичем Качуриным.

Работы Института геофизики АН ГССР в области физики атмосферы и модификации погоды всегда были объектом внимания руководства страны. Высшие и ответственные партийные и хозяйственные руководители Грузии часто посещали экспериментальные базы сектора физики атмосферы, интересовались ходом научных и практических работ, существующими проблемами и способами их решения.



Слева-направо: Т.Г. Гзиришвили; директор Института геофизики АН ГССР академик Б.К. Балавадзе; первый заместитель председателя Совета Министров Грузинской ССР, председатель планового комитета О. Г. Вардзелашвили; секретарь ЦК КП Грузинской ССР Д.И. Патиашвили; Дж.Ф. Харчилава; А.И. Карцивадзе во время демонстрации опытов в термобарокамере Института геофизики АН Грузии. Первая половина 80-х годов прошлого столетия.

В 1977-1980 гг. А.И. Карцивадзе принимал активное участие в проведении предварительных опытов по искусственному увеличению осадков в различных районах восточной Грузии из летних конвективных и переохлажденных слоистообразных облаков зимнего времени с использованием в качестве средств воздействия противорадиационных ракет, артиллерийских снарядов, самолета и наземных аэрозольных генераторов.

В 1983 году в связи с 50-летием Института геофизики АН Грузии институт и группа ученых, в том числе Амиран Ильич были награждены Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Грузинской ССР.

В 1985 году А.И. Карцивадзе присуждена премия Совета Министров СССР за создание эффективных химических средств с уменьшением содержания серебра, организацию крупносерийного производства и широкое внедрение их для защиты от града сельскохозяйственных культур.

26 февраля 2002 года Российская академия естественных наук и Международная академия авторов научных открытий и изобретений зарегистрировала научное открытие № 192 «Свойство органических внутрикомплексных (хелатных) соединений вызывать активную кристаллизацию переохлажденных водных систем в атмосфере». Одним из соавторов этого открытия являлся А.И. Карцивадзе. Диплом на открытие был передан Национальной Академии наук Грузии. Неизвестное ранее свойство хелатных соединений активно стимулировать фазовые перестройки переохлажденного водного аэрозоля позволило создать новый класс

реагентов, отвечающих всем необходимым требованиям. А.И. Карцивадзе автор около 130 научных работ, в том числе - двух монографий. Он является соавтором 24 изобретений по проблеме активных воздействий на облака; имеет несколько патентов. Под его научным руководством защищены две кандидатские диссертации.

А.И. Карцивадзе принимал активное участие в работах многих международных мероприятий по проблемам физики атмосферы, находился в служебных командировках в Болгарии (неоднократно с 1968 по 1979 гг.), Швейцарии (1967 г.), Венгрии (1971 г.), Англии (1972 г.), США (1978 г.), по линии научного туризма в ГДР (1979г., 1983г.), ФРГ (1988 г.) и др.



Справа - А.И. Карцивадзе, второй слева - А.М. Окуджава с участниками Международной конференции в Боулдере, США, 1978 г.



Слева направо: А.И. Карцивадзе, проф. Вашингтонского университета (Сиэтл, США) П. Хоббс и А.М. Окуджава на Международной конференции в Бад-Хомбурге, ФРГ, 1988 г.

А.И. Карцивадзе принимал активное участие в общественной жизни нашего государства, был депутатом Телавского районного совета депутатов трудящихся с 1982 года. Амиран Ильич скончался 14 мая 1989 года от сильнейшего сердечного приступа.

Амиран Ильич запомнился человеком масштабным, с широкой эрудицией, пользовавшимся высоким авторитетом везде. Был близким человеком для всего коллектива института, особенно для своего сектора, при этом был принципиальным, требовательным, во

всей его внешности чувствовалась энергия и угадывалось объективное властолюбие, не переходящее в чрезмерную жесткость по отношению к подчиненным. Главное - был представительным, интересным мужчиной, с унаследованным от родителей врожденным аристократизмом. Амиран Ильич был отличным семьянином, любящим отцом и заботливым дедом внуки Эки и внука Дэви. Таким и запомнился он нам. За все это уважаем его, чтим и помним.



А.И. Карцивадзе с внуком Дэви, Руиспири, начало 80-х годов прошлого столетия.

Примечательно, что год 95-летия со дня рождения Амирана Ильича Карцивадзе совпал с годом восстановления противорадовой службы Грузии (28 мая 2015 г.), в создание которой в свое время он, наряду с другими учеными и специалистами страны, внес неоценимый вклад. Опыт его работы в области активных воздействий на атмосферные процессы, переданный его коллегам и ученикам, а также научные статьи, отчеты, неопубликованные заметки, существенно облегчили решение множества научных и организационных вопросов в деле восстановления противорадовых работ в Грузии [2-10].

Помимо работ по активным воздействиям на атмосферные процессы А.И. Карцивадзе активно поддерживал и сам принимал непосредственное участие в исследованиях по физике атмосферных аэрозолей и озона, атмосферного и грозового электричества, теоретического и экспериментального моделирования атмосферных процессов и др. Многие из этих работ нашли продолжение и в настоящее время [11-14], некоторые планируются возобновить [15,16], а некоторые, к сожалению, на неопределенное время прекращены [17-19].

### Литература

1. Институт геофизики – 50 (под редакцией Б.К.Балавадзе). Тб.: Мецниереба, 1983, с. 94-116.
2. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противорадовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
3. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.

4. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
5. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.113-120.
6. 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.
7. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghloni N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, p. 92-106.
8. 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 противоградской службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
9. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.
10. Абаиадзе О.А., Арвеладзе Л.В., Беракчян И.Ю., Дзаганашвили Д.Р., Кириа Дж.К., Манагадзе И.Б., Размаишвили Р. Н., Татишвили Г.З., Ундилашвили Г.Д., Чхаидзе Б.Дж. Дистанционная система управления активными воздействиями на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 53-59.
11. Бериташвили Б.Ш., Блиадзе Т.Г., Мкурналидзе И.П., Трофименко Л.Т., Хоргуани Ф.А., Хуродзе Т.В., Чанкветадзе А.Ш., Чумбуридзе З.А. Исследование атмосферного электричества, грозовых процессов и антропогенного воздействия на них в Грузии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 139-151.
12. Буачидзе Н.С., Инцкирвели Л.Н., Киркитадзе Д.Д., Салуквадзе М.Т., Сурмава А.А., Цицкишвили М.С., Шавлиашвили Л.У. Некоторые экологические аспекты активных воздействий на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 156-163.
13. Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Чанкветадзе А.Ш., Чхаидзе Г.П. Некоторые результаты исследований атмосферных аэрозолей в институте геофизики им. м. Нодиа за последние три десятилетия. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 178-185.
14. Апхаидзе А.А., Балавадзе А.Ш., Никифоров Г.В., Харчилава Дж.Ф., Чхаидзе Г.П. Об исследованиях атмосферного озона в институте геофизики им. М. Нодиа. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 191-198.
15. Балавадзе А.Ш., Цицкишвили М.С. Искусственные аэрозольные радиоотражатели для исследования динамических процессов в атмосфере и облаках. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 129-134.
16. Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Чочишвили К.М. Эволюция в эффективности льдообразующих реагентов для воздействия на градовые облака. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 152-155.
17. Зурашвили З.И., Кириа Дж.К., Осидзе И.Г. Теоретические работы по коагуляционному росту града, численное моделирование градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 135-138.
18. Варамашвили Н.Д., Мирцхулава М.Д., Трофименко Л.Т., Чиабришвили Н.Г. Экспериментальное моделирование процессов контактной электризации облачной среды. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 164-177.

19.Гвелесиანი А.И., Орджоникидзе А.А., Хуродзе Т.В. Экспериментальное моделирование процессов роста и таяния градин, замерзания капель, гетерогенной нуклеации льда. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 186-190.

## **ამირან ქარცივაძე. დაბადებიდან 95 წლისთავისათვის**

**ღლონტი ნ., დარახველიძე ლ., ცინცაძე თ.**

### **რეზიუმე**

მოყვანილია მოკლე ბიოგრაფიული მონაცემები ცნობილი ქართველი გეოფიზიკოსის ამირან ილიას ძე ქარცივაძის, ატმოსფეროს ფიზიკის და ამინდის მოდიფიცირების დარგებში მისი მეცნიერული და პრაქტიკული მოღვაწეობის შესახებ.

## **AMIRAN KARTSIVADZE. TO THE 95- ANNIVERSARY FROM THE BIRTHDAY**

**Ghlonti N., Darakhvelidze L., Tsintsadze T.**

### **Abstract**

The brief biographical information about well-known Georgian geophysicist Amiran Kartsivadze, his scientific and practical activity in the field of physics of atmosphere and weather modification are given.

## **АМИРАН ИЛЬИЧ КАРЦИВАДЗЕ. К 95-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ**

**Глонти Н.Я., Дарахвелидзе Л.К., Цинцадзе Т.Н.**

### **Реферат**

Приводятся краткие биографические сведения об известном грузинском геофизике Амиране Ильиче Карцивадзе, его научной и практической деятельности в области физики атмосферы и модификации погоды.

## ВОЗОБНОВЛЕНИЕ РАБОТ ПО БОРЬБЕ С ГРАДОМ В КАХЕТИИ

<sup>1</sup>Амиранашвили А.Г., <sup>2</sup>Бурнадзе А.С., <sup>2</sup>Двалишвили К.С., <sup>2</sup>Геловани Г.Т.,  
<sup>1</sup>Глонти Н.Я., <sup>2</sup>Дзодзуашвили У.В., <sup>2</sup>Кайшаури М.Н., <sup>2</sup>Квеселава Н.С.,  
<sup>2</sup>Ломтадзе Дж. Д., <sup>2</sup>Осепашвили А.Р., <sup>2</sup>Саури И.П.,  
<sup>2</sup>Телия Ш.О., <sup>1,2</sup>Чаргазия Х.З., <sup>1</sup>Чихладзе В.А.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [avtandilamiranashvili@gmail.com](mailto:avtandilamiranashvili@gmail.com)

<sup>2</sup>Научно-технический центр «Дельта»

Борьба с градом основывается на нескольких основных физических концепциях, подробный обзор которых представлен в фундаментальной работе [1] по организации и проведению противоградовых работ: *полная кристаллизация* переохлажденной части облака, что исключает дальнейший коагуляционный рост града [2]; *теория конкуренции*, предусматривающая увеличение концентрации зародышей града, приводящая к замедлению роста града за счет нехватки жидко-капельной влаги [3-5]; *укрупнение капель с последующим их замораживанием* с целью создания большой концентрации конкурирующих зародышей града [6]; *динамическое воздействие* с целью подавления восходящего потока [7]; *понижение траектории градин*, ухудшающее условия их роста [8]; *ускорение осадкообразования* в зоне формирования условий зарождения града, приводящее к вымыванию этой зоны и исключающее зарождение и рост града [9,10].

По данным регистров Всемирной метеорологической организации (ВМО) и другим источникам, защита от града осуществляется в 48 странах мира [1,11], в которых проводятся более 65 проектов подавления града на площади около 87600 тыс. га. При этом коммерческие проекты подавления града, осуществляемые частными компаниями в США, Испании, Италии и др., не учтены. Так, в настоящее время в России под защитой от града находится более 2500 тыс. га территории, в Болгарии – более 1700 тыс. га, в Китае – более 42000 тыс. га. Средняя физическая эффективность противоградовых работ в России в 2007-2014 гг. составляла около 87% [1]. Противоградовые работы, осуществляемые в разных странах, серьезно отличаются друг от друга по научным концепциям засева; технологии засева и реализуемости концепций засева; способам обнаружения объектов воздействия и локализации объема засева; техническим средствам обнаружения засева градовых облаков; расходу реагента; методам оценки эффективности; финансовым затратам на реализацию засева [1].

В бывшем СССР в период с 1956 по 1962 гг. были разработаны три варианта метода предотвращения града, прошедшие испытания в 1963 - 1966 г., а с 1967 г. начали применяться для производственной защиты сельскохозяйственных культур от градобитий.

Первый метод. *Артиллерийский засев кристаллизующими реагентами* областей зарождения и роста града для резкого увеличения концентрации зародышей града и уменьшения размера града за счет их конкуренции за жидкокапельную влагу. Этот метод был создан в Высокогорном геофизическом институте под руководством Г.К. Сулаквелидзе [1,4]. Применялся в России (Северный Кавказ), Армении, Азербайджане, Узбекистане и Таджикистане на площади около 6500 тыс. га.

Второй метод. *Комбинированный артиллерийский засев гигроскопическими и кристаллизующими реагентами* областей повышенного радиоэха градоопасных облаков для изменения условий роста града за счет перераспределения жидкокапельной влаги между теплой и переохлажденной частями облака. Этот метод был разработан в Закавказском научно-исследовательском институте (Тбилиси) под руководством В.С. Ломинадзе и Я.Т. Бартишвили [1,6] и применялся в Грузии на площади около 400 тыс. га.

Третий метод. *Ракетный засев* областей повышенного радиоэха для создания дополнительных конкурирующих зародышей града. Он был разработан в Институте геофизики АН ГССР (Тбилиси) и Центральной аэрологической обсерватории (г. Долгопрудный) под руководством А.И. Карцивадзе, И.И. Гайворонского и Ю.А. Серегина [1,12,13] и применялся в Грузии и Молдавии на площади около 3200 тыс. га.

В первые годы реализация указанных методов осуществлялась институтами - разработчиками под руководством авторов. Научные разработки и крупномасштабные натурные эксперименты, проведенные Институтом геофизики, явились основой для создания в 1961 году при Министерстве сельского хозяйства Грузинской ССР первой в СССР Службы борьбы с градом. Сотрудники службы (А. И. Карцивадзе, Б. И. Кизирия, Ж. И. Дарчиашвили, Г. И. Сулханишвили, Г. Г. Тодуа, Ш. Ф. Цискаришвили, З. Л. Хитиришвили, М. Г. Бахсолиани, Л. Н. Кочиашвили, Б. Ш. Бериташвили, Т. Г. Гигойдзе, О. А. Кобиашвили, Н. Ф. Пейкришвили, Б. Г. Барбакадзе, А. Д. Калатозишвили, М. Матиашвили и др.) внесли большой вклад в усовершенствование и развитие средств и методов борьбы с градом, а также в их внедрение в практику [13]. В 1967 году для производственной защиты посевов от градобитий было создано десять территориальных Военизированных Служб по Активным Воздействиям на Гидрометеорологические Процессы.

Разработка и внедрение средств и методов воздействия на градовые процессы в 1969 г. были отмечены Государственной премией СССР по науке и технике. Звания лауреатов этой премии, наряду с другими специалистами, были удостоены и грузинские ученые - Н. Ш. Библашвили, А. В. Бухникашвили, А. И. Карцивадзе, Б. И. Кизирия, Г. К. Сулаквелидзе. Кроме того, сотрудники Института геофизики, выполняющие эти работы, были отмечены высокими правительственными наградами, а также золотыми, серебряными и бронзовыми медалями ВДНХ СССР.

С 1980 по 1984 г. техника и технология противоградовой защиты (ПГЗ) во всех регионах были унифицированы на базе разработанных в научно-производственном центре ПГЗ под руководством М.Т. Абшаева [1]. Эта унификация подразумевала применение единых методов и средств обнаружения и распознавания градовых облаков (радиолокатора МРЛ-5 и руководства по его применению); новой технологии активных воздействий, базирующейся на ускорении осадкообразования из областей будущего градообразования и дифференцированных схемах засева облаков различной структуры и стадии развития; более совершенных ракетных противоградовых комплексов «Алазань», «Кристалл», «Небо», и др.; автоматизированной радиолокационной системы управления противоградовыми операциями; единых руководящих и нормативно-технических документов, регламентирующих организацию и проведение ПГЗ; централизованного обучения и аттестации персонала всех Военизированных Служб на ежегодных курсах по воздействию, прогнозу града и техническим средствам радиолокации, ракетным и артиллерийским комплексам и связи [1].

*Физический принцип воздействия* – ускорение осадкообразования в областях будущего градообразования развивающихся и зрелых градовых облаков путем их массивного засева кристаллизующими реагентами подразумевает: вымывание областей нового роста (зон формирования и зарождения града) преждевременными осадками; динамическое подавление слабых восходящих потоков преждевременными осадками; понижение траектории растущих градин; создание благоприятных условий конкуренции естественных зародышей града с искусственными, созданными на ранних стадиях градообразования одновременно с естественными. Ускорение осадкообразования стимулируется путем создания в фидерных облаках высокой начальной концентрации искусственных кристаллизующих частиц (порядка  $10^{11} \text{ м}^{-3}$  и более) [1].

В середине-конце восьмидесятых годов прошлого столетия в Грузии противоградовые работы проводились на площади более 1200 тыс. га, в том числе в Кахетии – около 800 тыс. га [14,15].

На рис. 1 представлена схема районов работ Военизированной Службы борьбы с градом в Грузии в 1985 г. [16]. В частности, как следует из этого рисунка, в Кахетии располагались четыре военизированные части (Телавская, Гурджаанская, Сагареджойская и Цителцкарройская). Главный командный пункт располагался в с. Руиспири Телавского района, остальные – в указанных частях Кахетии. Количество ракетных пунктов воздействия было более 90. Все командные пункты были оснащены современными по тем временам радиолокационными станциями (МРЛ-2, МРЛ-5), средствами воздействия (ракеты “Алазани”, “Кристалл”), средствами связи, автомобильным транспортом, вертолетом, развитой инфраструктурой (жилые и производственные помещения, склады и др.), пунктами метеорологического обеспечения (радиозондирование, прогноз погоды) и др. Проводились регулярные исследования конвективных облаков с использованием специально оснащенной летающей лаборатории ИЛ-14 (П.В. Махарашвили, А.З. Махарашвили, А.Г. Нодия, Т.Г. Хунджава, А.Г. Амираншвили и др.), результаты которых, в частности, использовались для практических работ по воздействию на атмосферные процессы (уточнение характеристик различных реагентов и др.) [13]. Всего в Кахетии в противоградовых работах принимало участие около 800 человек.



Рис. 1

Схема районов работ Военизированной Службы борьбы с градом в Грузии.

В качестве примера на рис. 2 приведена фотография Руиспирского полигона, сделанная с борта вертолета, а на рис. 3 – фотография главного командного пункта в Руиспири. На рис. 4 представлена фотография самолета-лаборатории ИЛ-14 для исследования атмосферы и облаков и проведения активных воздействий на конвективные облака для тестирования различных реагентов.





Рис. 2

Руиспирский полигон Военизированной Службы по борьбе с градом.



Рис. 3

Главный командный пункт Военизированной Службы по борьбе с градом в Кахетии.



Рис. 4

Сотрудники Института геофизики АН ГССР А. Амиранашвили (крайний слева), А. Нодия (в центре) и А. Мусоян (крайний справа) с аэрологом Гидрометеорологического управления Грузии А. Хурцидзе (второй слева) и экипажем летающей лаборатории ИЛ-14.

На рис. 5 представлена фотография группы метеорологического обеспечения Противогорадовой службы при запуске радиозонда.

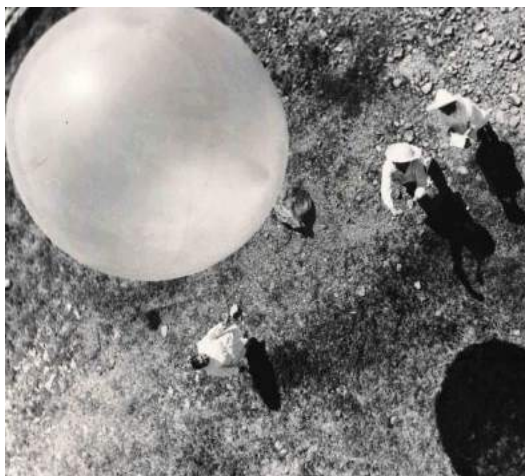


Рис. 5

Группа метеорологического обеспечения Противогорадовой службы (в центре – А. Церетели) во время запуска радиозонда.

На рис. 6 приведено изображение группы воздействия главного командного пункта в Руиспири, ответственной за проведение операций воздействия на градовые облака.



Рис. 6

Группа воздействия Главного командного пункта Военизированной Службы по борьбе с градом в Кахетии (слева направо- Г.Тодуа, З.Хитиришвили, К.Бачиашвили, Л.Г.Качурин, Бахтуридзе, М.Дзамукашвили, М.Чурхаули, М.Бахсолиани вместе с операторами).

На следующем рис. 7 представлена фотография одного из операторов радиолокационной станции Руиспирской базы, обеспечивающего группу воздействия радиолокационной информацией о градовых облаках.



Рис. 7

Оператор радиолокационной станции Руиспирской базы А. Бурнадзе.

На рис. 8 представлена фотография узла связи Руиспирской базы и оператора по связи, ответственного за связь с пунктами воздействия, авиационными службами и др.



Рис. 8

Оператор узла связи Руиспирской базы А. Шашиашвили



Рис. 9

Заседание штаба Руиспирской базы (слева направо – Л. Кочишвили, Ж. Дарчиашвили, М. Гигителашвили, А. Карцивадзе, М. Бахсолиани, Б. Бериташвили).

Ежедневно проводились заседания штаба противогодовой службы (рис. 9), на которых обсуждались различные оперативные вопросы, связанные с работой службы, проводился детальный анализ успешности операций активных воздействий на градовые процессы при наличии таковых и др.

После ряда подготовительных работ в 2013-2014 гг. [17-21], которые, в частности, включали широкое ознакомление населения Грузии, и особенно жителей Кахетии, о предстоящих восстановительных мероприятиях по возрождению противогодовой службы (рис. 10), ее деятельность после 26-летнего перерыва была возобновлена 28 мая 2015 года. На начальном этапе это восстановление произошло в Кахетии. Площадь защищаемой территории составляет около 650 тыс. га.

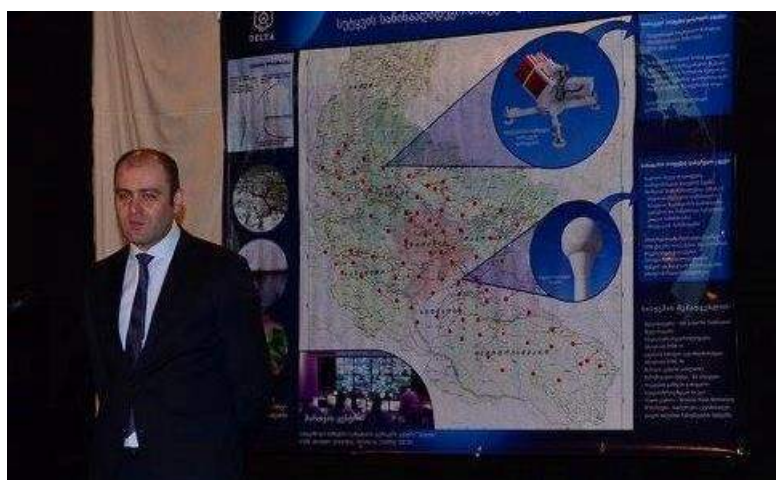


Рис. 10

Директор научно-технического центра «Дельта» У. Дзодзуашвили в г. Сигнахи Кахетинского региона при презентации проекта по восстановлению противогодовой работ.

Современная структура Противогодовой службы кардинально отличается от существовавшей ранее. На рис. 11 представлена общая схема работы восстановленной в 2015 г. Противогодовой службы в Кахетии.

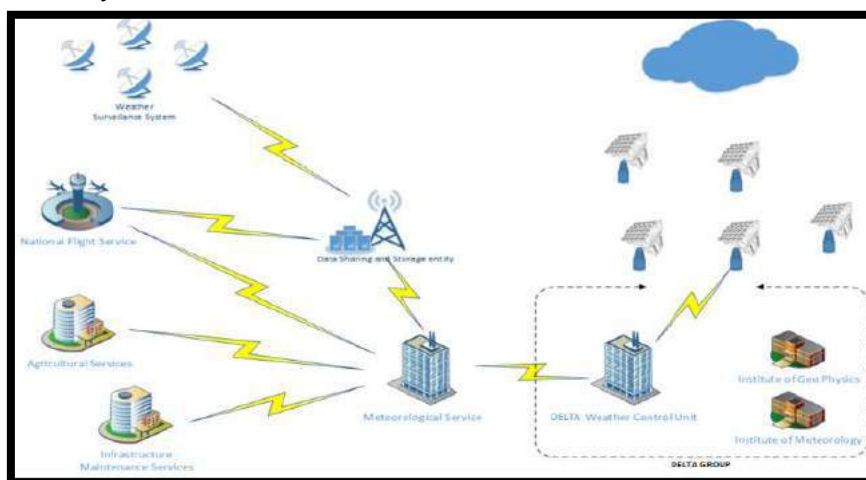


Рис. 11

Схема работы, восстановленной в 2015 г. Противогодовой службы в Кахетии.

Как следует из рис. 11, все операции по слежению за градовыми процессами и ракетного воздействия на них происходят дистанционно с командного пункта, расположенного в Тбилиси. На данном этапе для слежения за градовыми облаками используется один метеорологический радиолокатор Meteor 735CDP10 С-диапазона (5-см длина волны) фирмы Selex ES (Германия) [22, 23]. При предполагаемом расширении работ по активным воздействиям на атмосферные процессы, а также мониторингу опасных метеорологических явлений, предусмотрено приобретение еще нескольких современных метеорологических радиолокаторов, которые будут объединены в единый комплекс слежения за облаками и облачными системами (рис. 11).

Операции ракетного воздействия на градовые облака происходят более чем с 80 стационарных и двух мобильных пунктов воздействия. Используются противоградовые изделия SK-6 производства Македонии. Автоматические ракетные пусковые установки с дистанционным управлением спроектированы и изготовлены в научно-техническом центре «Дельта». Пока применяются 26-ствольные установки СД-26. При необходимости количество стволов и их калибр можно менять. На пунктах воздействия - стрелков нет. Зарядка установок противоградовыми ракетами производит специальная мобильная группа [22, 24, 25]. В ближайшем будущем предусмотрена организация производства противоградовых ракет в Грузии.

Командный пункт имеет постоянную связь с гидрометеорологической службой Грузии, министерством сельского хозяйства Грузии, Грузаэронавигацией, службами инфраструктуры и др. (рис. 12). Предусмотрена также организация «горячей» линии для средств массовой информации, заинтересованных организаций и отдельных лиц.

На рис. 12 представлена фотография группы по дистанционному слежению на компьютерных мониторах за радиолокационными характеристиками конвективных облаков и воздействию на градовые процессы в Кахетии. Как видно, современный командный пункт кардинально отличается от существовавшего ранее (рис. 6). Радиолокационный мониторинг градовых процессов, анализ метеорологической ситуации в районе воздействия по данным радиозондов [26], а также все другие работы по проведению операций по дистанционному воздействию на облака производит группа из 4 операторов (всего – 16 операторов на 4 группы).



Рис. 12

Оперативная группа по дистанционному слежению на компьютерных мониторах за радиолокационными характеристиками конвективных облаков и воздействию на градовые процессы в Кахетии.

В работе противоградовой службы предусмотрено участие научных организаций (Институт геофизики им. М. Нодиа, Гидрометеорологический институт и др.), которые должны осуществлять научно-методическое руководство работами, принимать участие в обучении персонала, проводить анализ полученных данных, совершенствовать существующие методики воздействия на атмосферные процессы и разрабатывать новые и др. [17]. На рис. 13 представлена фотография ведущих сотрудников Института геофизики им. М. Нодиа при проведении анализа данных одного из дней с воздействием на градовые процессы.



Рис. 13

Анализ данных о работе противоградовой службы после дня с воздействием (слева направо – А.Амиранашвили, В.Чихладзе, Х.Чаргазия).

В рамках соглашения между Тбилиским государственным университетом им. И.Джавахишвили и научно-техническим центром «Дельта» силами сотрудников Института геофизики им. М.Нодиа ТГУ и сотрудников центра в 2015-2016 гг. проведен специальный тренинг студентов указанного университета по вопросам активных воздействий на атмосферные процессы с целью подготовки молодых специалистов в этой области (рис. 14).



Рис. 14

В. Чихладзе (крайний справа) и М.Митин (крайний слева) во время трейнинга студентов Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили (слева направо – Г.Кураташвили, М.Небулишвили, Н.Вадачкория).

Следует отметить, что в составе сотрудников противогорадовой службы находятся и бывшие работники этой организации, работавшие ранее в Кахетии и Южной Грузии. В частности, на рис. 15 представлены фотографии А. Бурнадзе и А. Церетели, которые имеют большой опыт работы в области активных воздействий на атмосферные процессы и метеорологическому обеспечению этих работ в Кахетии (рис. 5, 7).



Рис. 15

А. Бурнадзе (слева) и А. Церетели (справа) на командном пункте.

Восстановление Службы борьбы с градом в течение всего нескольких месяцев (сентябрь 2014 – май 2015 г.) было бы невозможным без большой поддержки и помощи Правительства Грузии, а также интенсивной работы руководства научно-технического центра “Дельта”, его отдельных сотрудников, сотрудников Института геофизики им. М. Нодиа, а также вновь собранного персонала, являющегося симбиозом молодых специалистов и специалистов с большим стажем работ в области метеорологии и активных воздействий на атмосферные процессы. Авторы данной работы приносят всем сердечную благодарность. В настоящее время численность персонала Противогорадовой службы Кахетии составляет около 30 человек (против 800 в бывшей Службе).



Рис. 16

Директор научно-технического центра “Дельта” У. Дзодзуашвили (второй справа) и начальник Противогорадовой службы И.Саури (первый справа) принимают участие в работе группы по воздействию на градовые процессы. Лето 2015 года.

На рис. 16 представлена фотография директора научно-технического центра “Дельта” У. Дзодзуашвили и начальника Противогодовой службы И.Саури, которые часто принимают непосредственное участие в работе противогодовой службы.

Отметим, что в 2015 году было всего 36 дней с воздействием. Обработано 185 градоопасных и градовых зон. После возобновления противогодовых работ град выпал всего в 3 случаях. Несмотря на то, что в этом году работа Службы, главным образом, проходила в тестовом режиме, предварительный анализ показал успешность противогодовых мероприятий. Физическая эффективность противогодовых работ по результатам сопоставления реальных и ожидаемых дней с градом в указанном году составила около 92% [27]. Экономический эффект по данным о побитых градом территориях в 2015 году составил около 70% [28].

## Литература

1. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Бареква М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противогодовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
2. Денис А. Изменение погоды человеком. Пер. с англ. под ред. Ю.С. Седунова. М.: Мир, 1983, 272 с.
3. Сулаквелидзе Г.К., Бибилашвили Н.Ш., Лапчева В.Ф. Образование осадков и воздействие на градовые процессы. Л.: Гидрометеиздат, 1965, 203 с.
4. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометеиздат, 1967, 412 с.
5. Карцивадзе А.И. О механизме искусственного воздействия на градовые процессы. Гидромет. исслед. по физ. облак. и акт. возд. на погоду. М., 1967.
6. Бартишвили И.Г., Бартишвили Г.С., Гудушаури Ш.Л., Ломинадзе В.П. К вопросу комбинированного воздействия на теплую и переохлажденную часть облака с целью предотвращения града. Труды ЗаКНИГМИ, вып. 2, 1967, с. 7-22.
7. Вульфсон Н.И., Левин Л.М. Разрушение развивающихся кучевых облаков с помощью взрывов. Изв. АН СССР, Физика атмосферы и океана, т. 8, № 2, 1972, с. 156-166.
8. Browning K. A., Foote G. V. Airflow and hail growth in supercell storms and some implications for hail suppression. Quart. J. Roy. Met. Soc., v. 102, 1976, p. 499-533.
9. Абшаев М.Т., Дадали Ю.А. Некоторые вопросы воздействия на градовые процессы. Труды ВГИ, 1973, вып. 22, с. 104-116.
10. Абшаев М.Т. Новый метод воздействия на градовые процессы. Труды Всес. конф. «Активные воздействия на гидрометпроцессы». Под ред. Седунова Ю.С., Киев, Л., Гидрометеиздат, 1990, с. 118-126.
11. Report of the Meeting of experts to review the present status of hail suppression. WMO. Weather Modification. Program. Nail Suppression Research. Nalchik, Russia, 2003, 140 p.
12. Бухникашвили А.В., Гайворонский И.И., Карцивадзе А.И., Кизирия Б.И., Окуджава А.М., Орджоникидзе А.А., Серегин Ю.А. Методика АВ на градовые процессы и результаты опытов в Алазанской долине. Труды Всес. совещ. по АВ на градовые процессы, Тбилиси, 1964, с. 76-87.
13. Институт геофизики – 50 (под редакцией Б.К. Балавадзе). Тбилиси, Мецниереба, 1983, с. 94-116.
14. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
15. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77-100.



16. ცინცაძე თ., ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., სალუქვაძე მ. საქართველოში სეტყვასთან და ზვავებთან ბრძოლის სამუშაოთა განახლების საკითხისათვის. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, ISBN 978-9941-0-6156-1, თბილისი, 2013, 78 გვ.
17. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
18. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
19. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
20. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.113-120.
21. 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.
22. 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 V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, p. 92-106.
23. 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 противоградской службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
24. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.
25. Абаиадзе О.А., Арвеладзе Л.В., Беракчян И.Ю., Дзаганашвили Д.Р., Кириа Дж.К., Манагадзе И.Б., Размашишвили Р. Н., Татишвили Г.З., Ундилашвили Г.Д., Чхаидзе Б.Дж. Дистанционная система управления активными воздействиями на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 53-59.
26. <http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php>
27. Бурнадзе А.С., Варамашвили Н.Д., Джамришвили Н.К., Квеселава Н.С. Об оценках физической эффективности противоградской защиты. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 108-115.
28. Бурнадзе А.С., Варамашвили Н.Д., Квеселава Н.С. Основные методы оценки экономической эффективности противоградовых работ. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 116-122.

## კახეთში სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების განახლება

ამირანაშვილი ა., ბურნაძე ა., დვალიშვილი კ., გელოვანი გ., ღლონტი ნ., ძოდუაშვილი უ., კაიშაური მ., კვესელავა ნ., ლომთაძე ჯ., ოსეფაშვილი ა., საური ი., თელია შ., ჩარგაზია ხ., ჩიხლაძე ვ.

### რეზიუმე

მოყვანილია მონაცემები სეტყვასთან ბრძოლის ფიზიკური კონცეფციების და აგრეთვე ზოგიერთ მათგანზე დაფუძნებული სეტყვის ღრუბლებზე ზემოქმედების მეთოდების შესახებ. წარმოდგენილია ინფორმაცია ყოფილ საბჭოთა კავშირში და კერძოდ საქართველოში, სადაც წინა საუკუნის ოთხმოციან წლებამდე 1200 ათას ჰექტარამდე ფართობზე (მათ შორის დაახლოებით 800 ათასი ჰექტარი კახეთში) ტარდებოდა სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოები, სეტყვის საწინააღმდეგო დაცვის ტექნიკის და ტექნოლოგიების შესახებ. მოყვანილია საქართველოში (კახეთში) 25 წლიანი წყვეტის შემდეგ 2015 წელს აღდგენილი სეტყვის საწინააღმდეგო დაცვის თანამედროვე მეთოდოლოგიის შედარება ადრე არსებულთან. აღინიშნება კერძოდ, რომ სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების პროცესების ავტომატიზაციამ მოგვცა საშუალება მკვეთრად შეგვემცირებინა სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის პერსონალი - 800-დან 28 ერთეულამდე.

## RENEWAL WORKS OF ANTI-HAIL SERVICE IN KAKHETI

**Amiranashvili A., Burnadze A., Dvalishvili K., Gelovani G., Ghlonti N., Dzodzuashvili U., Kaishauri M., Kveselava N., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia Sh., Chargazia Kh., Chikhladze V.**

### Abstract

The information about the physical concepts on the cope with the hail, and also methods of action on the hail clouds is given based on the concepts are given. Information about engineering and technology of anti-hail protection in the former Soviet Union, and in particular in Georgia, where the anti-hail works were conducted prior to the end of the 80-s of the past century over the total area of approximately 1200 thousand hectare (including - about 800 thousand hectare in Kakheti) is represented. The comparison of the contemporary methodology of anti-hail protection in Georgia (Kakheti), restored work makes in 2015 after 25 year interruption, with the one which existed in earlier years. In particular, it is noted that the automation of the processes of anti-hail works made it possible to sharply reduce personnel of anti-hail service - from 800 to 28 units.

## **ВОЗОБНОВЛЕНИЕ РАБОТ ПО БОРЬБЕ С ГРАДОМ В КАХЕТИИ**

**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.**

### **Реферат**

Приводятся сведения о физических концепциях по борьбе с градом, а также основанных на некоторых из них методах воздействия на градовые облака. Представлена информация о технике и технологии противогодовой защиты в бывшем Советском Союзе, и в частности в Грузии, где противогодовые работы проводились до конца восьмидесятых годов прошлого столетия на общей площади около 1200 тысяч га (в том числе в Кахетии – около 800 тысяч га). Проведено сравнение современной методологии противогодовой защиты в Грузии (Кахетия), восстановленной после 25-летнего перерыва в 2015 году, с существовавшей ранее. В частности отмечается, что автоматизация процессов противогодовых работ позволила резко сократить персонал противогодовой службы – с 800 до 28 единиц.

## РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТИВОГРАДОВОЙ СЛУЖБЫ В КАХЕТИИ

<sup>1</sup>Абаиадзе О.А., <sup>1</sup>Авлохашвили Х.В., <sup>2</sup>Амиранашвили А.Г., <sup>1</sup>Дзодзуашвили У.В.,  
<sup>2</sup>Кириа Дж.К., <sup>1</sup>Ломтадзе Дж. Д., <sup>1</sup>Осепашвили А.Р., <sup>1</sup>Саури И.П., <sup>1</sup>Телия Ш.О.,  
<sup>1</sup>Хеташвили А.А., <sup>1,2</sup>Цхведиашвили Г.Н., <sup>2</sup>Чихладзе В.А.

<sup>1</sup>Научно-технический центр «Дельта»

<sup>2</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, avtandilamiranashvili@gmail.com

По обширным материалам многолетних аэрологических, радиолокационных и градодождемерных наблюдений ранее была исследована радиолокационная структура конвективных облаков на различных стадиях их развития и разработаны методы распознавания их градоопасности. Выявлены семь аэрологических и радиолокационных параметров, которые находятся в тесной корреляционной связи с градовыми явлениями, определены статистические вероятности выпадения града в зависимости от величины каждого из этих параметров и установлен единый показатель градоопасности, зависящий от комплекса этих параметров (А. И. Карцивадзе, А.Д. Бичиашвили, Т.Г. Салуквадзе, В.А. Лапинская, Р.И. Дореули, А.И. Боровиков, В.В. Костарев и др.) [1-4].

Упомянутый показатель широко использовался в практических работах по активным воздействиям на градовые процессы, как в Грузии, так и в ряде союзных республик, а также в Болгарии и Венгрии. С использованием этих же предикторов позднее был выполнен многомерный регрессионный анализ и получено решающее правило для разделения градовых и неградовых облаков. Диагноз вида конвективных осадков по данным радиолокационных и аэрологических измерений выполнен также с использованием метода обобщенного портрета, что позволило установить весьма надежный критерий разделения градовых и ливневых облаков (А. И. Карцивадзе, М.В. Алания, Э.И. Хелая, Т.Г. Глазкова, Д.К. Кириа и др.) [4-7]. После прекращения работ по борьбе с градом в Грузии [8] работы по анализу обширного материала радиолокационных наблюдений за конвективными облаками были продолжены. В частности, был проведен целый ряд работ по изучению динамики развития кучево-дождевых облаков и ультракраткосрочному прогнозированию радиолокационному прогнозированию их градоопасности. Такое прогнозирование позволяло проводить операции воздействия на градоопасные облака на ранней стадии их развития, а также исключать воздействие на облака неградового развития (Т.Г. Салуквадзе, Э.И. Хелая, Д.К. Кириа, А.Ш. Балавадзе, З.И. Зурашвили и др.) [9-12].

Особое внимание уделялось созданию эмпирических радиолокационных моделей конвективных облаков (Т.Г. Салуквадзе, Э.И. Хелая, Р.И. Киладзе, А.Ш. Балавадзе и др.) [13-16]. В качестве примера на рис. 1 и 2 представлены горизонтальный и вертикальный разрезы радиозахвата одноячейкового, мультячейкового и суперячейкового конвективного облака [13-15]. Радиолокационные наблюдения были проведены с помощью усовершенствованного радиолокатора МРЛ-5, способного представлять информацию в виде контуров изоэха [17]. Радиолокаторы типа МРЛ-2 и МРЛ-5 были размещены на полигонах Противоградовой службы Грузии (всего около 20 радиолокаторов), которые заменили устаревший радиолокатор типа АРС и СОН-4.

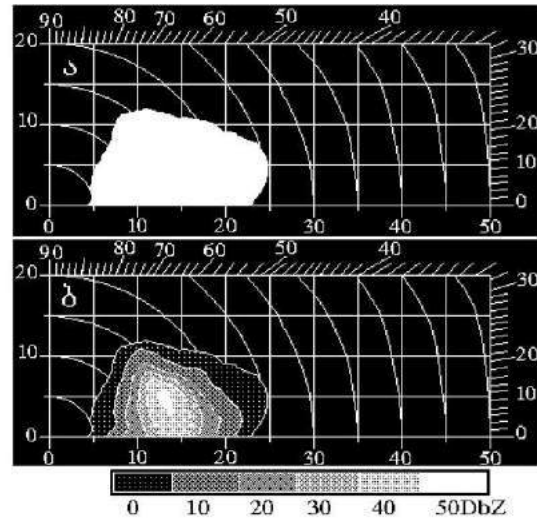
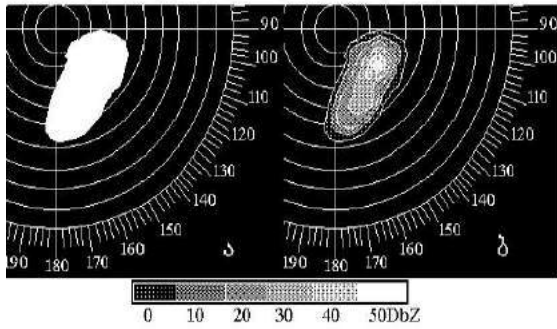
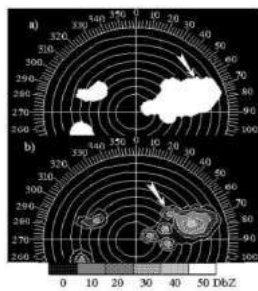
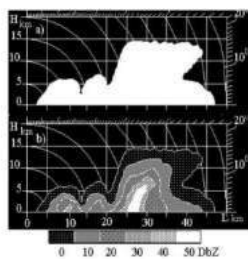


Рис.1

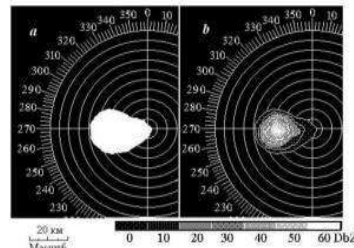
Горизонтальный (слева) и вертикальный (справа) разрез радиоэха одноячейкового конвективного облака.



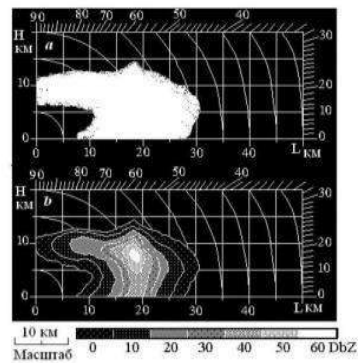
Фотографии индикатора кругового обзора радиолокатора типа МРЛ-5 с аналоговым (а) и дискретным (б) изображениями радиоэха многоячейкового конвективного облака



Фотографии индикатора "Дальность-высота" радиолокатора типа МРЛ-5 с аналоговым (а) и дискретным (б) изображениями радиоэха многоячейкового конвективного облака.



Аналоговое (а) и дискретное (б) изображения радиоэха суперячейкового кучево-дождевого облака на индикаторе кругового обзора радиолокатора МРЛ-5 ( $\lambda=3,2\text{см}$ )



Аналоговое (а) и дискретное (б) изображения радиоэха суперячейкового кучево-дождевого облака на индикаторе "Дальность-высота" радиолокатора МРЛ-5 ( $\lambda=3,2\text{см}$ )

Рис. 2

Горизонтальный и вертикальный разрез радиоэха многоячейкового (слева) и суперячейкового (справа) конвективного облака.

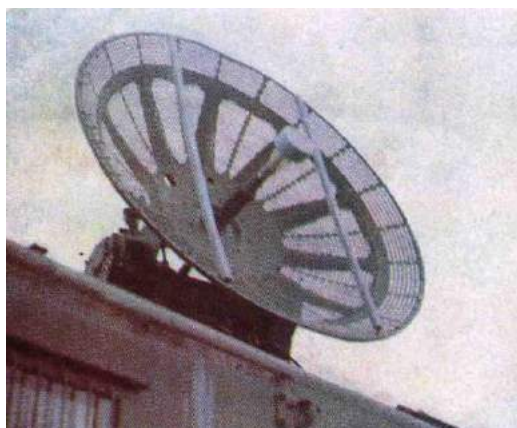


Рис. 3  
Радиолокатор СОН-4.

На рис. 3 представлена фотография радиолокатора СОН-4.

После прекращения работ по активным воздействиям на атмосферные процессы во многих странах мира эти работы были продолжены [8,17], и наряду с созданием новой техники радиолокационных наблюдений за облаками [17,18] и средствами воздействия [17,19,20], было проведено совершенствование методологии диагностики градоопасности облаков, а также стратегии их засева различными реагентами [17,21,22].

В частности, в Кахетии до середины восьмидесятых годов прошлого столетия по значению комплексного радиолокационного показателя градоопасности  $K$  [3], полученному по данным семи радиолокационных и аэрологических параметров, облака условно подразделялись на пять групп: 1) неградовые  $K=0$ ; 2) малоградовые –  $0 < K \leq 15$ ; 3) градоопасные -  $15 < K \leq 55$ ; 4) весьма градоопасные -  $55 < K \leq 99$ ; 5) градоносные -  $K > 99$ .

Облака первой группы воздействию не подвергались. Облака второй группы, в преобладающем большинстве случаев, также воздействию не подвергались, особенно если  $K$  либо уменьшалось, либо оставалось неизменным. Облака третьей группы подвергались воздействию, когда  $K$  росло, либо изменялось незначительно. Облака четвертой группы в преобладающем большинстве случаев подвергались воздействию. Облака пятой группы подвергались воздействию практически во всех случаях.

В последние десятилетия было введено несколько новых критериев, посредством которых конвективные облака подразделяются на категории градоопасности. При этом, количество категорий в различных странах различное [17,21,22].

Так, в бывшем Советском Союзе (в том числе и в Грузии) с начала-середины 80-х годов прошлого столетия, а в настоящее время в ряде стран СНГ и в России используются 4 категории градоопасности облаков [17]. Унифицированная стратегия засева заключается в том, что в зависимости от категории градоопасности используется засев, кратный номеру категории (однократный засев облаков первой категории и т.д.) в соответствие со специальной рекомендуемой формулой для дозировки льдообразующего реагента, учитывающей тип противоголового изделия, площадь засева и др. [17].

Следует отметить, что по мере накопления новой информации диагностика градоопасности облаков, выбор места засева и др. постоянно совершенствуются [17]. В качестве примера в табл. 1-3 приведены значения критериев градоопасности, используемых в России, в соответствие с руководящими документами по противоголововым работам РД 52.37.596\_1998 и РД 52.37.731\_2010. Как следует из этих табл. 1 и 2, в РД 52.37.731\_2010 уточнились критерии градоопасности для объектов воздействия (ОВ) 1-ой и 2-ой категорий.

Табл. 1

Критерии градоопасности облаков в соответствии с РД 52.37.596-98.

Категория ОБ	Критерии градоопасности	
	I	$1 < \Delta H_{Z_m} < 4$ км
II	$\Delta H_{35} > 2.5$ км	$35 < Z_m < 55$ dBZ
III	$\Delta H_{45} > 3$ км	$Z_m > 55$ dBZ
IV	$\Delta H_{45} > 4$ км	$Z_m > 65$ dBZ

Табл. 2

Критерии градоопасности облаков в соответствии с РД 52.37.731\_2010.

Категория ОБ	Критерии градоопасности	
	I	$0 < \Delta H_{Z_m} < 5$ км
II	$\Delta H_{35} > 3$ км	$Z_m \geq 45$ dBZ
III	$\Delta H_{45} \geq 3$ км	$Z_m \geq 55$ dBZ
IV	$\Delta H_{45} > 4$ км	$Z_m > 65$ dBZ

$\Delta H_{Z_m}$ , км – высота максимума радиоэха над уровнем изотермы  $0^\circ\text{C}$   $H_0$ ;

$Z_m$  максимальная отражаемость объекта воздействия на длине волны  $\lambda = 10$  см;

$\Delta H_{35}$  и  $\Delta H_{45}$ , км – превышение над уровнем  $H_0$  высот верхней границы объемов радиоэха с  $Z_{10} = 35$  и  $45$  dBZ, соответственно.

Следует также отметить, что авторы РД 52.37.731\_2010 и [17], учитывая большие сложности в борьбе с градобитиями, не настаивают на какой-либо определенной методике диагностики градоопасности облаков. Для примера, в табл. 3 приведены рекомендуемые для противорадовых служб критерии градоопасности облаков, отличающиеся от табл. 2.

Табл. 3

Критерии градоопасности облаков в соответствии с приложением Е.1 РД 52.37.731\_2010 (РД 52.37.731\_2010).

Категория ОБ	Критерии градоопасности		Степень градоопасности в зависимости от высоты повышенного радиоэха $H_{30}$	
			$< 1.5 H_0$	$\geq 2 H_0$
I	$H_{30} > 2H_0$	$25 < Z_m < 45$ dBZ	0.1 – 0.2	0.3 – 0.4
II		$Z_m \geq 45$ dBZ	0.3 – 0.4	0.6 – 0.8
III	$H_{45} > 2H_0$	$Z_m \geq 55$ dBZ	0.9 – 1.0	
IV		$Z_m > 65$ dBZ		
$H_{30}$ и $H_{45}$ – высоты над уровнем моря верхней границы радиоэха $Z_{10} = 30$ и $45$ dBZ.				

В Болгарии используется методология диагностики градоопасности облаков с подразделением их на 5 категорий [21] (напомним, что формально 5 категорий диагностики облаков использовались в Кахетии до середины 80-х годов прошлого столетия [3]). Подробно Болгарская методология определения категорий градоопасности и стратегия засева облаков представлена в табл. 4.

Табл. 4

Категории градоопасности, используемые в Болгарии

	Zmax, dBz	$\Delta H$ , dBz	Развитие ячейки	Засев
I	$45 \leq Z \leq 50$	$\Delta H_{45} \geq 1.5 \text{ км}$	Слабый рост, с Zmax 15-25dBZ, Медленно достигает Zmax 35-40dBZ, $H_{15dBz} \geq H_{10^\circ C}$ . Слабый градиент радиолокационной отражаемости. Zmax 45dBz появляется на высоте $\leq H_{10^\circ C}$ и медленно растет по высоте	Продолжение наблюдений.  Если $\Delta H_{45dBz}$ рост превышает 2 км, ячейка засеивается.
II	$40 \leq Z < 45$	$\Delta H_{40} \geq 3 \text{ км}$	Быстрый рост с Zmax 15-25dBZ. Zmax достигает 35-40 dBZ за 1-2 мин. Сильный градиент радиолокационной отражаемости и рост ячейки по всем направлениям. $H_{15dBz} \geq H_{20^\circ C}$	Ячейка засеивается с целью раннего осадкообразования
III	$45 \leq Z < 50$	$\Delta H_{45} \geq 2.5 \text{ км}$	Интенсивное формирование области с 45dBz $H_{45dBz} \geq H_{10^\circ C}$	Ячейка засеивается при появлении 45dBz
IV	$50 \leq Z < 55$	$\Delta H_{45} \geq 3.0 \text{ км}$	Градовая ячейка	Незамедлительный засев
V	$Z \geq 55$	$\Delta H_{45} \geq 4.0 \text{ км}$	Градовая ячейка	Незамедлительный засев
Стратегия засева				
С момента диспергирования реагента до роста частиц до конкурирующих размеров требуется время около 3 минут. При этом уровень внесения реагента выбирается так, чтобы горизонтальное сечение области диффузии облака достигало уровня $-10^\circ C$ в момент, когда частицы реагента достигают конкурирующих размеров.				

Наконец, в табл. 4 представлена информация о критериях идентификации градоопасных и неградоопасных облаков на западе Китая [22]. Как следует из этой таблицы, авторы [22] подразделяют конвективные облака всего на три категории: грозовые облака, облака с градом слабой интенсивности и облака с интенсивным градом.

Табл. 5

Критерии идентификации градоопасных и неградоопасных облаков на западе Китая

Тип облака	$H_{45dBZ}$ (км)	$T_{45dBZ}$ ( $^\circ C$ )
Интенсивный град	$\geq 8.0$	$\leq -20$
Слабый град	7.0–8.0	14 to $-20$
Грозовое облако	$< 7.0$	$> -14$

$H_{45dBZ}$ , уровень верхней границы радиолокационной отражаемости  $> 45 \text{ dBZ}$ ;  
 $T_{45dBZ}$ , температура воздуха на этом уровне

В Грузии весной 2015 года в соответствии с программой восстановления противоградových работ [23,24], впервые за все годы радиолокационных наблюдений за облаками, в селе Чотори Сигнахского муниципалитета введен в эксплуатацию современный метеорологический радиолокатор С-диапазона Meteor 735CDP10 фирмы Selex ES (Германия) [18,25,26] (рис. 2-4).





Рис. 2  
Сборка защитного купола радиолокатора Meteor 735CDP10.



Рис. 3  
Монтаж радиолокатора Meteor 735CDP10.



Рис. 4  
Метеорологический радиолокатор С-диапазона Meteor 735CDP10 в с. Чотори (слева направо, Н.Джавахишвили, А.Амиранашвили, Х.Чаргазия, В.Банеташвили, М.Митин).

Радиолокатор позволяет идентифицировать градоопасные и градовые облака, определяет интенсивность осадков и др. и с конца мая 2015 года вместе со средствами воздействия [27,28] используется для работ по борьбе с градом в Кахетии. Подробно продукты локатора описаны в [26]. Ниже представлены лишь примеры диапазонов действия радиолокатора по расстоянию.

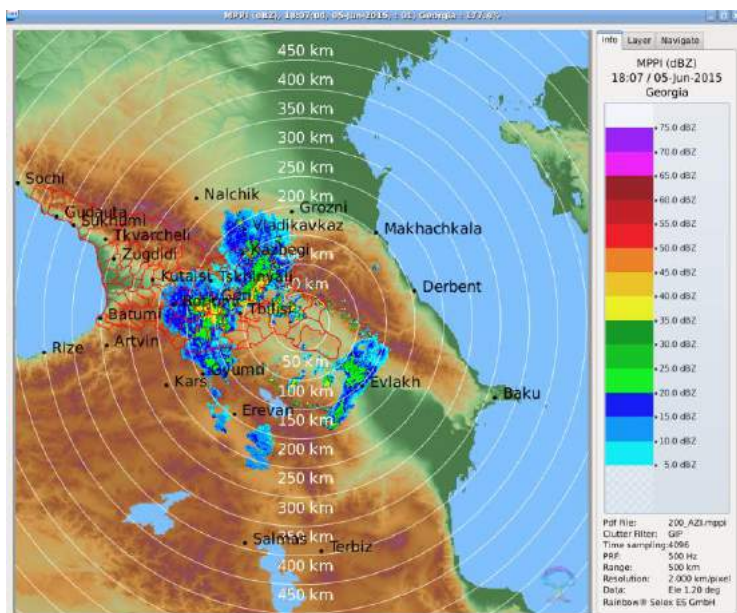


Рис. 5

Пример обзорных радиолокационных наблюдений за облачностью в радиусе до 400 км 17 июля 2015 г.

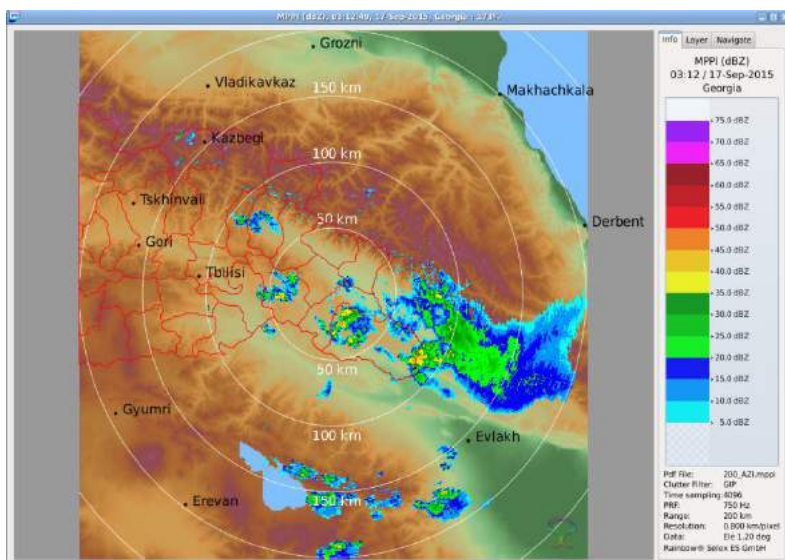


Рис. 6

Пример радиолокационных наблюдений за облачностью в радиусе до 200 км 17 сентября 2015 г.

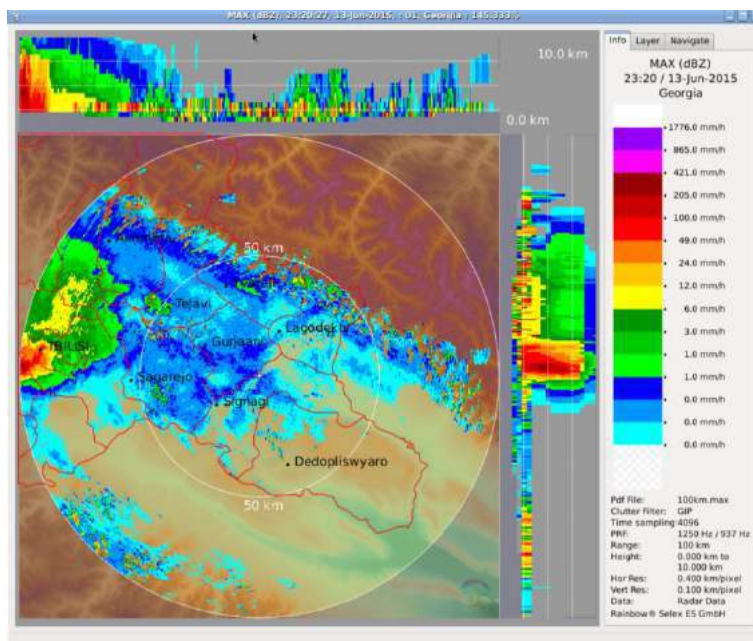


Рис. 7

Пример радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков в радиусе до 100 км 13 июня 2015 г. во время известного катастрофического наводнения в Тбилиси.

На рис. 5-7 представлены примеры радиолокационных наблюдений за облачностью для трех диапазонов расстояний от места его установки. В диапазоне расстояний до 400 км можно вести обзорные наблюдения за облачностью (рис. 5). Эти наблюдения – качественные. В диапазоне расстояний до 200 км можно количественно определить различные радиолокационные характеристики облаков (рис. 6) [26]. Рабочий диапазон радиолокационных наблюдений за облаками – до 100 км (рис. 7). В этом диапазоне можно определить подробную радиолокационную структуру облаков, как в 2D, так и 3D форматах, оценить их градоопасность и принять решение о проведении активных воздействий. Отметим, что в режиме работы до 400 км и 200 км наблюдения можно проводить за метеорологическими процессами далеко за пределами территории Грузии (рис. 5 и 6).

## Литература

1. Бичиашвили А.Д., Дореули Р.И., Лапинкас В.А., Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г. Некоторые характеристики радиолокационных отражений от ливневых осадков и града. Труды Всесоюзного Научного Сопевания по активным воздействиям на градовые процессы, Издательство АН ГССР, "Мецниереба", Тбилиси, 1964, с. 193-209.
2. Боровиков А.М., Дореули Р.И., Карцивадзе А.И., Костарев В.В., Лапинкас В.А., Салуквадзе Т.Г. Радиолокационные характеристики градовых облаков. "Физика облаков". Сборник трудов Института геофизики АН ГССР. Тбилиси, Издательство АН ГССР, 1967, с. 176-189.
3. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Лапинкас В.А. Некоторые вопросы методики воздействия на градовые процессы с использованием противоградовой системы «Алазани». Тр. Института геофизики АН ГССР, т. 36, Тбилиси, Мецниереба, 1975, с. 13-27.
4. Институт геофизики – 50 (под редакцией Б.К.Балавадзе). Тбилиси, «Мецниереба», 1983, с. 94-116.
5. Алания М., Карцивадзе А., Хелая Э. Применение метода многомерной корреляции для распознавания градовых и ливневых облаков. Сообщ. АН ГССР. Тбилиси, «Мецниереба», т. 84, №2, 1976, с. 357-360.

6. Карцивадзе А., Хелая Э, Кирия Дж. К вопросу оптимального подбора предикторов в задаче радиолокационного диагноза вида конвективных осадков. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР. Тбилиси, «Мецниереба», 1977, т. 40, с. 55-61.
7. Карцивадзе А., Глазкова Т., Хелая Э. Опознавание градовых облаков по методу обобщенного портрета. Тр. Инст-та геофизики АН ГССР. Тбилиси, «Мецниереба», 1980, 47, с. 58-67.
8. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. – О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
9. Карцивадзе А.И., Балавадзе А.Ш., Зурашвили З.И., Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И. - Динамика развития кучево-дождевых облаков и прогнозирование их градоопасности. В кн. "Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий" Труды Всесоюзного семинара в Москве. М., Гидрометиздат, 1991, с. 267-273.
10. Балавадзе А.Ш., Зурашвили З.И., Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И. Прогнозирование градоопасности конвективных облаков. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы. Труды Всесоюзной конференции, Нальчик, книга II. Санкт-петербург, Гидрометеоздат, 1995. 130-135.
11. Balavadze A., Zurashvili Z., Salukvadze T., Khelaya E. - On the Possibility of Operational Forecasting of Hail Dangerousity of Convective Clouds. J. of Georgian Geophysical Society Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Cosmic Rays. Vol. 1, Tbilisi. 1996, pp. 59-64.
12. Kiria J., Khelaia E. - Reliability Estimation of Radiolocational Recognition Algorithms of CloudBurst and Hail Clouds. J. of Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Cosmic Rays. Vol. 2B, Tbilisi, 1997, p. 23-28.
13. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Киладзе Р.И. - Радиолокационные характеристики одноячейкового конвективного облака Кахетинского региона Грузии. Труды Института геофизики им. М. Нодиа, Тбилиси 2008, т. LX, с. 237 – 241.
14. Salukvadze T., Khelaia E., Balavadze A. - The Empirical Radar Model of Multicell Convection Clouds, J. of Georgian Geophysical Society. Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 11B, Tbilisi, 2006, pp. 22-27.
15. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Балавадзе А.Ш., Киладзе Р.И. Эмпирическая радиолокационная модель суперячейкового конвективного облака. Сборник трудов, посвященный 75-летию со дня основания Института геофизики, Тбилиси 2008. т. LX, с.242-246.
16. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с. 77-100.
17. Абшаев А.М., Абшаев М.Т, Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
18. 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.
19. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. – Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
20. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2014, с. 113-120.
21. ცინცაძე თ., ბერიტაშვილი ბ., კაპანაძე ნ., სალუქვაძე მ. საქართველოში სეტყვასთან და ზვავებთან ბრლის სამუშაოთა განახლების საკითხისათვის. საქართველოს ტექნიკური

- უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, ISBN 978-9941-0-6156-1, თბილისი, 2013, 78 გვ.
22. Guo Xueliang, Fu Danhong, Li Xingyu, Hu Zhaoxia, Lei Henchi, Xiao Hui, Hong Yanchao. Advances in cloud physics and weather modification in China. Advances in atmospheric sciences, vol. 32, February 2015, pp. 230–249.
  23. ამირანაშვილი ა., გლონტი ნ., დოდზუაშვილი უ., ლომთაძე დ., ჩიხლაძე ვ. ო ვოზობნოვლენი პროტივოგრადოვოვ რაბოთ ვ გრუზიი. მეჯუდნაროდნა კონფერენცია “აქტუალნე პრობლემე გეოფიზიკი”. მატერიალე ნაუჩნოი კონფერენცია, პოსვიაჩენოი 80 – ლეთიუ სო დნა ოსნოვანი ინსტიტუტა გეოფიზიკი. ტბილესი, 2014, ს. 208-212.
  24. ამირანაშვილი ა.გ., გლონტი ნ.ა., დოდზუაშვილი უ.ვ., ლომთაძე დ.დ., ჩიხლაძე ვ.ა. ო ვოსტანოვლენი სლუჯბე ბორბე ს გრადოვ ვ კახეტინსკო რეგიონე გრუზიი. დოკლადე ვსეროსიისკოი ოტკრუთოი კონფერენცია პო ფიზიკე ობლაკოვ ი აქტივნოი ვოვდეიწვიამ ნა გიდრომეტეოროლოგიესკე პროცესე, პოსვიაჩენოი 80-ლეთიუ ელბრუსკოი ვისოკოგორნოი კომპლესნოი ექსპედიცია ან სსსრ, 7-9 ოქტაბრე 2014 გ., ჩაწე 2, ფგბუ «ვისოკოგორნოი გეოფიზიკესკი ინსტიტუტ», ნალჩიკ, 2015, ს. 132-139.
  25. 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, 2015, pp. 92-106.
  26. ავლოხაშვილი ხ.ვ., ბანეტაშვილი ვ.გ., გელოვანი გ.ტ., ჯავახიშვილი ნ.რ., კაიშაური მ.ნ., მითინ მ.ნ., სამხარაძე ი.ნ., ცხვდიაშვილი გ.ნ., ჩარგაზია ხ.ზ., ხურციძე გ.ტ. პროდუქტე მეთეოროლოგიესკო რადიოლოკატორა «METEOR 735CDP10». ტრ. ინ-ტა გეოფიზიკი იმ. მ.ზ. ნოდია, ტ. 66, ISSN 1512-1135, ტბილესი, 2016, ს. 60-65.
  27. ამირანაშვილი ა.გ., ბარეკჩან ი.ი., დვალიშვილი კ.ს., დოდზუაშვილი უ.ვ., ლომთაძე დ. დ., ოსეპაშვილი ა.რ., საური ი.პ., ტატიშვილი გ.ზ., ტელია შ.ო., ჩიხლაძე ვ.ა. ხარაქტერიესტიკე ნაზემნოი სრედსტვ ვოვდეიწვიამ ნა გრადოვოვ პროცესე ვ კახეთი. ტრ. ინ-ტა გეოფიზიკი იმ. მ.ზ. ნოდია, ტ. 66, ISSN 1512-1135, ტბილესი, 2016, ს. 39-52.
  28. აბაიძე ო.ა., არვლადე ლ.ვ., ბერაკჩან ი.ი., დზაგანაშვილი დ.რ., კირია დ.კ., მანაგაძე ი.ბ., რამაიშვილი რ. ნ., ტატიშვილი გ.ზ., უნდილავილი გ.დ., ჩხაიძე ბ.დ. დისტანციონნა სისტემა უპრავლენი აქტივნოი ვოვდეიწვიამ ნა გრადოვოვ პროცესე ვ კახეთი. ტრ. ინ-ტა გეოფიზიკი იმ. მ.ზ. ნოდია, ტ. 66, ISSN 1512-1135, ტბილესი, 2016, ს. 53-59.

**კახეთში სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის რადიოლოკაციური უზრუნველყოფა**

**აბაიაძე ო., ავლოხაშვილი ხ., ამირანაშვილი ა., მოძუაშვილი უ., ქირია დ.,  
ლომთაძე დ., ოსეფაშვილი ა., საური ი., თელია შ., ხეთაშვილი ა.,  
ცხვედიაშვილი გ., ჩიხლაძე ვ.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია საქართველოში წინა საუკუნის სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის მუშაობის წლებში კონვექტიური ღრუბლების სეტყვასაშიშროების რადიოლოკაციური ინდიკაციის შესახებ სამუშაოების მოკლე მიმოხილვა. მოყვანილია აგრეთვე ამ მეთოდოლოგიის სხვადასხვა ქვეყნებში სეტყვასაშიშროების იდენტიფიკაციის თანამედროვე საშუალებებთან შედარება. მოყვანილია მოკლე ინფორმაცია სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფის მიზნით კახეთის რეგიონის სიღნაღის მუნიციპალიტეტის სოფელ ჭოტორთან დადგმული C-დიაპაზონის Meteor 735CDP10 ტიპის თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის შესახებ.

## **RADAR PROVIDING OF ANTI-HAIL SERVICE IN KAKHETI**

**Abaiadze O., Avlokhashvili Kh., Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Kiria J., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia Sh., Khetashvili A., Tskhvediasvili G., Chikhladze V.**

The work includes the brief survey of works on the radar display of the danger of hail of convective clouds in the years of the anti-hail service functions in Georgia in the past century, and also the comparison of the methodology of this indication with the contemporary methods of the identification of hail-dangerous clouds in the different countries is carried out. The brief information about the contemporary meteorological radar of C-range Meteor 735CDP10, established in the village Chotori of Signagi municipality of Kakheti region for radar operational provisions on the cope with hail is represented.

### **Abstract**

## **РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОТИВОГРАДОВОЙ СЛУЖБЫ В КАХЕТИИ**

**Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кириа Дж.К., Ломтадзе Дж. Д., Оsepашвили А.Р., Саури И.П., Телия Ш.О., Хеташвили А.А., Цхведиашвили Г.Н., Чихладзе В.А.**

### **Реферат**

Приводится краткий обзор работ по радиолокационной индикации градоопасности конвективных облаков в годы работы Противогорадовой службы в Грузии в прошлом столетии, а также проведено сравнение методологии этой индикации с современными способами идентификации градоопасных облаков в разных странах. Представлена краткая информация о современном метеорологическом радиолокаторе С-диапазона Meteor 735CDP10, установленного в селе Чотори Сигнагского муниципалитета Кахетинского региона для радиолокационного обеспечения работ по борьбе с градом.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ

<sup>1</sup>Амиранашвили А.Г., <sup>2</sup>Барекчян И.Ю., <sup>2</sup>Двалишвили К.С., <sup>2</sup>Дзодзуашвили У.В.,  
<sup>2</sup>Ломтадзе Дж. Д., <sup>2</sup>Осепашвили А.Р., <sup>2</sup>Саури И.П., <sup>2</sup>Татишвили Г.З.,  
<sup>2</sup>Телия Ш.О., <sup>1</sup>Чихладзе В.А.

<sup>1</sup> Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [avtandilamiranashvili@gmail.com](mailto:avtandilamiranashvili@gmail.com)  
<sup>2</sup>Научно-технический центр «Дельта»

В 1957 году по инициативе и при участии Института геофизики АН ГССР специальными конструкторскими организациями была начата разработка противоградовой ракеты ПГИ, а в августе – сентябре 1958 г. на вершине Циви-Тура Гомборского хребта уже были проведены испытания опытной партии этих ракет (А. И. Карцивадзе, А. В. Бухникашвили, А. М. Окуджава, А. Г. Бичиашвили и др.) [1,2]. По своим тактико-техническим показателям противоградовые турбореактивные снаряды ПГИ в то время были значительно лучше всех существующих технических средств введения реагента в облака. Противоградовая ракета ПГИ нашла широкое применение в практических работах по борьбе с градом в Грузии, Молдавии, в Крыму и других союзных республиках, а также в Болгарии [1].



Рис. 1

Стрелок В.Дзамукашвили у пусковой установки ТКБ-040 на Руиспирском пункте воздействия (слева) и при подготовке зарядки этой установки ракетами “Алазани” (справа).

В 1969–1970 гг. была создана новая противогодовая система «Алазани», которая состояла из оперенных реактивных снарядов двух типов («Алазани-1М» с однорежимным двигателем, для обработки облаков в радиусе до 4 км и «Алазани-2М» с двухрежимным двигателем, для обработки облаков в интервале от 3-4 до 8-9 км) и двенадцатиканальной установки ТКБ-040 с веерообразно расположенными направляющими в секторе 40 градусов (Г. Г. Годораж, А. И. Карцивадзе, П. А. Несмеянов, Е. С. Саможенков, А. И. Сидоров, Н. Д. Силин, В. В. Антонова и др.) [1,3-5]. На рис. 1 приведены фотографии установки ТКБ-040 на пункте воздействия в с. Руиспири Телавского района, а также момента подготовки зарядки этой установки ракетами «Алазани». На труднодоступные пункты воздействия ракеты доставлялись с помощью вертолета (рис.2).



Рис. 2

Доставка противогодовых ракет на труднодоступные пункты воздействия с помощью вертолета.

Эта система была широко внедрена в практические работы по борьбе с градом как в бывшем СССР, так и в Болгарии. По своим тактико-техническим показателям в те времена она являлась наилучшей по сравнению с существующими в мире техническими средствами аналогичного назначения [1,6]. Одной из отличительных особенностей этих ракет было то, что их головные части снаряжались специальными пиротехническими пашками, представляющими собой портативные генераторы аэрозоля кристаллизующего реагента (йодистого серебра, йодистого свинца и др.), обладающих достаточно высокой льдообразующей активностью и выделявшихся по трассе полета ракеты в градоопасном облаке [6,7]. В 1972-1989 гг. в Кахетии при противогодовых работах в среднем в год использовалось около 23000 ракет «Алазани-1/2М» (1972-1984 гг. реагент, содержащий  $PbI_2$ , 1985-1989 гг. – реагент, содержащий  $AgI$ ) [8].

После прекращения в 1990 г. в Грузии работ по активным воздействиям на атмосферные процессы во многих странах мира эти работы были продолжены [9,10]. Была создана новая техника радиолокационных наблюдений за облаками [10,11] и средствами воздействия [6,10]. Было проведено совершенствование методологии диагностики градоопасности облаков, а также стратегии их засева различными реагентами [10].

После принятия в 2014 г. решения о восстановлении Противогодовой службы в Грузии, и в первую очередь в Кахетии, был проведен целый ряд подготовительных работ по осуществлению этого мероприятия [12,13]. Что касается средств воздействия, с учетом экономических и технических причин, а также возможностей дальнейшей модернизации и перспективы организации их производства на месте, для начала было решено приобрести



противоградовые изделия типа SK-6 производства Македонии [14]. Одновременно рассматривался вопрос создания на месте автоматизированных пусковых установок для противоградовых ракет. Было разработано несколько вариантов этих установок, важной особенностью которых является возможность замены количества стволов и их калибра в зависимости от типа применяемых ракет [12,13].

В начале 2015 г. была создана 26-ствольная автоматическая пусковая установка СД-26 производства научно-технического центра “Дельта” и было налажено их производство. Электропитание установки автономное и осуществляется с помощью аккумулятора, подзаряжаемого солнечной батареей (рис. 3,4). В краткий срок были построены более 80 площадок (пунктов воздействия) для этих установок (рис. 5).



Рис. 3

А. Амиранашвили в сборочном цехе пусковых установок СД-26 для противоградовых ракет.



Рис. 4

И. Саури (справа) и В. Чихладзе у солнечной панели пусковых установок СД-26 для противоградовых ракет.



Рис. 5

Строительство одной из площадок для пусковых установок СД-26 в Кахетии.



Рис. 6

Современная стационарная автоматическая пусковая установка СД-26 с дистанционным управлением для противораковых ракет СК-6 производства научно-технического центра “Дельта”.

Управление установкой (рис. 6) осуществляется дистанционно посредством специальной компьютерной программы. С помощью этой программы можно сообщать пусковой установке желаемый азимут и угол возвышения, после чего осуществляется открытие защитной крышки установки и запуск желаемого количества ракет в заданном направлении. Точность перемещения стволов установки СД-26 по вертикали и азимуту около 1 градуса. После пуска ракет защитная крышка закрывается. Указанная установка намного эффективнее, оперативнее и безопаснее, чем зарубежные аналоги, не говоря о применяемой ранее пусковой установке ТКБ-040, также грузинского производства (рис. 1).



Рис. 7

Временный вариант современной мобильной автоматической пусковой установки с дистанционным управлением для противораковых ракет SK-6 производства научно-технического центра “Дельта”.

Имеются и две мобильные пусковые установки, смонтированные на бронетранспортерах «Дидгори» (рис. 7), которые решено использовать временно, до приобретения соответствующих автомобилей высокой проходимости и достаточной грузоподъемности для проведения воздействия с недоступных для обычного транспорта мест. Планируется применение и других транспортных средств для мобильного варианта этих установок.

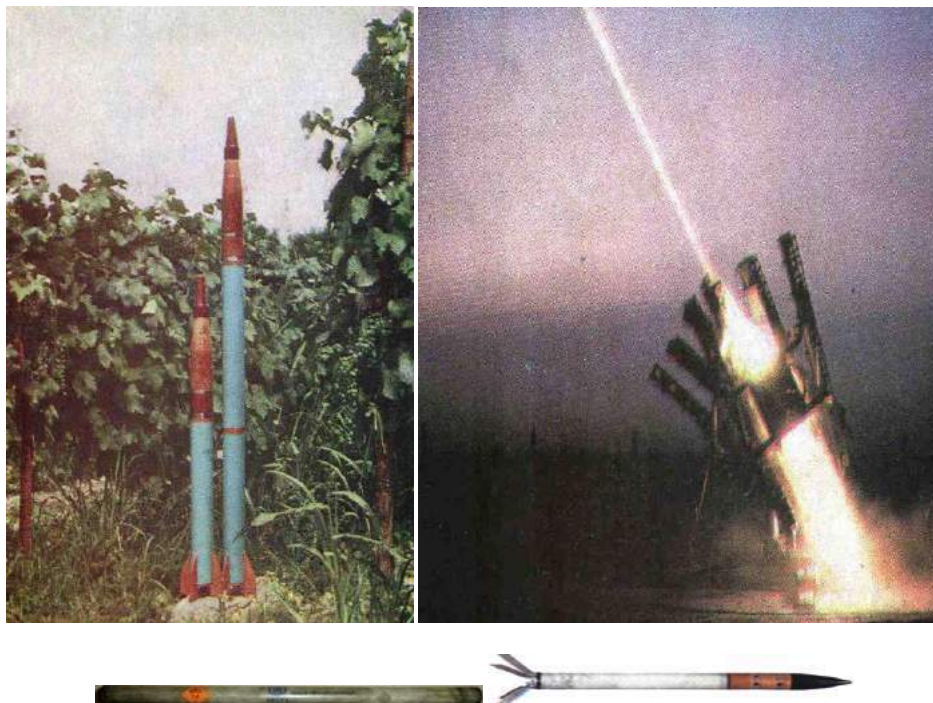


Рис. 8

Противораковые ракеты “Алазани-М” и “Алазани-2М” (слева), пуск ракеты “Алазани” (справа), ракета SK-6 (снизу слева в контейнере, справа – без контейнера).

На рис. 8 представлены фотографии ранее используемых в Кахетии противорадовых ракет “Алазани-М” и “Алазани-2М”, момент их пуска, а также современной ракеты SK-6, применяемой в противорадовых работах в настоящее время. Баллистические характеристики (высота и дальность полета) ракеты SK-6 лучше, чем изделия “Алазани-М”, но уступают ракете “Алазани-2М” (рис. 9). По выходу реагента ракета SK-6 относится к третьему поколению изделий подобного типа и примерно в 4 раза превосходит ракеты “Алазани-1/2М” [14].

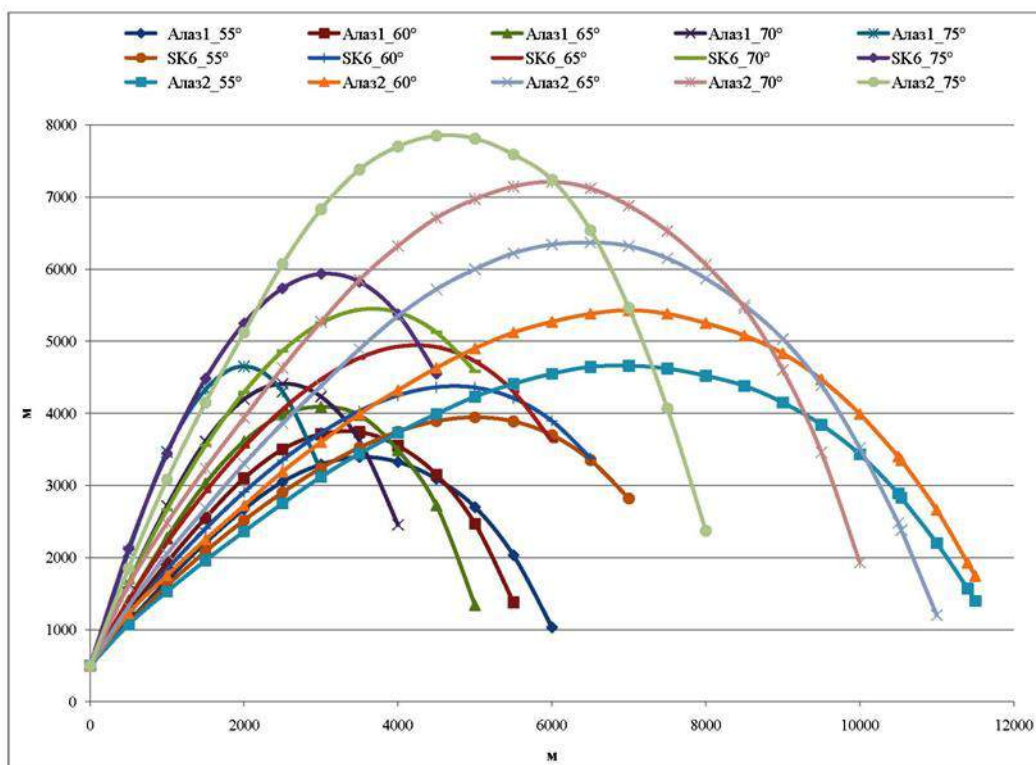


Рис. 9

Сравнительные характеристики траекторий полета противорадовых ракет “Алазани-М”, “Алазани-2М” и SK-6 при запуске с высоты 500 м над ур. моря.

Предполагается организация производства противорадовых ракет в Грузии силами научно-технического центра «Дельта» (для начала - на базе комплектующих SK-6, а впоследствии - и других изделий подобного рода). При этом предусмотрены вопросы дальнейшей модернизации противорадовых изделий как в аспекте улучшения их баллистических характеристик (высота, дальность полета, пологость траектории и др.), так и повышения их безопасности.

На рис. 10-12 для наглядности представлены карты оптимальных площадей засева кристаллизующим реагентом AgI объектов воздействия (градоопасные и градовые облака) на защищаемой территории в Кахетии при высотах изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 3.0, 4.0$  и  $6.0$  км на уровне моря для более 80 пунктов воздействия противорадовыми ракетами SK-6. Пункты воздействия размещены на высотах от 205 до 1775 м над уровнем моря. При этом в диапазоне высот от 205 до 375 м расположено 20 пусковых установок, от 376 до 625 м – 37 установок, от 626 до 875 м – 19 установок, от 876 до 1125 м – 3 установки и от 1275 до 1775 м также 3 установки [14].

Соответственно, при расчете оптимальных площадей засева кристаллизующим реагентом объектов воздействия (ОВ) учитывалась высота расположения каждого пункта воздействия, которая, вместе с высотой уровня изотермы  $\text{H}(-6^{\circ}\text{C})$ , обуславливала выбор

оптимального вертикального угла запуска ракеты для наиболее рационального использования рабочей (выделение реагента) траектории полета ракеты в области отрицательных температур, наиболее благоприятных для действия реагента [10].

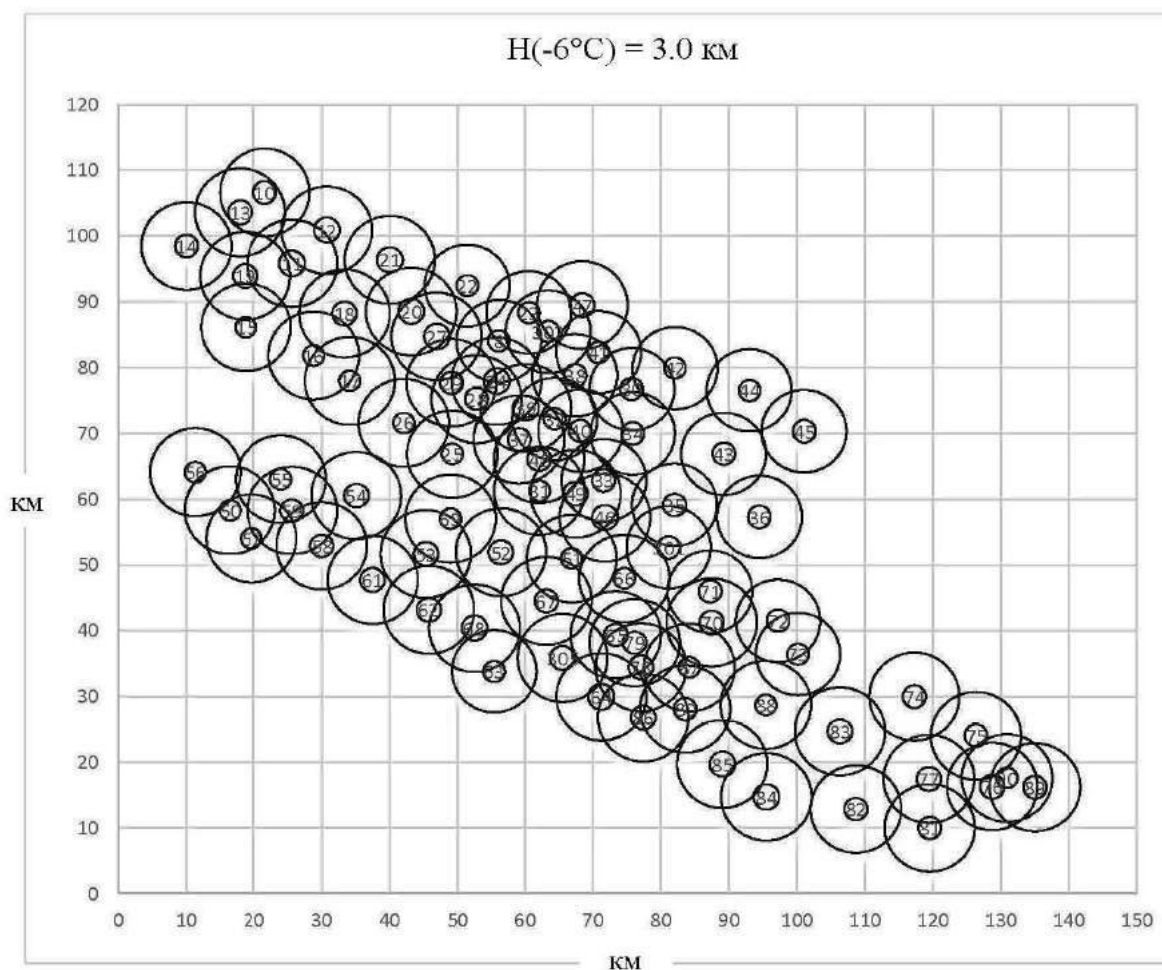


Рис. 10

Оптимальные площади засева кристаллизующим реагентом ОВ для пунктов воздействия противорадовыми ракетами SK-6 на защищаемой территории в Кахетии при высоте изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 3.0$  км. В центре окружности – номер пункта воздействия.

Табл. 1

Статистические характеристики оптимальных горизонтальных проекций трасс засева кристаллизующего реагента противорадовой ракеты SK-6 на защищаемой территории в Кахетии для высоты изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 3.0$  км.

Параметры	Начало проекции траектории трассы, км	Конец проекции траектории трассы, км	Длина проекции траектории трассы, км
Минимум	1.7	6.3	4.5
Максимум	2.0	6.7	5.0
Среднее	1.8	6.6	4.8
Станд. откл.	0.1	0.2	0.2
Кoeff. вар., %	6.2	2.7	3.7

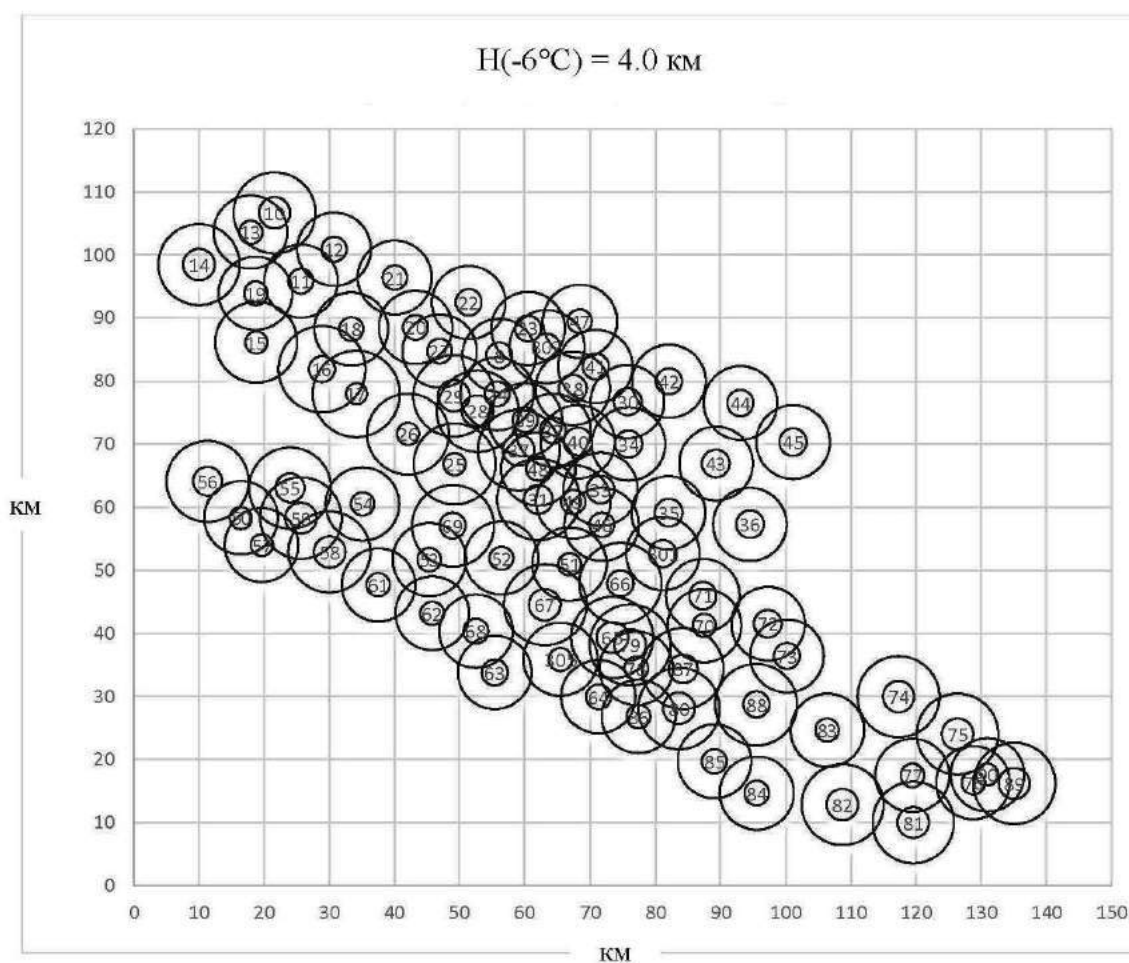


Рис. 11

Оптимальные площади засева кристаллизующим реагентом ОВ для пунктов воздействия противорадовыми ракетами SK-6 на защищаемой территории в Кахетии при высоте изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 4.0$  км.

Табл. 2

Статистические характеристики оптимальных горизонтальных проекций трасс засева кристаллизующего реагента противорадовой ракеты SK-6 на защищаемой территории в Кахетии для высоты изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 4.0$  км. В центре окружности – номер пункта воздействия.

Параметры	Начало проекции траектории трассы, км	Конец проекции траектории трассы, км	Длина проекции траектории трассы, км
Минимум	1.7	5.7	3.5
Максимум	2.5	6.7	5.0
Среднее	2.1	5.9	3.8
Станд. откл.	0.2	0.3	0.3
Кoeff. вар., %	11.0	5.1	7.0

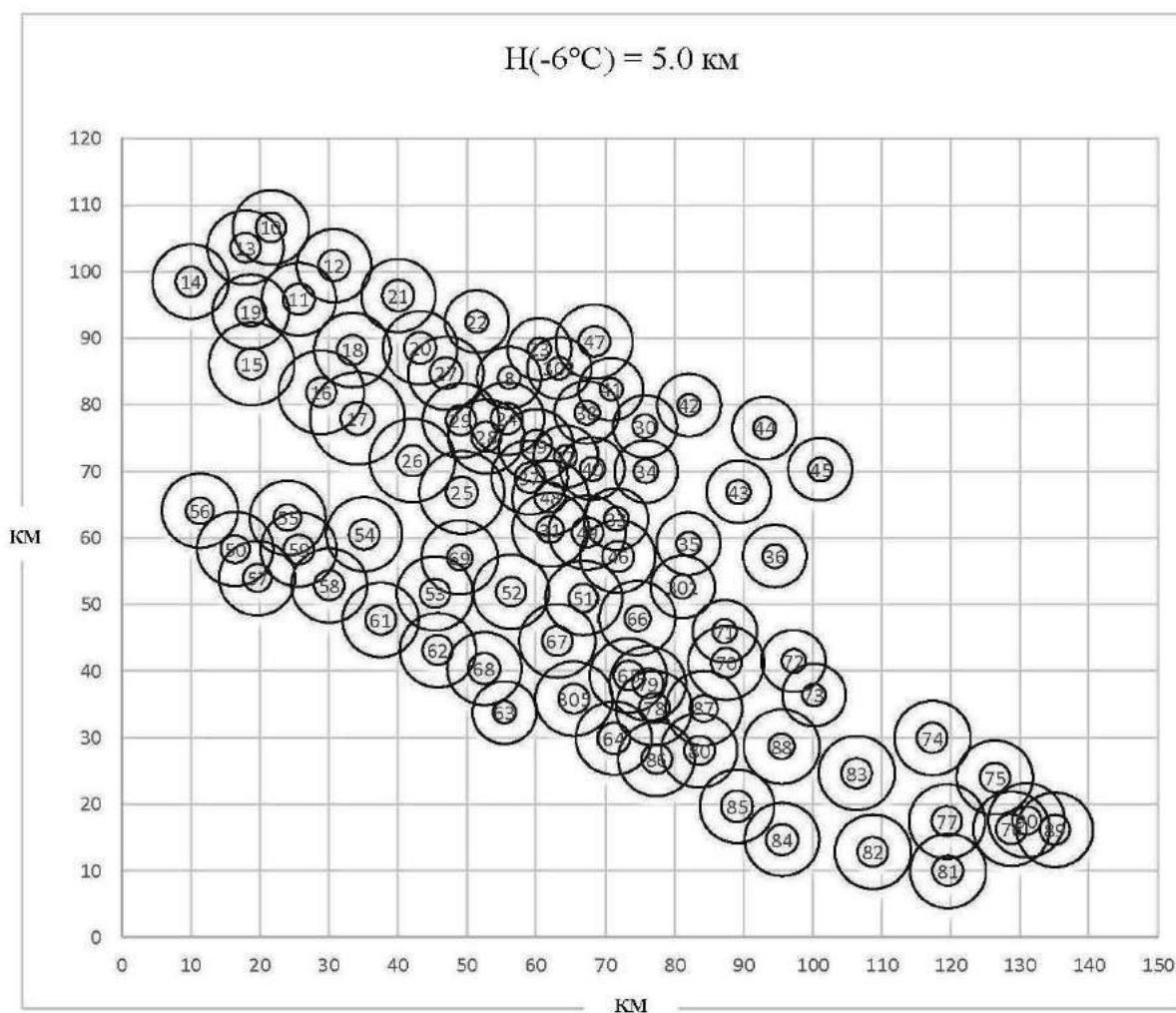


Рис. 12

Оптимальные площади засева кристаллизующим реагентом ОВ для пунктов воздействия противорадовыми ракетами SK-6 на защищаемой территории в Кахетии при высоте изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 5.0 \text{ км}$ . В центре окружности – номер пункта воздействия.

Табл. 3

Статистические характеристики оптимальных горизонтальных проекций трасс засева кристаллизующего реагента противорадовой ракеты SK-6 на защищаемой территории в Кахетии для высоты изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 5.0 \text{ км}$ .

Параметры	Начало проекции траектории трассы, км	Конец проекции траектории трассы, км	Длина проекции траектории трассы, км
Минимум	1.6	4.3	2.6
Максимум	2.3	6.3	4.0
Среднее	2.0	4.9	2.9
Станд. откл.	0.2	0.4	0.3
Козфф. вар., %	10.9	8.4	8.8

Оптимальная горизонтальная площадь засева соответствует площади кольца вокруг окружности с номером пункта воздействия. Площадь круга с номером пункта воздействия – так называемая «мертвая зона засева», с областью положительных или отрицательных температур выше  $-3^{\circ}\text{C}$ , где действие реагента либо отсутствует, либо оно мало эффективно.

В табл. 1-3 представлены статистические характеристики оптимальных горизонтальных проекций трасс засева кристаллизующего реагента противорадовой ракеты SK-6 на защищаемой территории в Кахетии для высот изотермы  $-6^{\circ}\text{C} = 3.0, 4.0$  и  $5.0$  км.

Как следует из рис. 10-12 и табл. 1-3 оптимальные площади засева реагентом ОВ существенно зависят как от месторасположения пунктов воздействия, так и от высоты изотермы  $-6^{\circ}\text{C}$ . В частности, сравнение рис. 10 - 12 наглядно демонстрирует существенную разницу в перекрытиях оптимальных площадей засева реагентов ОВ соседними пунктами воздействия. С увеличением высоты  $H(-6^{\circ}\text{C})$  уменьшается и оптимальная площадь засева для пунктов воздействия. Так, например, средняя для всех пунктов воздействия длина оптимальной проекции трассы засева реагентом уменьшается от 4.8 км при  $H(-6^{\circ}\text{C})=3.0$  км до 2.9 км при  $H(-6^{\circ}\text{C})= 5.0$  км.

Полезная площадь засева одним изделием типа SK-6 для уровней высоты изотермы от  $H(-6^{\circ}\text{C})= 3.0$  км до  $H(-6^{\circ}\text{C})= 6.0$  км меняется соответственно от  $4.8 \text{ км}^2$  до  $1.9 \text{ км}^2$ , при среднем значении  $3.4 \text{ км}^2$ . Это примерно в 1.75 раз меньше эффективной площади засева противорадовых ракет “Алазани-6” и “Алазани-9”, часто применяемых в России [10].

Отметим, что в Северо-Кавказской военизированной службе (ВС) борьбы с градом в 2007-2014 гг. средний расход противорадовых изделий “Алазани-6” на 100 тыс. га составлял примерно 200 ракет в сезон (диапазон изменения от 106 до 355) против 1264 менее эффективных ракет в 1981 - 1991 гг. (площади защищаемой территории соответственно составляли около 800 и 1260 тыс. га). Среднее количество обработанных зон в 2007-2014 гг. составляло около 15 на 100 тыс. га против 53 на 100 тыс. га в 1981-1990 гг. (примерно в 3.5 раза меньше). При этом эффективность противорадовых работ возросла приблизительно с 70% в 1981-1990 гг. до 92% в 2007-2014 гг. [10].

В Краснодарской и Ставропольской ВС в 2007-2014 гг. в связи с более детализированным разделением зон по необходимости воздействия на них, годовой расход ракет был выше, чем в Северо-Кавказской ВС (соответственно, в среднем 710 изделий при диапазоне изменения от 510 до 920 на 100 тыс. га, и в среднем 700 изделий при диапазоне изменения от 556 до 925 на 100 тыс. га защищаемой территории). Тем не менее, этот расход в Краснодарской ВС уменьшился по сравнению с 1981-1990 гг. почти в 1.9 раз (Ставропольская ВС была создана в 1995 г.) [10].

Учитывая, что эффективная площадь засева кристаллизующим реагентом объектов воздействия у ракет SK-6 ниже, чем у ракет “Алазани-6” и “Алазани-9”, в Кахетии максимальный расход изделий SK-6 до модернизации их баллистических характеристик, или приобретения или производства ракет с лучшими полетными данными, в зависимости от применяемой технологии не должен превышать 1620 ракет в сезон на 100 тыс. га защищаемой территории, а по методологии воздействия Северо-Кавказской ВС – 620 ракет в сезон на 100 тыс. га. Учитывая стоимость ракет SK-6 в ближайшем будущем в Кахетии на защищаемой территории 600 тыс. га предполагается использовать от 1100 до 3700 ракет в сезон при среднем показателе около 2100 изделий. Этот расход примерно соответствует нормальному режиму засева (засев, предусматривающий покрытие трассами реагента основной части обрабатываемой зоны с коэффициентом засева от 50 до 80%). В режиме массивованного засева (засев с покрытием трассами реагента всей обрабатываемой зоны с коэффициентом засева от 80 до 100%) расход ракет увеличивается в среднем примерно в 1.4 раза, а в режиме экономичного засева (засев с покрытием трассами засева обрабатываемой зоны с коэффициентом засева от 30 до 50%) расход ракет уменьшается в среднем примерно в 1.65 раз по сравнению с режимом нормального засева. Эти показатели соответственно равны примерно 1550 (минимум), 5200 (максимум) и 2950 (среднее) в режиме массивованного засева, и 670 (минимум), 2240 (максимум) и 1270 (среднее) в режиме экономичного засева.



Отметим, что режимы засева зависят от категории объектов воздействия. Если в сезон в подавляющем большинстве случаев преобладают градовые облака 3-ей и 4-ой категории, в основном используется режим массированного засева. При преобладании в сезон облаков 1-ой и 2-ой категорий, в основном используется экономичный режим засева. При преобладании в сезон облаков 3-ей категории средней и слабой интенсивности, в основном используется режим нормального засева. Реально в сезон воздействие производится на облака всех категорий, и планирование годового количества расхода противорадовых изделий достаточно затруднительно. Поэтому, до получения необходимой статистической информации о категориях объектов воздействия в Кахетии, как было отмечено выше, по аналогии с Северо-Кавказской ВС с учетом параметров используемой нами противорадовой ракеты SK-6 и финансовыми возможностями, годовой расход этих изделий в ближайшей перспективе предположительно может варьировать от 1100 до 3700 при среднем значении 2100 ракет.

Эти цифры подтверждаются также следующими соображениями. В 1985-1989 гг. расход ракет в Кахетии составлял примерно 3200 штук на 100 тыс. га (минимум - 2800, максимум - 3600). Количество объектов воздействия на этой площади в среднем составляло около 143 (минимум - 100, максимум - 195). На одну обрабатываемую зону расходовалось в среднем около 24 ракет "Алазани-2М" (минимум - 18, максимум - 33). Учитывая новые технологии индикации градоопасности облаков по аналогии с Северо-Кавказской ВС к настоящему времени количество объектов воздействия предположительно должно сократиться в среднем в 3.5 раза и составить примерно 41 на 100 тыс. га (минимум - 29, максимум - 56), или 244 на 600 тыс. га (минимум - 170, максимум - 335) защищаемой территории. Эффективность ракеты SK-6 по выходу реагента в 4 раза превышает изделие "Алазани-1/2М", но в 1.5 раз уступает ракете "Алазани-2М" по эффективной площади засева, составляющей 5 км<sup>2</sup>. Таким образом, в целом ракета SK-6 примерно в 2.7 раз эффективнее ранее применяемой ракеты "Алазани-2М". Соответственно, средний расход ракет SK-6 на один объект воздействия в Кахетии должен составлять примерно 9 изделий (минимум - 7, максимум - 12), или в среднем около 2200 ракет в сезон на площади защищаемой территории 600 тыс. га (минимум - 1200, максимум - 4000), что достаточно удовлетворительно согласуется с вышеприведенными оценками среднегодового расхода этих ракет. Отметим, что это все качественные оценки применительно для конкретных ракет SK-6, которые будут уточняться по мере накопления новых данных об активных воздействиях на градовые процессы в Кахетии, а также возможном применении ракет другого типа, с отличными от используемых содержанием льдообразующего реагента и баллистическими характеристиками.

Противорадовая служба в Грузии (Кахетия) была восстановлена 28 мая 2015 г. [15,16] и с этого дня были введены в эксплуатацию современный метеорологический радиолокатор Meteor 735CDP10 [17] и автоматическая система пуска ракет для активных воздействия на градовые процессы с дистанционным управлением с командного пункта, расположенного в Тбилиси в 60-100 км от района проведения противорадовых работ [18]. В сезон 2015 года всего было обработано 185 градоопасных и градовых зон, на что было использовано около 1000 ракет SK-6 (практически весь имеющийся на этот год запас). Учитывая наличие небольшого количества противорадовых изделий для работы противорадовой службы в тестовом режиме, операции воздействия проводились в режиме экономичного засева. Несмотря на это, в целом работа службы была успешной [16] и в недалеком будущем предполагается расширение площадей защищаемой территории, а также дополнительное размещение пунктов воздействия и вне ее, для предварительного засева градоопасных и градовых облаков.

## Литература

1. Институт геофизики – 50 (под редакцией Б.К.Балавадзе). Тбилиси, «Мецниереба», 1983, с. 94-116.
2. Бухникашвили А.В., Гайворонский И.И., Карцивадзе А.И., Кизирия Б.И., Окуджава А.М., Орджоникидзе А.А., Серегин Ю.А. Методика АВ на градовые процессы и результаты опытов в Алазанской долине. Тр. Всес. совещ. по АВ на градовые процессы. Тбилиси, 1964, с. 76-87.

3. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Лапинкас В.А. Некоторые вопросы методики воздействия на градовые процессы с использованием противогодовой системы «Алазани». Тр. Института геофизики АН ГССР, т. 36, Тбилиси, Мецниереба, 1975, с. 13-27.
4. Карцивадзе А.И., Шидловский А.А., Силян Н.А., Несмеянов П.А., Серегин Ю.А. Результаты межведомственных испытаний противогодовой комплекса «Алазани». Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
5. Карцивадзе А.И., Серов В.Д., Сидоров А.И., Несмеянов П.А., Спасибо В.В. Оптимизация максимального радиуса действия противогодовой ракеты по стоместному критерию. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
6. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противогодовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
7. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тбилиси, «Мецниереба», 1991, 113 с.
8. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77 - 100.
9. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
10. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противогодовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, «Печатный двор», 2014, 508 с.
11. 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.
12. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противогодовых работ в Грузии. Международная конференция «Актуальные проблемы геофизики». Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
13. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
14. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2014, с.113-120.
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, 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. 14-28.
17. 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., Хегашвили А.А., Цхведиашвили Г.Н., Чихладзе В.А. Радиолокационное обеспечение противогодовой

службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.

18.Абаиадзе О.А., Арвеладзе Л.В., Беракчян И.Ю., Дзаганашвили Д.Р., Кириа Дж.К., Манагадзе И.Б., Размаишвили Р. Н., Татишвили Г.З., Ундилашвили Г.Д., Чхаидзе Б.Дж. Дистанционная система управления активными воздействиями на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 53-59.

## კახეთში სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების სახმელეთო საშუალებების მახასიათებლები

ამირანაშვილი ა., ბარეკჩიანი ი., დვალიშვილი კ., ძოდუაშვილი უ., ლომთაძე ჯ.,  
ოსეფაშვილი ა., საური ი., ტატიშვილი გ., თელია შ., ჩიხლაძე ვ.

### რეზიუმე

მოყვანილია კახეთში წინა საუკუნეში გამოყენებული „ალაზანი1/2“ და 2015 წელს გამოყენებული მაკედონიის წარმოების თანამედროვე სეტყვასაწინააღმდეგო SK-6 ტიპის რაკეტების შედარებითი მონაცემები. წარმოდგენილია 80-ზე მეტი სეტყვის ღრუბლებზე ზემოქმედების სარაკეტო პუნქტის განლაგების სქემა და აგრეთვე კახეთში დასაცავ ტერიტორიაზე ზემოქმედების ობიექტების მაკრისტალიზებელი რეაგენტით ჩათესვის ოპტიმალური ფართობების რუკები ზღვის დონიდან  $-6^{\circ}\text{C}$  იზოთერმის სხვადასხვა სიმაღლის დროს. მოყვანილია ინფორმაცია სამხედრო სამეცნიერო-საწარმო ცენტრ „დელტა“-ს წარმოების თანამედროვე სტაციონარული ავტომატური დისტანციურად სამართი სდ-26 ტიპის სეტყვასაწინააღმდეგო რაკეტების გამშვები დანადგარის შესახებ. ჩატარებულია სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის დაუბრკოლებელი ფუნქციონირებისათვის რაკეტების საჭირო წლიური რაოდენობის წინასწარი ხარისხობრივი შეფასება.

## CHARACTERISTICS OF GROUND MEANS ACTION ON HAIL PROCESS IN KAKHETI

Amiranashvili A., Barekchian I., Dvalishvili K., Dzodzuashvili U., Lomtadze J.,  
Osepashvili A., Sauri I., Tatishvili G., Telia Sh., Chikhladze V.

### Abstract

The comparative information on the comparative data of rocket "Alazani 1/2" used in the past century for dealing with the hail in Kakheti and utilized in 2015 contemporary rocket SK-6 produced in Macedonia is given. The layout diagram of more than 80 rocket points of action on the hail clouds and the maps of the optimum areas of sowing the crystallizing reagent of the objects of action in the shielded territory in Kakheti at different heights of isotherm  $-6^{\circ}\text{C}$  above sea level are presented. Information about the contemporary stationary automatic launcher with remote control for the anti-hail rockets SD-26 produced by scientific and technical center "Delta" is given. Preliminary qualitative evaluation of an annual quantity of rockets necessary for the functioning of the anti-hail service is carried out.

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ НАЗЕМНЫХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ**

**Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В.,  
Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З.,  
Телия Ш.О., Чихладзе В.А.**

### **Реферат**

Приведены сравнительные сведения о применяемых в прошлом столетии для борьбы с градом в Кахетии ракеты «Алазани1/2» с используемой в 2015 году современной ракетой SK-6 производства Македонии. Представлена схема расположения более 80 ракетных пунктов воздействия на градовые облака и карты оптимальных площадей засева кристаллизующим реагентом объектов воздействия на защищаемой территории в Кахетии при различных высотах изотермы  $-6^{\circ}\text{C}$  над уровнем моря. Приведена информация о современной стационарной автоматической пусковой установке с дистанционным управлением для противоградовых ракет СД-26 производства научно-технического центра «Дельта». Проведена предварительная качественная оценка необходимого для функционирования противоградовой службы годового количества ракет.

## ДИСТАНЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ

<sup>1</sup>Абаиадзе О.А., <sup>1</sup>Арвеладзе Л.В., <sup>1</sup>Барекчян И.Ю., <sup>1</sup>Дзаганашвили Д.Р., <sup>2</sup>Кириа Дж.К.,  
<sup>1</sup>Манагадзе И.Б., <sup>1</sup>Размазишвили Р. Н., <sup>1</sup>Татишвили Г.З.,  
<sup>1</sup>Ундилашвили Г.Д., <sup>1</sup>Чхаидзе Б.Д.

<sup>1</sup>Научно-технический центр «Дельта»

<sup>2</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, kiria51@yahoo.com

К концу семидесятых годов прошлого столетия работы по борьбе с градом, проводимые в Кахетии под руководством А.И. Карцивадзе, интенсивно развивались. Увеличивались площади защищаемой территории. Поэтому в связи со значительным расширением практических мероприятий по защите сельхозкультур от градобитий и существенным повышением требований к их эффективности, возник вопрос о разработке автоматических систем управления (АСУ) процессом искусственного воздействия. Первая попытка составления алгоритма и блок-схемы программы АСУ операции воздействия на градовые процессы с применением противоградового комплекса «Алазани» и методики, разработанной Институтом геофизики АН ГССР [1], была предпринята в работе [2].

С начала восьмидесятых годов прошлого столетия были начаты практические работы по реализации проекта АСУ воздействия на атмосферные процессы. На первом этапе этих работ Институтом систем управления АН ГССР, Институтом геофизики АН ГССР и Грузинским политехническим институтом был создан опытный образец телеавтоматической системы управления действием противоградовых установок (Г. Л. Харатишвили, Н. И. Калатошишвили, А. И. Карцивадзе, Г. Ш. Эрадзе, Г. И. Надирадзе, Э. Г. Картвелишвили, М. В. Гаситашвили, К. Я. Шойхет, И. И. Гольдберг, Б. А. Гвасалия, Г. М. Пасенко, Д. В. Чкония, Я. Ш. Палагашвили, В. В. Надарая, И. И. Диасамидзе и др.). Один образец этой системы был расположен на Руиспирском полигоне. Автоматизированная пусковая установка ТКБ-040 находилась на Руиспирском ракетном пункте. Управление пусковой установкой и запуском противоградовых изделий осуществлялось со специального пульта (рис. 2), который был смонтирован в помещении командного пункта этого полигона, расположенного примерно в 100 метрах от пункта воздействия. Испытания этой системы показали как положительные, так и отрицательные ее стороны (например, проблемы передачи информации, каналы связи, помехоустойчивость в грозу и др.).

Впоследствии работы по АСУ воздействия на градовые процессы были продолжены [3,4]. В частности: были разработаны принципы автоматизации управления операциями воздействия (ОРВ) на градовые процессы; предусмотрена возможность дистанционного ввода радиолокационной информации для обработки в ЭВМ путем разработки принципов кодирования, передачи и приема информации; приведена блочная структурная схема системы, функциональные и принципиальные схемы основных блоков, разработанных на современной по тем временам элементной базе; разработаны и внедрены в эксплуатацию блоки получения многоконтурного изо-эхо на радиолокационной станции центрального командного пункта противоградовой службы в Руиспири; разработана программа математического обеспечения записи и обработки на ЭВМ ЕС-1022 радиолокационной информации при практических работах по предотвращению градобитий по методике Института геофизики АН ГССР и др.



Рис. 1

Ракетный пункт воздействия на градовые процессы противораковых ракет «Алазани».

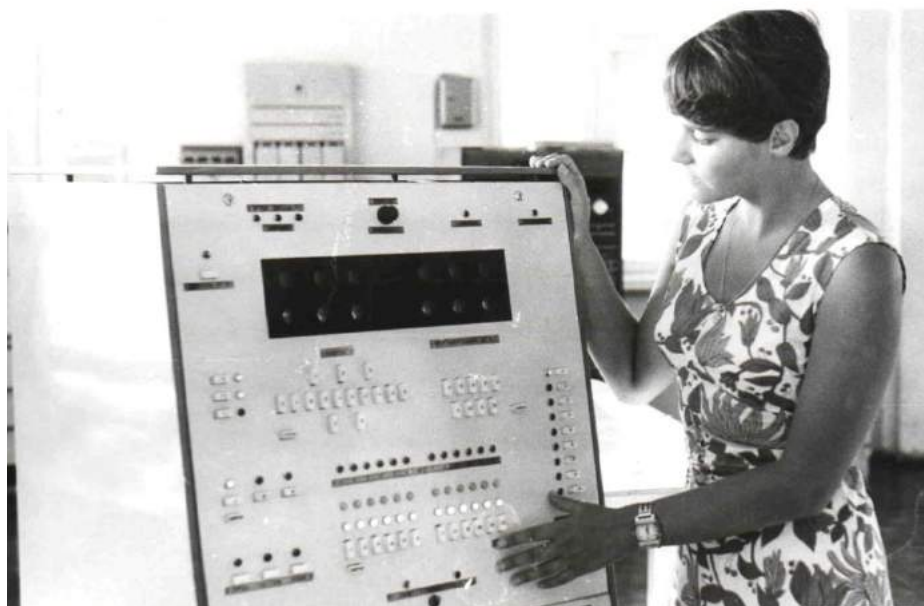


Рис. 2

Сотрудник Института систем управления К.Шойхет у пульта дистанционного управления запуском противораковых ракет «Алазани».

В середине восьмидесятых годов прошлого столетия под руководством директора Института систем управления АН ГССР чл.-корр. АН ГССР И.В. Прангишвили и лауреата

Государственной премии СССР А.И. Карцивадзе была начата разработка АСУ противоградовыми работами под названием «Град», реализуемой на базе выпускаемой в Тбилиси управляемых вычислительных машин. Предполагалось, что внедрение этой системы позволит существенно повысить оперативность, надежность и точность проведения операций ракетного воздействия на градовые процессы, что несомненно должно было способствовать повышению эффективности борьбы с градом.

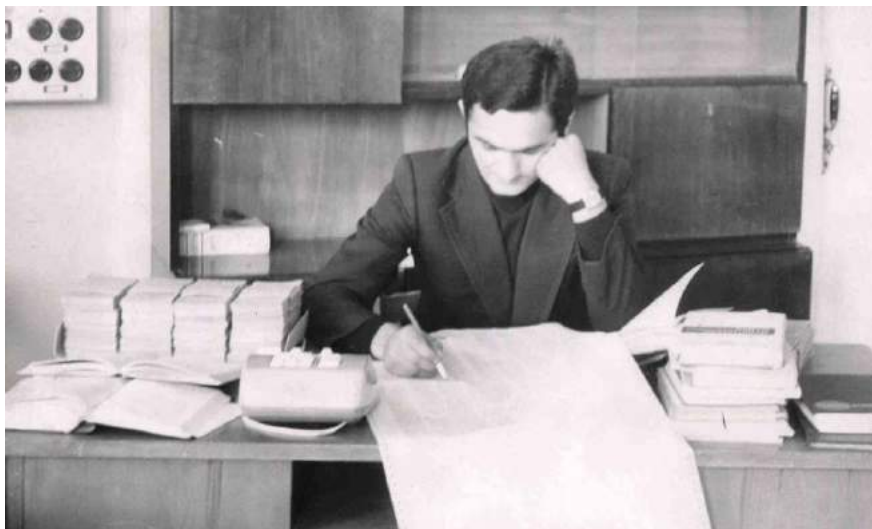


Рис. 3

Сотрудник Института геофизики АН ГССР Дж. Кириа за работой над программным обеспечением автоматической системы управления операциями воздействия на градовые процессы (начало восьмидесятых годов прошлого столетия).

В этих работах активное участие принимали Т. Г. Салуквадзе, М. С. Цицкишвили, Д. К. Кириа, З.З. Зурашвили, Э.И. Хелая, И. Г. Осидзе, Э. Г. Картвелишвили и др. К сожалению, к концу восьмидесятых годов прошлого столетия по известным причинам эти работы, как и деятельность противоградовой службы, были прекращены [5].

Следует отметить, что в таких странах, как Россия, Болгария, Молдова и др. противоградовые работы были продолжены. За 25 лет после прекращения этих работ в Грузии, в других странах появились метеорологические радиолокационные станции нового поколения; существенно повысился уровень радиолокационных наблюдений за облаками с помощью РЛС старого поколения, таких как МРЛ-5; усовершенствованы средства доставки реагента в облака и эффективность самих льдообразующих реагентов; были внедрены системы автоматического управления операциями активных воздействий на облака и др., что значительно увеличило эффективность противоградовых работ [6,7].

Учитывая актуальность проблемы борьбы с градом в Грузии [5,9-11] в 2015 году в Кахетии противоградовые работы были восстановлены, и проведены тестовые испытания системы воздействия на градовые процессы [12-14]. В течение короткого времени (февраль-апрель 2015 г.) в научно-техническом центре «Дельта» были изготовлены более усовершенствованных, по сравнению с [12,15], 80 пусковых установок СД-26 для противоградовых ракет СК-6 [16], которые были размещены на специально оборудованных площадках на территории Кахетии в соответствии со схемой, представленной на рис. 4.

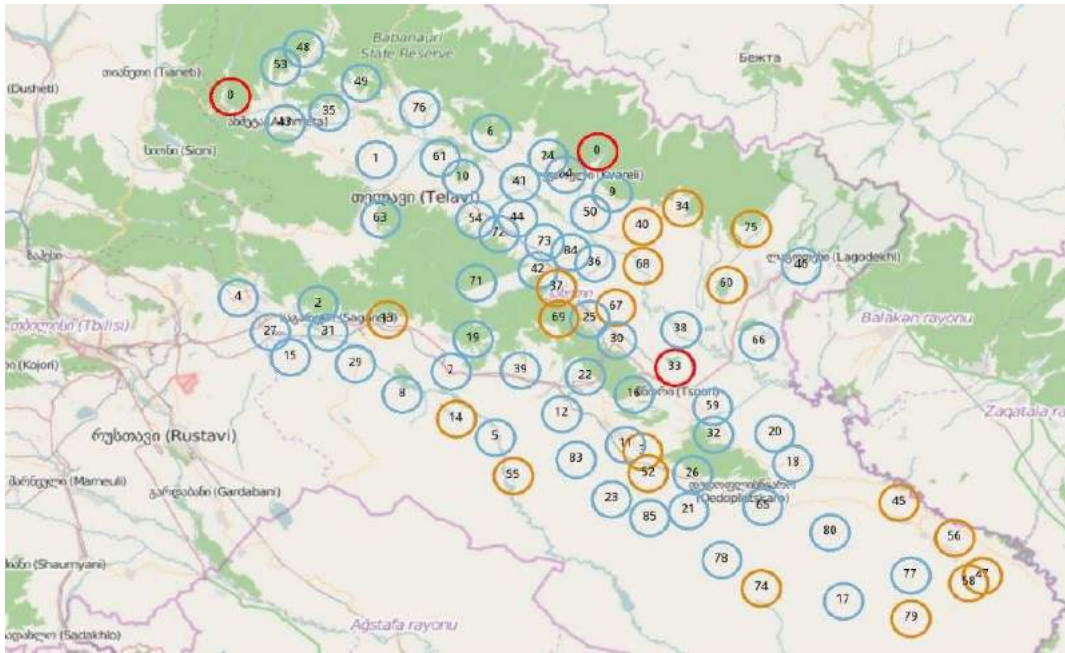


Рис. 4

Схема размещения пусковых установок для противоградовых ракет в Кахетии.

На рис. 5 представлена фотография современного пункта воздействия на градовые процессы.



Рис. 5

Фотография одного из современных пунктов воздействия на градовые процессы в Кахетии.



На пункте воздействия (рис. 5) смонтированы 26-ствольная автоматическая пусковая установка СД-26 для ракет СК-6, аккумулятор питания, солнечная батарея и другие необходимые принадлежности для автономной работы установки. Пункт огражден специальным забором, имеется камера видеонаблюдения, постоянная связь с правоохранительными органами на случай несанкционированного проникновения на пункты воздействия, перед началом пуска ракет издаются предупредительные звуковой и световой сигнал.

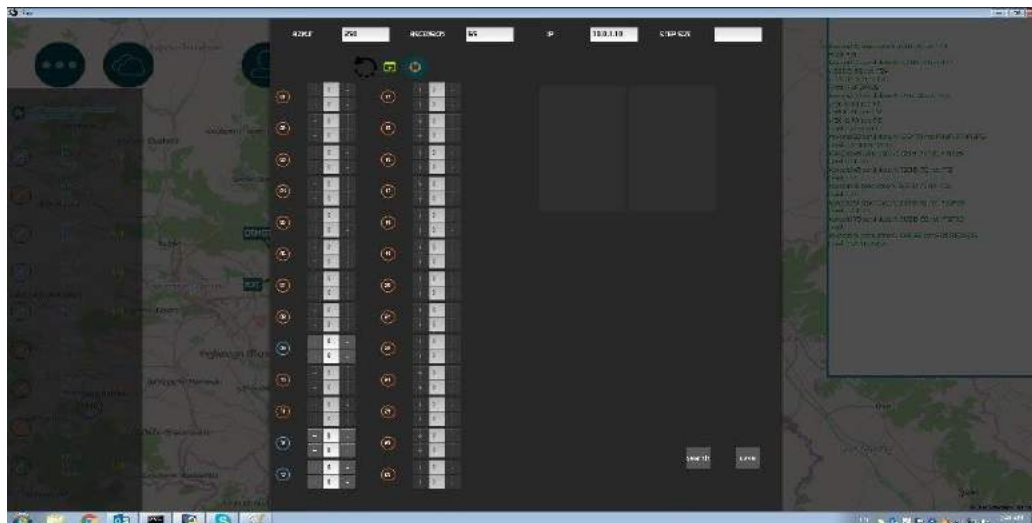


Рис. 6

Фотография современного пульта дистанционного управления запуска противораковых ракет в Кахетии.

Управление пуском ракет со всех пунктов воздействия осуществляется дистанционно с командного пункта, расположенного в Тбилиси (в 25-150 км от противоракового полигона). Фотография современного пульта дистанционного управления запуска противораковых ракет представлена на рис. 6. В соответствии со специальной программой устанавливаются азимут, угол запуска, веерность и др. На пульте отмечается количество израсходованных изделий. Проведение операций воздействия после команды на стрельбу занимает несколько секунд.

На пунктах воздействия стрелков нет, обслуживающий персонал периодически проводит осмотр пунктов и необходимые регламентные работы. После расходования ракет в пусковой установке, специальная оперативная мобильная группа пополняет их запас.

Отметим, что проводится постоянное совершенствование как самих пусковых установок, так и программного обеспечения для их автономной работы.

## Литература

1. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Лапинкас В.А. Некоторые вопросы методики воздействия на градовые процессы с использованием противораковой системы «Алазани». Тр. Института геофизики АН ГССР, т. 36, Тбилиси, Мецниереба, 1975, с. 13-27.
2. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Кирия Д.К. К вопросу разработки принципов автоматической системы управления (АСУ) процессов искусственного воздействия на градовые процессы. "Исследования конвективных облаков и некоторые вопросы искусственного воздействия на них", Труды Института геофизики АН ГССР, том 44, Тбилиси, "Мецниереба", 1978, с. 71-86.

3. Отчет по теме «Разработка принципов управления операциями ракетного воздействия на градовые процессы». Институт геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1981, 77 с.
4. Отчет по теме «Разработка принципов автоматической системы управления процессом воздействия на градовые явления. Институт геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1984, 87 с.
5. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
6. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
7. 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-.
8. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. – Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
9. Амиранашвили А., Глонти Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
10. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77-100.
11. Амиранашвили А.Г., Глонти Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
12. 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 V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, pp. 92-106.
13. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти 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.
14. 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 противоградовой службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
15. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с. 113-120.
16. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.

## კახეთში სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების მართვის დისტანციური სისტემები

აბაიადე ო., არველაძე ლ., ბარეკჩიანი ი., მაგანაშვილი დ., ქირია ჯ.,  
მანაგაძე ი., რაზმაზიშვილი რ., ტატიშვილი გ., უნდილაშვილი გ., ჩხაიძე ბ.

### რეზიუმე

მოყვანილია მონაცემები კახეთში გამოყენებული სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების მართვის თანამედროვე სისტემის შესახებ. 80-ზე მეტი სარაკეტო გამშვები დანადგარის მართვა ხდება დისტანციურად, თბილისში განლაგებულ საკომანდო პუნქტიდან. მოყვანილია ამ სისტემის წინა საუკუნეში არსებულ სეტყვის საწინააღმდეგო „ალაზანი“-ს ტიპის რაკეტების გამშვებ დისტანციური მართვის პუნქტის საცდელ ნიმუშთან შედარება.

## THE DISTANCE SYSTEM CONTROL OF ACTIVE ACTION ON HAIL PROCESS IN KAKHETI

Abaiadze O., Arveladze L., Barekchian I., Dzaganashvili D., Kiria J., Managadze I.,  
Razmazishvili R., Tatishvili G., Undilashvili G., Chkhaidze B.

### Abstract

The information about the contemporary systems for control of active actions on the hail utilized in Kakheti is represented. The control on rocket launcher with more of 80 points of action is taken remotely from the control center, located in Tbilisi (in 25-150 km from the anti-hail polygon). The work makes comparison of the system with the remote-control station for launching of anti-hail rocket "Alazani", which was used in the last century.

## ДИСТАНЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМИ ВОЗДЕЙСТВИЯМИ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ

Абаиадзе О.А., Арвеладзе Л.В., Барекчян И.Ю., Дзаганашвили Д.Р.,  
Кириа Дж.К., Манагадзе И.Б., Размазишвили Р.Н., Татишвили Г.З.,  
Ундилашвили Г.Д., Чхаидзе Б.Д.

### Реферат

Представлены сведения об используемой в Кахетии современной системе управления активными воздействиями на градовые процессы. Управление пуском ракет с более, чем 80 пунктов воздействия осуществляется дистанционно с командного пункта, расположенного в Тбилиси (в 25-150 км от противоградового полигона). Проведено сравнение указанной системы с существовавшей в прошлом столетии опытного образца пункта дистанционного управления запуском противоградовых ракет «Алазани».

**ПРОДУКТЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА  
«METEOR 735CDP10»**

<sup>1</sup>Авлохашвили Х.В., <sup>1,2</sup>Банеташвили В.Г., <sup>1</sup>Геловани Г.Т., <sup>1,2</sup>Джавахишвили Н.Р.,  
<sup>1</sup>Кайшаური М.Н., <sup>1,2</sup>Митин М.Н., <sup>3</sup>Самхарадзе И.Н., <sup>1,2</sup>Цхведиашвили Г.Н.,  
<sup>1,2</sup>Чаргазия Х.З., <sup>1,2</sup>Хурцидзе Г.Т.

<sup>1</sup>Научно-технический центр «Дельта», makakatab@gmail.com

<sup>2</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, banetashvili@yahoo.com

<sup>3</sup>Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили

В 2015 году в Грузии после 25-летнего перерыва [1-3] восстановлена Противорадовая служба, которая на первом этапе своей деятельности должна обеспечивать защиту сельскохозяйственных культур от градобитий на территории Кахетии [4-5]. Для обеспечения наблюдений за градовыми облаками в этом регионе в селе Чотори Сигнахского муниципалитета в конце апреля 2015 года на высоте около 1090 м над уровнем моря установлен метеорологический радиолокатор (РЛС) С-диапазона (длина волны 5 см) «METEOR 735CDP10» фирмы Selex ES (Германия). Управление радиолокатором дистанционное и осуществляется из противорадового центра, расположенного в Тбилиси на расстоянии около 80 км от места его установки. После тестовых испытаний в конце мая 2015 года, радиолокатор введен в эксплуатацию [5-7]. Помимо наблюдений за градовыми облаками РЛС также можно использовать для слежения и за другими процессами, протекающими в атмосфере.

Радиолокатор позволяет вести эффективное обзорное слежение за перемещением облачных масс в радиусе до 400 км (продукты PPI и CAPPI), общие наблюдения за развитием и перемещением облаков в радиусе до 200 км (территория Восточной Грузии, значительные части территорий Армении, Азербайджана, Дагестана, Чечни, Ингушетии, Северной Осетии). Рабочее расстояние для наблюдений за градовыми процессами с высоким разрешением и радиолокационное обеспечение операций активных воздействий на эти процессы – до 100-120 км. Ниже представлено краткое описание возможностей радиолокатора для проведения этих наблюдений в указанном радиусе [8].

- 1. CAPPI (V) – Constant Altitude PPI** - скорость и направление перемещения воздушных масс и облаков относительно радара на заданной высоте над уровнем моря в пределах  $-66$  м/сек ÷  $+66$  м/сек. Отрицательным считается направление к локатору, а положительным – от радара к периферии. В этом продукте данные всех вертикальных углов сканирований (элеваций) наложены на один слой.
- 2. ЭНТ (Height) - Echo Height** – высота эхо-сигнала, высота облаков по шкале высот  $0$  ÷  $25$  км, нижняя и верхняя границы облаков, высота зоны максимальной отражаемости – выбор любого из трех параметров или их смена по необходимости, выбираемых из Layer по слоям.
- 3. MAX dBZ – Maximum Display** – это горизонтальный разрез облака, который представляет собой суммарное изображение картин всех элеваций с возможностью сделать его вертикальный разрез. Отражаемость от **5.0 dBZ** до **100.0 dBZ**. Этот продукт представляет собой структуру облака и определяет, какое количество осадков может выпасть из этого

облака, от 1-го до 20 км высоты. Можно менять легенду шкалы с соответствующей словесной классификацией. К примеру, показатель качества осадков от слабого Weak до экстремального Extreme и соответственно интенсивность осадков в облаках в диапазоне 0.0 мм/час – 1776 мм/час.

4. **MCAPPI (dBZ) – Multiple-Layer CAPPI** – продукт слоев сканирования, горизонтальные разрезы облака в соответствие с элевацией на какой угодно высоте от земли, от 0 до 40 км, или сечении облака по высоте с 200-метровым шагом при отражаемости от **5.0 dBZ** до **100.0 dBZ**. Можно менять слои с помощью Layer. Вертикальное сечение слоев на разной высоте можно отобразить (например, показатель качества осадков от слабого Weak до экстремального Extreme) изменением шкалы легенды.
5. **MPPI dBZ** – послойный разрез облаков в соответствие с углом (deg) наклона антенны радара (с элевацией **0.00 – 90.00 deg**) со свободным выбором; отражаемость от **5.0 dBZ** до **100.0 dBZ**, имеется возможность изменения легенды, например словесная классификация показателя качества осадков Weak – Extreme.
6. **MPPI (V)** – скорость и направление облаков и воздушных масс от -66 м/сек до 66 м/сек по углу (**deg**) наклона радара (**0.00 – 90.00 deg** элевации со свободным выбором), т.е. скорость слоев облака, согласно каждому углу сканирования.
7. **MPPI (ZDR)** – отличительный продукт для формы капель. Сравнение соотношения вертикальных и горизонтальных размеров облачных капель. Дождевые капли имеют более эллипсоидальный характер, круглые капли более соответствуют граду, от **-2.0 dB** (зародыши круглой формы, т.е. градины) до **7.0 dB** (уплощенная форма, т.е. дождь). Происходит сравнение горизонтальных и вертикальных размеров для определения различия формы и размеров капель (элевация в пределах **0.00 – 90.00 deg** со свободным выбором).
8. **MPPI (RhoHV)** – продукт коэффициента корреляции в пределах от 0.0 (не метео) до 1.0 (метео). Показывает, является ли принятое радиоэхо метеорологической или неметеорологической информацией (элевация в пределах **0.00 – 90.00 deg** со свободным выбором).
9. **MPPI (ET) – Multiple Layer PPI** – продукт классификации эхо-сигналов, отличительный продукт для классификации облаков, местных объектов и метеорологических явлений. Позволяет получать данные о дожде и граде и фиксирует неметеорологические факторы, которые мешают работе (от **No Data** до **Rain-hail mixture**), (в пределах **0.00 – 90.00 deg** элевации).
10. **PPI (dBZ) 200km - Plan Position Indicator** – продукт общего наблюдения на расстоянии до 200 км от радара. Отражаемость от **0.00 dBZ** до **100.0 dBZ**. Элевация, исходя из местоположения радара, выбрана **1.2 deg**. Однако ее можно изменить алгоритмом. При необходимости имеется возможность изменения легенды, например как показателя качества осадков Weak – Extreme.
11. **HWIND (V) - Horizontal Wind** – горизонтальная позиция ветра, потоки воздушных масс, скорость и направление ветра на заданной высоте от уровня моря. Можно наложить на следующие продукты: **CAPPI (V)**, **MAX (dBZ)**, **MPPI (V)**.
12. **VVP (V) - Volume Velocity Processing** – распределение вертикальных скоростей и направления ветра по высоте в интервале высот от 0.00 км до 40.00 км на удалении до 100 км от радара в течение определенного времени. Данные получаем при элевации в пределах **0.00 – 90.00 deg** со свободным выбором. Прогноз шторма можно определять с помощью вертикальной позиции ветра.

- 13.DPSRI (dBR) – Dual-Pol surface Rainfall Intensity** - количество осадков в час (интенсивность) – от 0.1 мм/час до 100.0 мм/час на заданной высоте над уровнем моря; показывает водность облаков, т.е. количество влаги в облаке. Возможно изменение легенды, словесное разъяснение классификации. Например, соответствующий показатель качества осадков от Weak до Intensive.
- 14.PAC (dBA) – Precipitation Accumulation** – количество осадков в облаке от 0.1мм до 100.0 мм, прогноз осадков. Определяет осадки, которые могут выпасть в течение последующего 1 часа. Для получения информации требуется примерно 10 минут, т.е. минимум 3 скана для сравнения. Это прогностический продукт.
- 15.SRI dBR – Surface Rainfall Intensity**- интенсивность выпадения осадков в данный момент времени на поверхность на указанной высоте в диапазоне от 0.1 до 100 мм/час.
- 16.HAILSZ Size** - размер градин в облаках от 5.0 мм до 30.0 мм и выше по диаметру. Минимальный уровень включения сигнала тревоги от **40 dBZ**, который меняется в зависимости от алгоритма. Имеется возможность изменения легенды, словесное разъяснение – классификация. Например, в указателе качества осадков в диапазоне Small – Giant (малый - гигантский), в Info дана высота нулевой изотермы, которая может меняться по необходимости.
- 17.SWI – Severe Weather Indicator** - совокупность погодных явлений, конвергенция и дивергенция метеорологических параметров, восходящие и нисходящие потоки воздушных масс (показывает перемещение воздушных потоков), штормовые явления, циклоны, область слабого радиоэха, местоположение градовых процессов. Можно наложить на продукт **MAX (dBZ)**.
- 18.ZHAIL (Prob) - Probability** - вероятность выпадения града от 20 до 80% и выше. Минимальный уровень включения сигнала тревоги от **35 dBZ**, который меняется в зависимости от алгоритма. Имеется возможность изменения легенды, словесное разъяснение – классификация. Например, в указателе качества осадков в диапазоне Very Low – Very High (очень низкое – очень высокое), в Info дана высота нулевой изотермы, которая может меняться по необходимости.
- 19.CTR – Cell Centroid Tracking** – продукт показывающий вероятное перемещение (развитие) контуров облачных ячеек. Кратковременная прогностическая программа. Для сравнительной визуализации желательно наложить на продукт **MAX (dBZ)**. Можно определить скорость и направление перемещения облака. Таким образом, в определенном промежутке времени можно увидеть вероятное перемещение воздушных масс.
- 20.RTR (dBZ) – Rain Tracking** – наблюдение за дождевыми облаками, наблюдение за идущим дождем, интенсивность осадков от 0.1 мм/час до 100.0 мм/час; наблюдение за осадками в текущий момент и перемещение облаков через определённое время (10, 20, 30 минут и т.д.) со свободным выбором сроков. Имеется возможность изменения легенды, словесное разъяснение - классификация. Например, соответствующий показатель качества осадков от Weak до Intensive. Это фактический и прогностический продукт.
- 21.WRN – Warning** – предупреждающий продукт, оповещение об опасности для защищаемой территории о критической ситуации. К примеру, на каком расстоянии ожидается град в радиусе 100 км от радара. Сигнал тревоги при появлении града.

На данный момент идет более детальное изучение алгоритмов сканирования, процедур фильтрации вычислений и обработки продуктов для будущего их улучшения применительно к противорадовым работам. Также ведутся практические работы по улучшению разрешения радарных наблюдений с целью получения более детальных картин сканирования и более четкой визуальной информации. Проводятся работы по совершенствованию применения продуктов сканирования радара с целью увеличения скорости реагирования на градоопасные ситуации. Отдельно ведется научная работа для улучшения функционирования радара применительно к работам по борьбе с градом и мониторингу опасных метеорологических процессов на территории Восточной Грузии и прилегающих к ней указанных выше территорий соседних стран.

## Литература

1. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. – О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рождения его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
2. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противорадовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
3. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
4. 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 V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, pp. 92-106.
5. 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.
6. 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.
7. Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кирия 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.
8. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., www.gematronik.com

## «METEOR 735CDP10» მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის პროდუქტები

ავლოხაშვილი ხ., ბანეთაშვილი ვ., გელოვანი გ., ჯავახიშვილი ნ., კაიშაური მ.,  
მიტინი მ., სამხარაძე ი., ცხვედიაშვილი გ., ჩარგაზია ხ., ხურციძე გ.

### რეზიუმე

მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორი „METEOR 735CDP10“, რომელიც გამოიყენება კახეთში სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოებში, საშუალებას იძლევა ვაწარმოთ ეფექტური მიმოხილვითი დაკვირვება 400 კილომეტრ რადიუსში საღრუბლო მასების გადაადგილებაზე (PPI და CAPPI პროდუქტები), ხოლო 200 კილომეტრ რადიუსში ვაწარმოთ ზოგადი დაკვირვება ღრუბლების განვითარებასა და გადაადგილებაზე (აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორია, სომხეთის, აზერბაიჯანის, დაღესტანის, ჩეჩნეთის, ინგუშეთისა და ჩრდილო ოსეთის ტერიტორიების მნიშვნელოვანი ნაწილი). სამუშაო მანძილი მაღალი გარჩევადობით სეტყვის პროცესებზე დაკვირვებისათვის და ამ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ოპერაციების რადიოლოკაციური უზრუნველყოფა 100 – 120 კილომეტრია. მოყვანილია ხსენებულ რადიუსში ამ დაკვირვებების ჩასატარებლად რადიოლოკატორის შესაძლებლობების მოკლე აღწერილობა (20-ზე მეტი პროდუქტი). აღინიშნება, რომ სკანირების უფრო დეტალური სურათების და უფრო მკაფიო ვიზუალური ინფორმაციის მიღების მიზნით ტარდება პრაქტიკული სამუშაოები რადარული დაკვირვებების გარჩევადობის გაუმჯობესებისათვის. ტარდება სამუშაოები სეტყვასაშიმ სიტუაციებში რეაგირების სიჩქარის გაზრდის მიზნით რადარის სკანირების პროდუქტების სრულყოფილად გამოსაყენებლად. ცალკე ტარდება სამეცნიერო სამუშაოები რადარის აღმოსავლეთ საქართველოს და მეზობელი ქვეყნების მიმდებარე ტერიტორიებზე სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების და საშიში მეტეოროლოგიური პროცესების მონიტორინგის საკითხებისათვის ფუნქციონირების გასაუმჯობესებლად.

### PRODUCTS OF METEOROLOGICAL RADAR «METEOR 735CDP10»

**Avlokhavili Kh., Banetashvili V., Gelovani G., Javakhishvili N., Kaishauri M., Mitin M., Samkharadze I., Tskhvediasvili G., Chargazia Kh., Khurtsidze G.**

### Abstract

The radar «METEOR 735CDP10», utilized in the work on the fight with the hail in Kakheti, makes it possible to conduct effective survey tracking of the movement of cloud masses in a radius to 400 km (products PPI and CAPPI), general observations of development and movement of clouds in a radius to 200 km (territory of eastern Georgia, the significant parts of the territories of Armenia, Azerbaijan, Daghestan, Chechen, Ingusheti, northern Oseti). Distance for the observations of the hail processes with the high resolution is working and radar of the support of operations of active actions on these processes - to 100-120 km is represented the brief description of the possibilities of radar for conducting these observations in the radius indicated (more than 20 products). It is noted that the practical work on an improvement in the permission of radar observations for the purpose of obtaining the more detailed pictures of scanning and clearer visual information is conducted. Work on the



improvement of the application of products of scanning radar for the purpose of an increase in speed of response by the hail-dangerous situations is conducted. Separately, scientific work for an improvement in the functioning of radar in connection with works on the fight with the hail and monitoring of dangerous meteorological processes is led in the territory of eastern Georgia and adjacent to it above-indicated territories of the adjacent countries.

## **ПРОДУКТЫ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО РАДИОЛОКАТОРА «METEOR 735CDP10»**

**Авлохашвили Х.В., Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Джавахишвили Н.Р.,  
Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Самхарадзе И.Н., Цхведиашвили Г.Н., Чаргазия  
Х.З., Хурцидзе Г.Т.**

### **Реферат**

Радиолокатор «METEOR 735CDP10», используемый в работе по борьбе с градом в Кахетии, позволяет вести эффективное обзорное слежение за перемещением облачных масс в радиусе до 400 км (продукты PPI и CAPPI), общие наблюдения за развитием и перемещением облаков в радиусе до 200 км (территория Восточной Грузии, значительные части территорий Армении, Азербайджана, Дагестана, Чечни, Ингушетии, Северной Осетии). Рабочее расстояние для наблюдений за градовыми процессами с высоким разрешением и радиолокационное обеспечение операций активных воздействий на эти процессы – до 100-120 км. Представлено краткое описание возможностей радиолокатора для проведения этих наблюдений в указанном радиусе (более 20 продуктов). Отмечается, что проводятся практические работы по улучшению разрешения радарных наблюдений с целью получения более детальных картин сканирования и более четкой визуальной информации. Проводятся работы по совершенствованию применения продуктов сканирования радара с целью увеличения скорости реагирования на градоопасные ситуации. Отдельно ведется научная работа для улучшения функционирования радара применительно к работам по борьбе с градом и мониторингу опасных метеорологических процессов на территории Восточной Грузии и прилегающих к ней указанных выше территорий соседних стран.

## НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАХЕТИИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2015 ГОДУ

<sup>1,2</sup>Банеташвили В.Г., <sup>2</sup>Гребенцова А.В., <sup>1,2</sup>Джавахишвили Н. Р.,  
<sup>2</sup>Джамришвили Н.К., <sup>2</sup>Кайшаури М.Н., <sup>1,2</sup>Митин М.Н., <sup>2</sup>Сагинашвили Н.М.,  
<sup>1,2</sup>Хурцидзе Г.Т., <sup>2</sup>Церетели А.Г., <sup>1,2</sup>Чаргазия Х.З., <sup>2</sup>Чхаидзе Б.Д.

<sup>1</sup> Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, banetashvili@yahoo.com  
<sup>2</sup> Научно-технический центр «Дельта», makakatab@gmail.com

Метеорологические радиолокаторы широко используются для наблюдения, распознавания и обработки градовых и градоопасных облаков. Основными характеризующими параметрами таких облаков являются: отражаемость радиоэха, высота облаков, высота максимальной отражаемости, вероятность града, размер градин, водность облаков, количество осадков и т. п. [1,2].

Продукты метеорологического радиолокатора **METEOR 735 CDP 10 - Doppler Weather Radar**, установленного в селе Чотори Сигнахского муниципалитета Кахетинского региона Грузии, довольно многообразные в использовании [3,4]. Все продукты радиолокатора работают со своими алгоритмами. Оптимальной дальностью действия локатора при противоградовых работах является 100-120 км по радиусу от его местоположения [5-7].

Ниже приведены примеры продуктов указанного радиолокатора для отдельных дней с градовыми процессами в Кахетии в 2015 году.

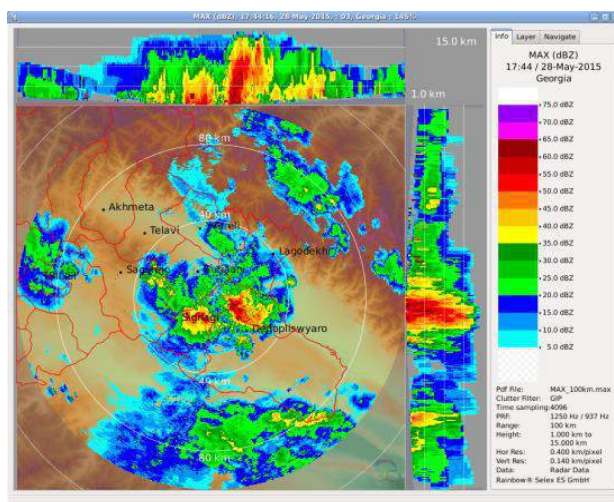


Рис. 1  
Пример MAX (dBZ) продукта 28 мая 2015 г.

На рис. 1 представлен продукт **MAX dBZ** градового процесса 28 мая 2015 г. в 17:44 час., который представляет собой горизонтальный разрез облаков в радиусе до 100 км от метеорологического радиолокатора и два суммарных взаимоперпендикулярных разреза по зонам максимальной отражаемости. Продукт показывает общую картину распределения облачности, в центральной части которой изображена их горизонтальная радиолокационная структура по максимальной отражаемости, а по бокам (сверху и справа) – вертикальные разрезы облаков. Пересечение двух проекций даёт картину зон максимальной отражаемости в зоне действия радара. Эта картина даёт возможность оперативно определять опасные зоны, наметить очередность их анализа, а затем, на основе полученной информации, проводить первоочередную обработку наиболее опасных градовых очагов.

Атмосферный фронт 28 мая 2015 г., который зашел с северо-запада и вызвал формирование и развитие градоопасных и градовых облаков, переместился в юго-восточном направлении (рис. 1). Максимальная высота облака достигала 17 км от уровня моря, а радиолокационная отражаемость – **65.0 dBZ**. Наибольшая высота зоны максимальной отражаемости конвективной ячейки – 8 км. Облако относилось к 4-ой категории многоячейкового неупорядоченного градового процесса. На указанном рисунке приведены данные измерений над Сигнагским и Дедоплицкаркойским районами.

На рис. 2 представлен вертикальный разрез облака того же продукта, где показана высота облака до 14 км и площадь максимальной отражаемости конвективной ячейки, а также высота ячейки 10-12 км до отражаемости 45 dBZ, которая меняется по стадиям развития облака и тенденциям.

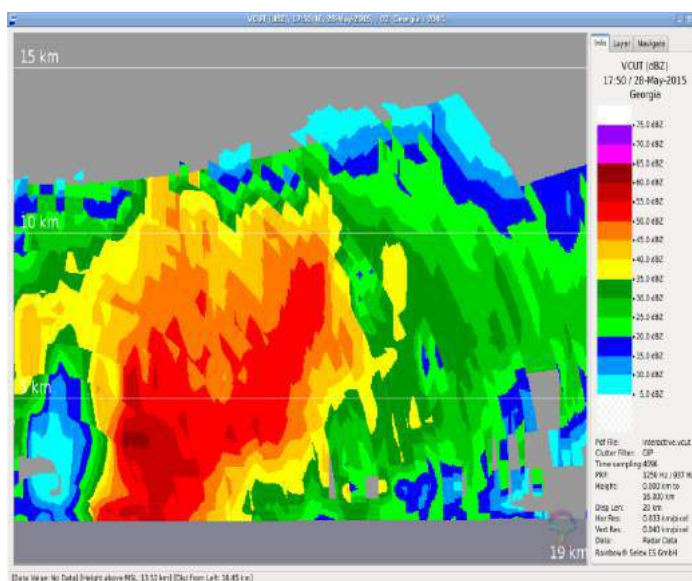


Рис. 2  
**MAX (dBZ) VCUT** продукт 28 мая 2015 г.

Для наглядности на рис. 3 представлен в **3D** формате продукт **MAX dBZ**, который показывает пространственную картину процесса 13 июня 2015 г, определяет высоту облаков и всех остальных вышеприведенных параметров.

Процесс 28-го мая, показанный нами на рис. 1, можно представить и в виде продукта **ZHAIL (Prob)**. Эта картина показана на рис. 4. Отличительная особенность – продукт показывает вероятность выпадения града от **≤20 % до ≥80 %** и при этом даёт сигнал тревоги, предупреждающий оператора о реальной опасности; здесь также выведена информация о высоте нулевой изотермы, которая используется для определения категории градоопасности; ее можно изменять по мере получения новых данных.

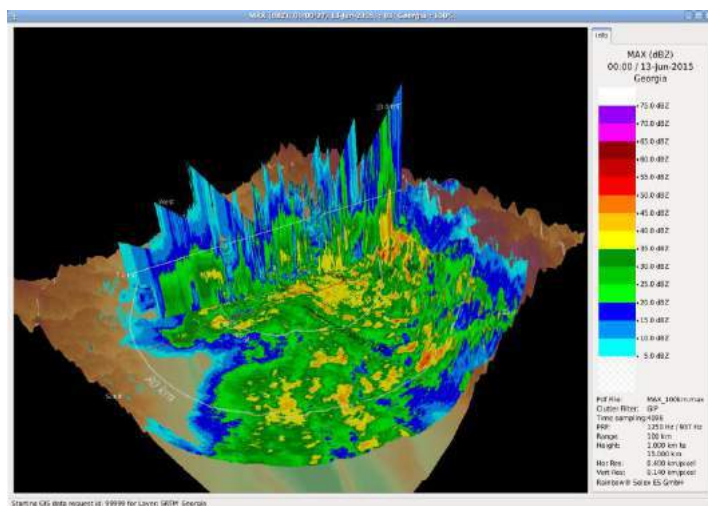


Рис. 3  
**MAX (dBZ) 3D** продукт 13 июня 2015 г.

В рассмотренном примере максимальная вероятность выпадения града в Кахетинском регионе (районы Сигнаги и Дедоплисцкаро) 28 мая 2015 г. в 17:50 час. в сформировавшихся градовых ячейках была 80%, а высота нулевой изотермы около 4.0 км.

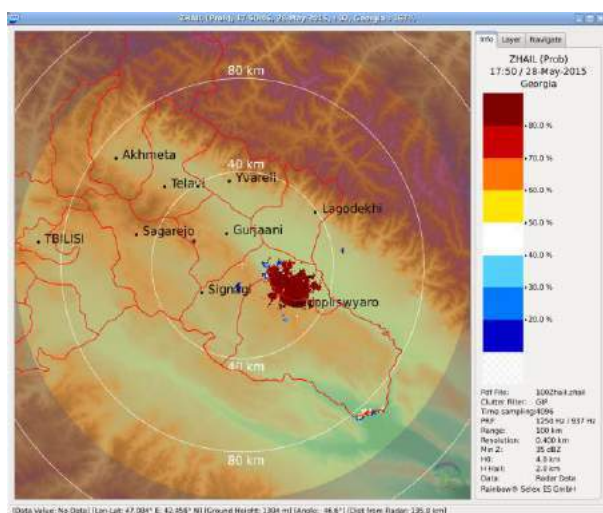


Рис. 4  
**ZHAIL (Prob)** продукт 28 мая 2015 г.

Одним из важных параметров градоопасных облаков является определение размера градин в облаках. На рис. 5 показан продукт **HAILSZ (Size)**, который определяет размер градин в облаках от  $\leq 5.0$  мм до  $\geq 30.0$  мм и дает сигнал тревоги, также показана высота нулевой изотермы, которая используется для определения категории градоопасности. Ее можно изменять по мере получения новой информации.

Как представлено на этом рисунке, для того же периода измерений показано формирование градоопасных облаков и одновременно с их развитием, увеличение размеров градин в определенный промежуток времени. Видно, что максимальный размер градин в облаках в Кахетинском регионе (граница Сигнагского и Дедоплисцкаройского районов) в 17:50 час. 28 мая 2015 года достиг диаметра до 30 мм, а высота нулевой изотермы была 3.97 км.

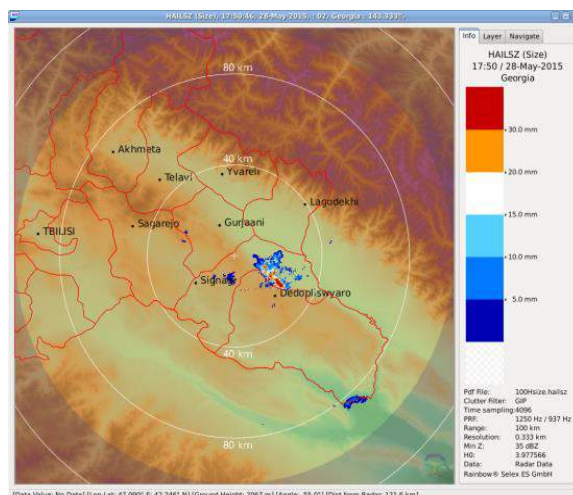


Рис. 5  
**HAILSZ (Size)** продукт 28 мая 2015 г.

Следующим значительным параметром для характеристики градовых и градоопасных облаков является водность облаков и интенсивность выпадения осадков, пример которого показан на рис. 6 и представлен в продукте алгоритма **DPSRI (dBR)**. Здесь дана картина фактической интенсивности осадков в диапазоне от 0.1 мм/ч до  $\geq 100.0$  мм/ч при процессе 28 мая 2015 г. в 17:37 час. Как видно из этого рисунка, максимальная интенсивность осадков в облаках в этот период отмечалась в Сигнагском районе и была в пределах от 50.0 мм/ч до 100.0 мм/ч.

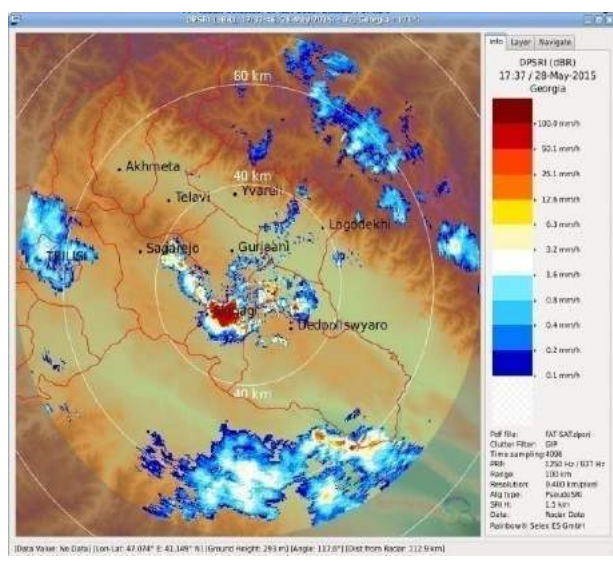


Рис. 6  
**DPSRI (dBR)** продукт 28 мая 2015 г.

Пример для определения ожидаемого количество осадков в облаках представлен на рис.7 и дан в прогностическом продукте **РАС (dBA)**, который определяет, какое количество осадков ожидается из облака в течение последующего 1 часа в диапазоне от 0.1 мм до  $\geq 100.0$  мм. Продукт также описывает процесс аккумуляции (накопления) влаги в облаке и ее изменения в определенный промежуток времени. На этой картине видно, что 28 мая 2015 г. в течение последующего 1 часа после 17:37 часов в районе Сигнахи Кахетинского региона из облаков может выпасть максимальное количество осадков в пределах от 25.1 мм до 50.1 мм.

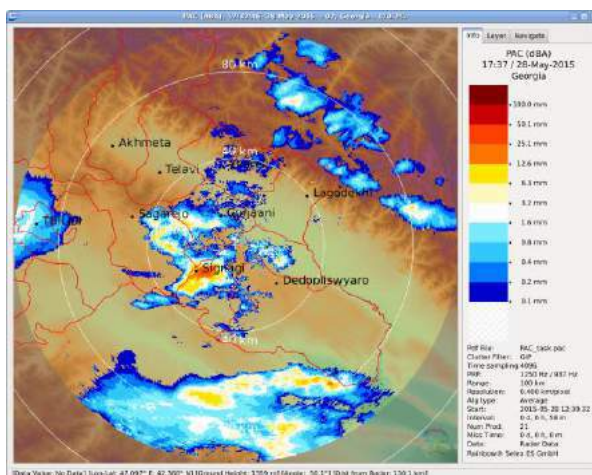


Рис. 7  
**PAC (dBZ)** продукт 28 мая 2015 г.

Важным показателем для характеристики градовых процессов является скорость и направление ветра. Например, на рис. 8 по данным продукта **HWIND (V)** показано горизонтальное распределение воздушных потоков (скорость и направление ветра) на высоте 2.0 км от уровня моря 13 июня 2015 г. в 21:24 час. Из этого рисунка следует, что в 100-километровой зоне от радиолокатора скорость ветра изменяется от 3 до 25 м/сек, направление – переменчивое. В частности, в районе Ахмета отмечался восточный ветер с максимальной скоростью до 23-25 м/сек; в Дедоплискар, Сигнаги, Кварели и Телави – юго-восточный - 15-17 м/сек; в Сагареджо, Гурджаани и Лагодехи – слабее, до 15 м/сек южного и юго-восточного направлений. К западу от Кахетии, в Тбилиси и его окрестностях, ветер переменного направления со скоростью до 15-20 м/сек.

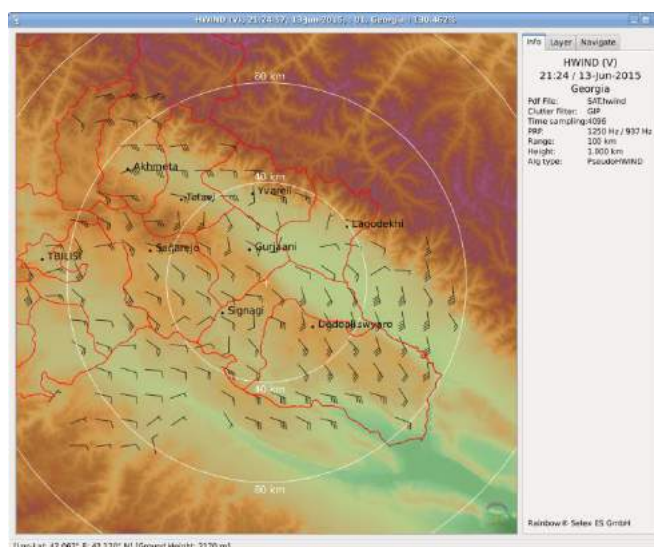


Рис. 8  
**HWIND (V)** продукт 13 июня 2015 г.

На рис. 9 показано вертикальное распределение потоков воздушных масс (скорость и направление ветра) в Кахетинском регионе 21 августа 2015г. в 02:38 час., которое генерируется продуктом **VVP(V)** для интервала высот от 1.00 км до 7.00 км в течение заданного времени в пределах 25 км от местоположения радара.

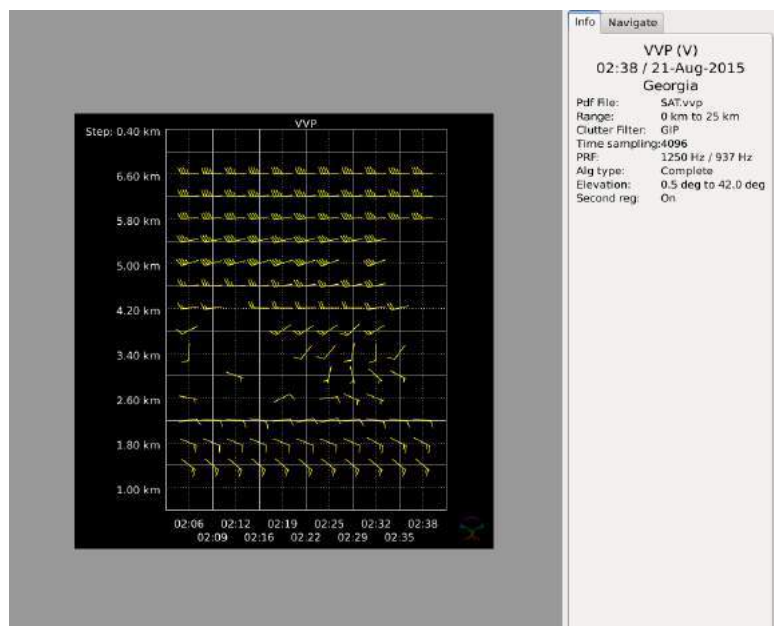


Рис. 9  
VVP (V) продукт 21 августа 2015 г.

Продукт позволяет также с определенной вероятностью прогнозировать шторм. Например, из рис. 9 следует, для всех времен измерения ветер фиксируется практически на всех уровнях в указанном выше диапазоне высот и скорость его изменяется от 2-3 до 20 м/сек, направление – переменчивое. В частности, на высотах от 1.5 до 3 км наблюдается ветер восточного и юго-восточного направлений с максимальной скоростью до 7-8 м/сек. В слое от 3.0 до 4.5 км направление ветра меняется, а скорость растет до 10-15 м/сек. Минимальная скорость ветра фиксировалась в диапазоне высот 2.60-3.40 км (3-5 м/сек). В слое высот от 4.5 до 6.60 км направление ветра резко меняется, направление (становится западным) и его скорость достигает 20 м/сек.

Как нами было замечено, при таких ситуациях следует ожидать штормовые явления. Количественные оценки прогнозирования шторма будут сделаны позднее по мере накопления новых данных.

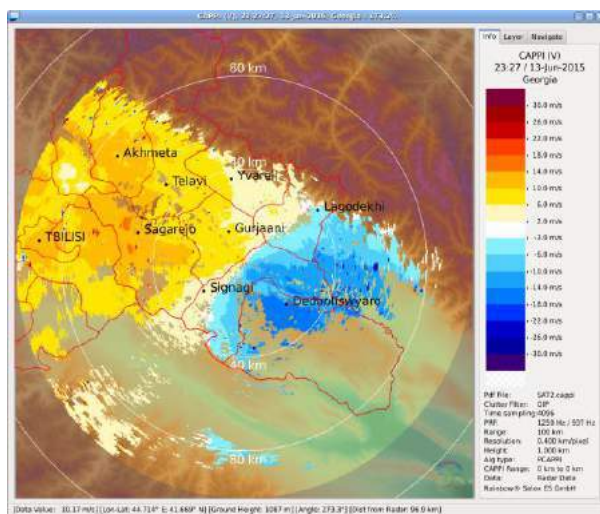


Рис. 10  
CAPPI (V) продукт 13 июня 2015 г

Еще одним из важных параметров радиолокационных наблюдений за градовыми процессами, генерируемым продуктом **SARPI(V)**, является определение направления и скорости ветра в облаке в диапазоне от  $\leq -30.0$  м/сек до  $\geq 30.0$  м/сек (отрицательными значениями считаются направления к локатору, а положительными – от радара к периферии). Пример этого продукта показан на рис. 10. Как следует из этого рисунка в Кахетинском регионе 13 июня 2015 г. в 23:27 час. в облаке скорость ветра менялась от -18 м/сек до 22 м/сек, направление – с юго-востока на северо-запад. Минимальная скорость ветра в облаке была в районе Дедоплисцкаро -18 м/сек, а максимальная - в Сагареджо, 22 м/сек.

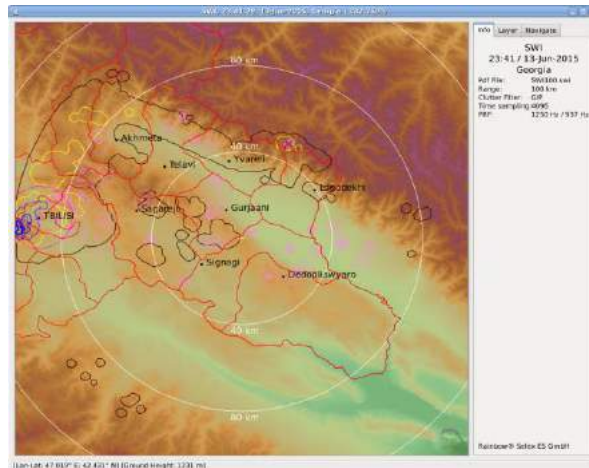


Рис. 11  
**SWI** продукт 13 июня 2015 г.

При наблюдении за погодными явлениями и их прогнозом важную информацию можно получить по средством продукта **CTR**.

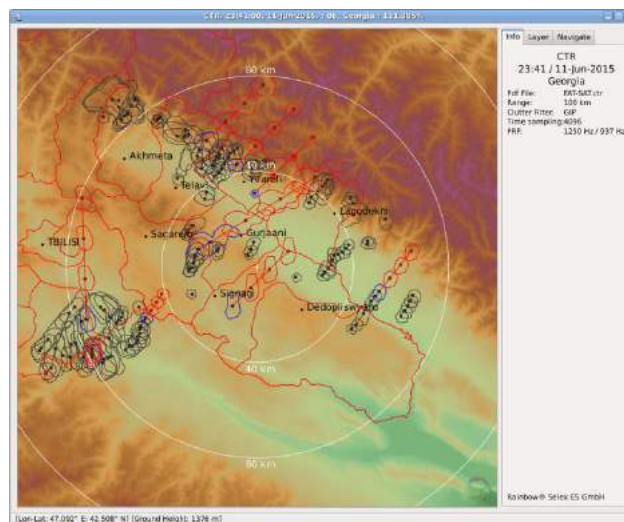


Рис. 12  
**CTR** продукт 11 июня 2015 г. в 23:41 ч.

При наблюдении за градовыми и градоопасными облаками значительную роль играют такие параметры, как: конвергенция и дивергенция, восходящие и нисходящие потоки воздушных масс, фронтальные и внутримассовые типы погоды, штормовые явления, циклоны и т.п. Совокупность некоторых элементов погоды показана на рис. 11 по данным продукта **SWI**, который дает информацию об указанных выше параметрах. На рис. 11 представлена



ინფორმაცია ო კონვერგენციის, დივერგენციის და გადაადგილების ჰაერის მასებისა და ნალექებისა და ა.შ.)

Для примера, на рис. 12 представлена прогностическая картина скорости и направления перемещения конвективных ячеек с упреждением до 30 минут (синий цвет – момент измерения в 23:41 час., черный цвет - до момента измерения, красный цвет – прогноз). Штормовые явления перемещаются с юго-запада на северо-восток с большой скоростью.

## ლიტერატურა

1. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Бареева М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
2. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саური 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.
3. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghloni 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, 2015, pp. 92-106.
4. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Кайшаური М.Н., Квеселава Н.С., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саური 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.
5. Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кириа Дж.К., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саური И.П., Телия Ш.О., Хеташвили А.А., Цхведиашвили Г.Н., Чихладзе В.А. Радиолокационное обеспечение противоградовой службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
6. Авлохашвили Х.В., Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Джавахишвили Н.Р., Кайшаური М.Н., Митин М.Н., Самхарадзе И.Н., Цхведиашвили Г.Н., Чаргазия Х.З., Хурцидзе Г.Т. Продукты метеорологического радиолокатора «METEOR 735CDP10». Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 60-65.
7. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., www.gematronik.com

**კახეთში სეტყვის პროცესების ზოგიერთი მაგალითი 2015 წელს რადიოლოკაციური დაკვირვებების მიხედვით**

**ბანეთაშვილი ვ., გრებენცოვა ა., ჯავახიშვილი ნ., ჯამრიშვილი ნ., კაიშაური მ.,  
მიტინი მ., საგინაშვილი ნ., ხურციძე გ., წერეთელი ა., ჩარგაზია ხ., ჩხაიძე ბ.**

## რეზიუმე

მოყვანილია „METEOR 735 CDP 10 - Doppler Weather Radar“ რადიოლოკატორის პროდუქტების მაგალითები კახეთში 2015 წელს სეტყვიანი პროცესების ცალკეული დღეებისთვის (სეტყვის მოსვლის ალბათობა, სეტყვის მარცვლების ზომები, ჰაერის მასების ნაკადების ვერტიკალური განაწილება, ღრუბლის წყლიანობა, ღრუბლის გადაადგილების პროგნოზი და ა.შ.).

## **SOME EXAMPLES OF HAIL PROCESSES IN KAKHETI ACCORDING TO THE DATA OF RADAR SURVEILLANCE IN 2015**

**Banetashvili V., Grebentsova A., Javakhishvili N., Jamrishvili N., Kaishauri M., Mitin M., Saginashvili N., Khurtsidze G., Tsereteli A., Chargazia Kh., Chkhaidze B.**

### **Abstract**

Examples of the products of radar «METEOR 735 CDP 10 - Doppler Weather Radar» for the separate days with the hail processes in Kakheti in 2015 (probability of hailstorm, hail dimensions, vertical flow distribution of air masses, water content of clouds, forecast of the movement of clouds, etc.) are given.

## **НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В КАХЕТИИ ПО ДАННЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В 2015 ГОДУ**

**Банеташвили В.Г., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. Р., Джамришвили Н.К., Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Хурцидзе Г.Т., Церетели А.Г., Чаргазия Х.З., Чхаидзе Б.Д.**

### **Реферат**

Приведены примеры продуктов радиолокатора «METEOR 735 CDP 10 - Doppler Weather Radar» для отдельных дней с градовыми процессами в Кахетии в 2015 году (вероятность выпадения града, размеры града, вертикальное распределение потоков воздушных масс, водность облака, прогноз перемещения облака и др.).

## НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ СИЛЬНЫХ ЛИВНЕЙ В ВОСТОЧНОЙ ГРУЗИИ ПО ДАНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 2015 ГОДА

<sup>1,2</sup>Банеташвили В.Г., <sup>2</sup>Геловани Г.Т., <sup>2</sup>Гребенцова А.В., <sup>1,2</sup>Джавахишвили Н. Р.,  
<sup>2</sup>Иобадзе К.В., <sup>1,2</sup>Митин М.Н., <sup>2</sup>Сагинашвили Н.М., <sup>3</sup>Самхарадзе И.Н.,  
<sup>1,2</sup>Хурцидзе Г.Т., <sup>2</sup>Церетели А.Г., <sup>1,2</sup>Цхведиашвили Г.Н., <sup>2</sup>Чхаидзе Б.Д.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, javakhishvilinodari@gmail.com  
<sup>2</sup>Научно-технический центр «Дельта», makakama6@gmail.com  
<sup>3</sup>Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили

Грузия - маленькая горная страна с 15 климатическими зонами, на территории которых время от времени происходят различного вида геофизические катастрофы (засухи, ураганы, молнии, градобития, морозы, туманы, заморозки, оползни, сели, снежные лавины, внезапные наводнения, землетрясения) [1-4]. Поэтому изучению опасных геофизических явлений в Грузии всегда уделялось и уделяется особое внимание. В последние годы особое внимание уделялось работам по оценке рисков и мультирисков природных катастроф, в том числе и гидрометеорологических (грозы, град, туманы, лавины, заморозки, наводнения, штормовой ветер и др.). Проведено подробное районирование территории Грузии по степени гидрометеорологической опасности, экономическому ущербу и др. [1-4].

Значительное количество катастроф (наводнения, паводки, затопления) связано с таянием снегов, а также затяжными или сильными (обычно в теплое полугодие) атмосферными осадками. С сильными снегопадами и ливнями связаны снежные лавины, сели, оползни. Так, в Грузии в 2011-2014 гг. в среднем в год наблюдалось 14 наводнений, паводков и затоплений; 9 лавин и лавиноопасных ситуаций; более 370 оползней; 90 селей [5].

В связи с указанным, как в ранний период времени, так и в настоящее время, значительное количество работ посвящено исследованию пространственно-временных характеристик атмосферных осадков на территории Грузии, их изменчивости в связи с изменением климата, а также прогнозированию этой изменчивости [6-9].

Учитывая, что в Восточной Грузии, особенно во второй половине лета, зачастую наблюдаются засухи, в советский период времени здесь проводились научные и производственные работы по искусственному перераспределению и увеличению осадков [10,11]. В этот период времени в Грузии располагалось около 400 метеорологических станций и постов для измерения осадков, проводились радиолокационные исследования облаков на предмет выявления их водозапаса [10]. После распада Советского Союза эти работы были прекращены, количество метеорологических станций и постов резко сократилось, и в настоящее время не превышает нескольких десятков.

Учитывая, что корреляционные связи между количеством осадков (особенно из конвективных облаков) достаточно слабые [6], важное значение имеет подробное изучение пространственно-временных характеристик полей осадков по данным радиолокационных наблюдений [11]. Для этого необходима информация о соотношениях интенсивности осадков  $I$  (по данным осадкомеров, расположенных на земной поверхности) и радиолокационной отражаемости облаков  $Z$ . Эти соотношения имеют региональный характер, а также зависят от типа облачности.

Подробные исследования в этом плане были проведены в Институте геофизики им. М. Нодиа и Институте гидрометеорологии Грузии [12-19]. В частности, были определены  $Z - I$

эмпирического соотношения для отдельных грозových, одноячейковых, мультячейковых и суперячейковых конвективных облаков [13,14,16,17]. К сожалению, карты полей осадкой по данным радиолокационных наблюдений построены не были.

В настоящее время в Грузии (для начала в Кахетинском регионе) восстановлены работы по защите сельскохозяйственных культур от градобитий [20,21]. Противорадовая служба оснащена современным метеорологическим радиолокатором **METEOR 735 CDP 10 - Doppler Weather Radar**, который установлен в селе Чотори Сигнахского муниципалитета Кахетинского региона Грузии [22,23]. Продукты радиолокатора довольно многообразны [24,25]. Для противорадовых работ оптимальный радиус действия радиолокатора составляет 100-120 км. Для мониторинга интенсивности осадков – 200 км (расстояние, практически покрывающее территорию Восточной Грузии и значительные части территорий Армении, Азербайджана, Северного Кавказа).

Ниже приведены некоторые примеры радиолокационных наблюдений для отдельных дней с сильными осадками в Восточной Грузии в 2015 году.

На рис. 1 представлены данные радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков над городом Гори 6 июня 2015 г. в 22:35 и 22:59 час. В этот день наблюдался западный процесс.

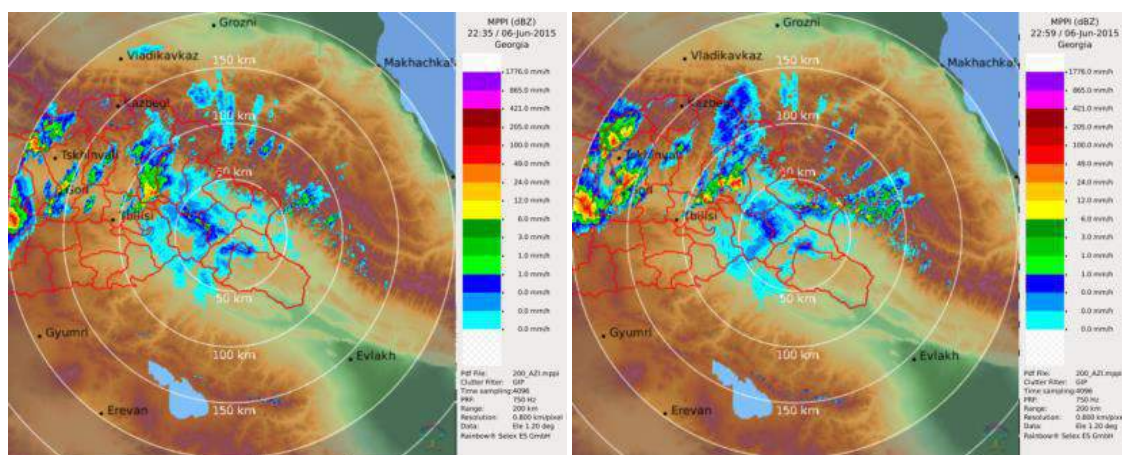


Рис. 1

Радиолокационная картина интенсивности осадков в Гори 6 июня 2015 г.

Судя по радиолокационным картинкам, интенсивность осадков в Горийском муниципалитете достигала 100 мм/час. Осадки привели к наводнению. В ночь на 7 июня 2015 г. в результате четырехчасового интенсивного дождя в Горийском муниципалитете полностью затопило более 20 сел. На 100% были уничтожены сельскохозяйственные угодия в населенных пунктах Олози, Цедиси и Бнависи в Атенском ущелье. Грязе-каменные потоки с гор перекрыли сельские дороги. Была затоплена территория поселения беженцев в Шавшвеби. Селевые потоки с гор затопили несколько жилых домов в деревне Ахалдаба. В деревне Скра вышедшая из берегов река Скра нарушила водоснабжение села питьевой водой.

Через пять дней, 11 июня, в результате проливных дождей, вышедшие из берегов воды рек в Атенском ущелье затопили в деревнях жилые дома, дороги, приусадебные участки (дождь продолжался около 40 минут). Погибла домашняя птица и мелкий рогатый скот, несколько домов сорвало с фундамента и унесло. Был уничтожен урожай фруктов и винограда, вода снесла посевы. Селевые потоки в некоторых местах затопили дороги. Были повреждены мосты. За последнюю неделю Атенское ущелье уже второй раз подверглось градобитию.

Данные радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков над городом Гори 11 июня 2015 г. в 18:04 и 19:42 час. представлены на рис. 2. Как и в предыдущем случае, и в этот день наблюдался западный процесс. Интенсивность осадков достигала 100 мм/час.

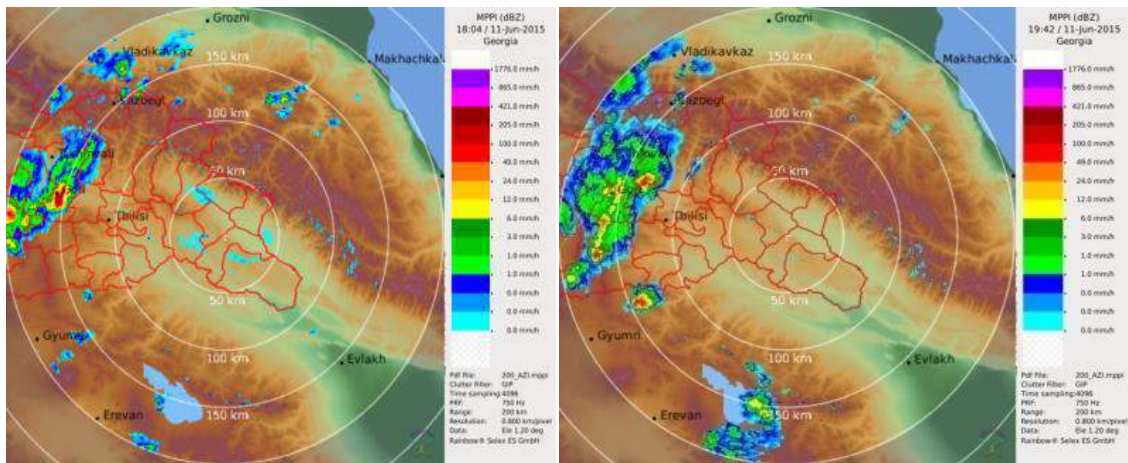
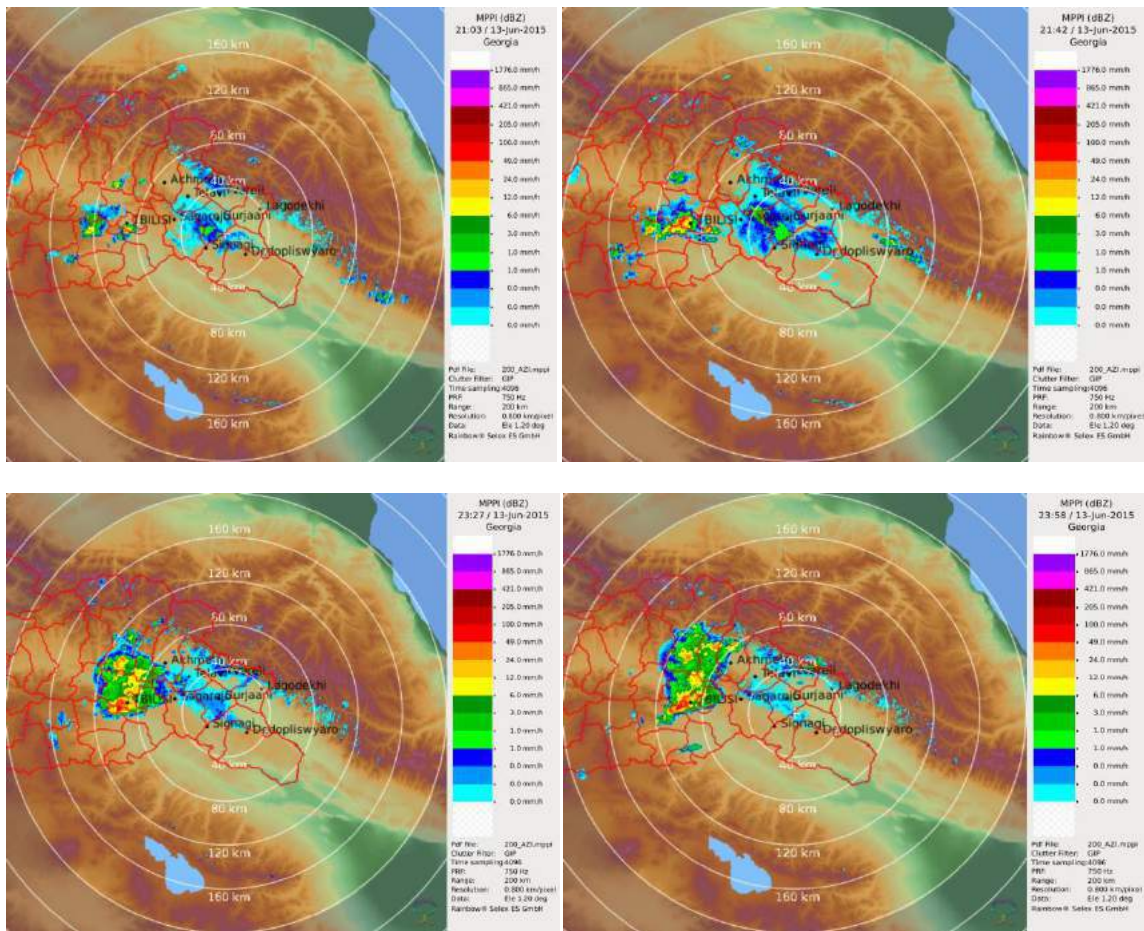


Рис. 2

Радиолокационная картина интенсивности осадков в Гори 11 июня 2015 г.

Катастрофическое наводнение в Тбилиси в ночь с 13 на 14 июня 2015 г. - стихийное бедствие, вызванное обильными дождями в столице Грузии в ночь с 13 на 14 июня и выходом из берегов реки Вере. Процесс был внутримассовым.



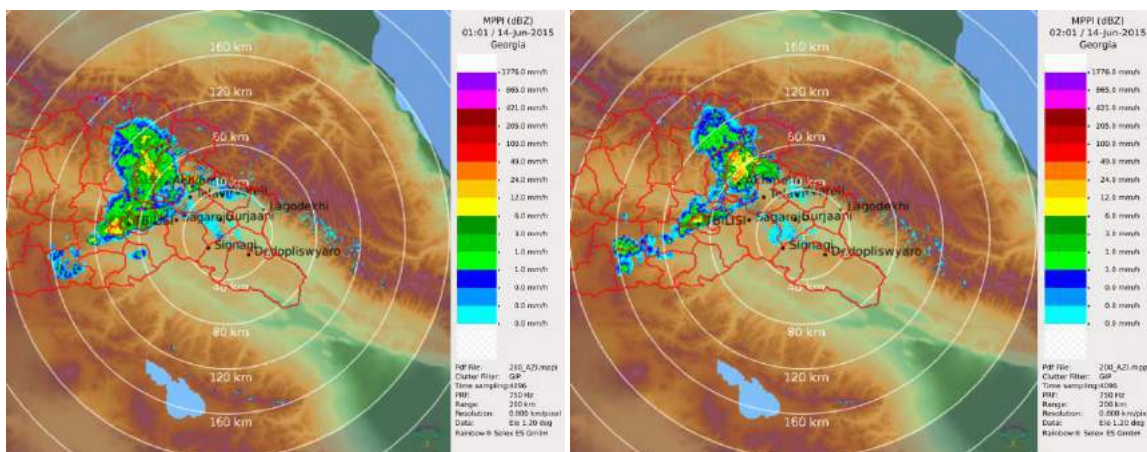


Рис. 3

Радиолокационная картина интенсивности осадков в Тбилиси 13-14 июня 2015 г.

Данные радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков над Тбилиси 13-14 июня 2015 г. в 21:03, 21:42, 23:27, 23:58, 01:01 и 02:01 час. представлены на рис. 3. Как следует из этого рисунка, дождевое облако почти пять часов находилось в одном и том же месте. Интенсивность осадков в отдельные моменты времени находилась в диапазоне 100-200 мм/час.

В результате наводнения были затоплены жилые дома и здания, повреждены дороги, инфраструктура, из зоопарка сбежали десятки хищных зверей. Около половины обитателей зоопарка погибли. Самой сложной оказалась ситуация в районе трассы Ваке — Сабуртало, где были затоплены частные жилые постройки. Спасателями были приняты меры для нейтрализации хищников, разгуливающих по городу, и их возвращению в вольеры. Также пострадал расположенный неподалёку приют для собак, в котором погибло большинство из 450 обитателей. Осадки и оползень разрушили несколько сотен метров участка дороги Цхнети-Бетания, который до сих пор не удалось восстановить. Совокупный ущерб составил 200 млн. лари. Пострадало около 450 жителей города, погибло 19 человек ([https://ru.wikipedia.org/wiki/Наводнение\\_в\\_Тбилиси](https://ru.wikipedia.org/wiki/Наводнение_в_Тбилиси)).

На рис. 4 представлены в качестве иллюстрации фотографии отдельных районов города Тбилиси 13-14 июня 2015 года (<https://yandex.ru/images/search?p=2&text=наводнение%20в%20тбилиси%202015%20фото&noreask=1&lr=10277>).





Рис. 4  
Наводнение в Тбилиси 13-14 июня 2015 г.

Наконец, на рис. 5 представлены данные радиолокационных наблюдений за интенсивностью осадков в районе Марнеули 20 июня 2015 г. в 18:19, 18:36, 18:50 и 19:15 час. В этот день был западный процесс. Интенсивность осадков в отдельных местах превышала 100 мм/час.

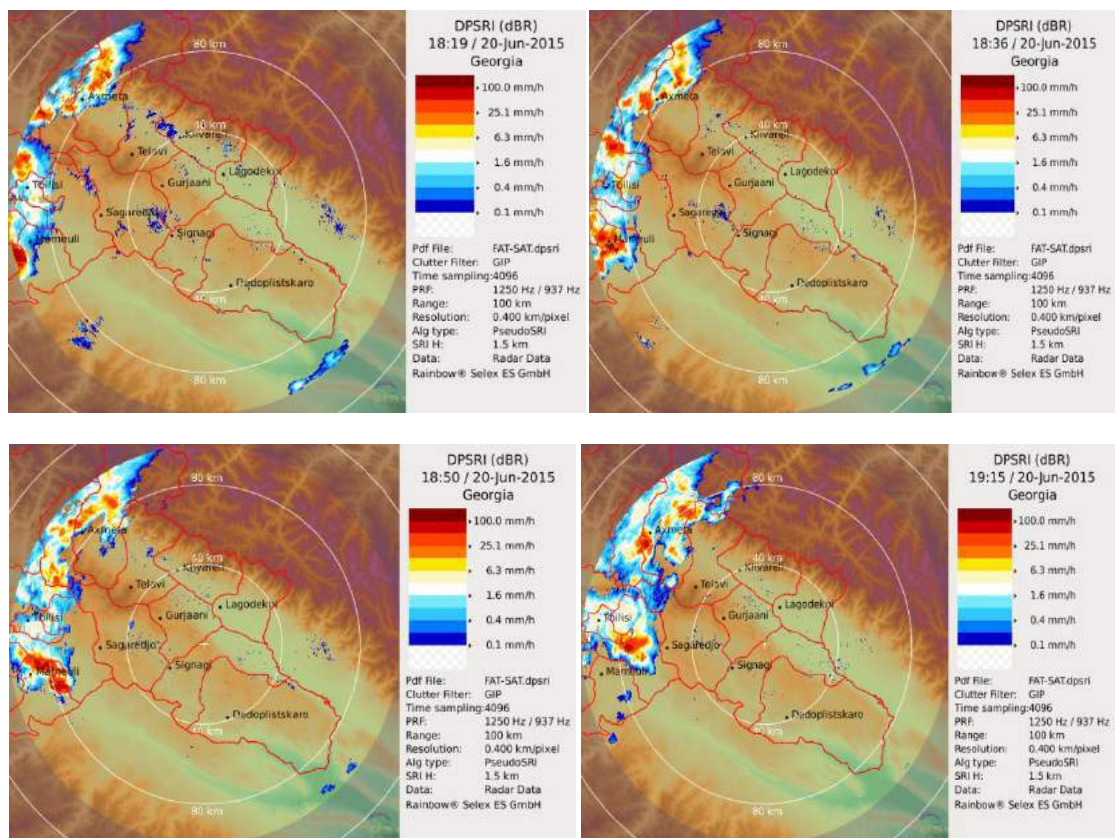


Рис. 5

Радиолокационная картина интенсивности осадков в районе Марнеули 20 июня 2015 г.

В этот день, вечером в 20 час. население города Марнеули пострадало из-за сильного града, дождя и ветра. На улице Руставели сорвало крыши с нескольких жилых домов; ливень и сильный ветер продолжался более 20 минут. В некоторых деревнях были повреждены и

уничтожены виноградники, сады и сельскохозяйственные посевы. Была прервана подача электроэнергии, которая в Марнеули была восстановлена к 21 час., а в во всех остальных пунктах – к часу ночи следующего дня. Наибольший ущерб был в селе Церетели, где пострадало 19 домов. На автомагистрали Кода-Парцхиси-Манглиси-Цалка-Ниноцминда движение было ограничено из-за оползня, который повредил левую полосу трассы.

В дальнейшем, с целью повышения точности радиолокационных измерений интенсивности осадков в реальном масштабе времени, предполагается разместить в исследуемом регионе сеть автоматических осадкомеров, дистанционно сопряженных с радиолокационной станцией. Предполагается также провести детальное исследование связи интенсивности осадков по данным радиолокационных измерений с катастрофическими процессами (наводнения, оползни, сели, лавины), происходящими у земной поверхности. В перспективе это позволит построить модель связи радиолокационных параметров с указанными явлениями, что даст возможность проводить заблаговременное (несколько десятков минут) предупреждение населения и соответствующих органов о предстоящих опасных гидрометеорологических процессах. По мере накопления экспериментальных данных появится возможность детального картирования исследуемой территории по интенсивности выпадения осадков, а также определения водозаписа облаков в различные сезоны года, что весьма важно для возобновления работ по искусственному регулированию осадков.

## Литература

1. 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*, v. 64, Number 3, 2012, pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>
2. Tsereteli N., Varazanashvili O., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Saluqvadze M., Dolidze J. - Multi –Risk Assessment at a National Level in Georgia, *Abstr. of the EGU General Assembly*, Vienna, Austria, 7-12 April, 2013, *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 15, EGU 2013-3176, 2013.
3. 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.
4. 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*, v. 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>
5. გუნცაძე მ., წაქაძე ვ. (რედაქტორი). საქართველოს ბუნებრივი რესურსები და გარემოსდაცვა 2014. სტატისტიკური პუბლიკაცია. საქართველოს სტატისტიკის ეროვნული სამსახური, თბილისი, 2015, გვ. 56-57, [www.geostat.ge](http://www.geostat.ge)
6. 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. 79-92.
7. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Intskirveli L., Kuchava T., Gurgenidze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks. Georgia's Initial National Communication on Under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Project GEO/96/G31, Tbilisi, 1999, 137 p.
8. 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.



9. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L. Expected Change of Average Semi-Annual and Annual Values of Air Temperature and Precipitation in Tbilisi. *Journal of Georgian Geophysical Soc. Iss. (B), Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.
10. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. *Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии*, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
11. Абшаев А.М., Абшаев М.Т, Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противогололедных работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
12. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Капанадзе Н.И., Салуквадзе М.Т., Киладзе Р.И. Исследования Z – I отношений для жидких конвективных атмосферных осадков Кахетинского региона Грузии. *Тр. Института геофизики им. М. Нодиа*, т. LX, Тбилиси, 2008, с. 234 – 236.
13. Киладзе Р.И., Джапаридзе Д.Р., Капанадзе Н.И., Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И. Салуквадзе М.Т. Эмпирическая связь между радиолокационной отражаемостью (Z) и интенсивностью атмосферных осадков (I) мультячейковых конвективных облаков. *Тр. Института геофизики им. М. Нодиа*, т. LXI, Тбилиси, 2009, с. 187 – 190.
14. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Салуквадзе М.Т., Киладзе Р.И., Джапаридзе Д.Р., Капанадзе Н.И. Исследование Z – I эмпирического соотношения для суперячейковых конвективных облаков теплого сезона года Кахетинского региона Грузии. *Тр. Института геофизики им. М. Нодиа*, т. LXI, Тбилиси, 2009, с. 191 – 194.
15. Salukvadze T.G., Khelaia E.I., Salukvadze M.T. Relationship Between a Maximal Radar Reflectivity of Frontal Convective Clouds of Kakheti Region of Georgia From Mean Intensity of Atmospheric Precipitation. *Journ. of the Georgian Geophysical Society, Iss. B., Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma*, vol. 14B, ISSN 1512-1127, Tbilisi, 2010, pp. 158-160.
16. Хелая Э.И., Салуквадзе Т.Г., Салуквадзе М.Т. Исследования Z – I отношения для атмосферных осадков из отдельных грозовых облаков Кахетинского региона Грузии. *Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа*, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с.221 – 224.
17. Салуквадзе Т.Г., Хелая Э.И., Салуквадзе М.Т. Зависимость между максимальной радиолокационной отражаемостью одноячейковых конвективных облаков Кахетинского региона Грузии от средней интенсивности атмосферных осадков. *Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа*, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с.225 – 228.
18. Капанадзе Н.И., Хелая Э.И., Салуквадзе М.Т., Салуквадзе Т.Г. Результаты экспериментальных исследований Z – I отношения для атмосферных осадков различной интенсивности теплого сезона года Восточной Грузии. *Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа*, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с.229 – 233.
19. კაპანაძე ნ., ხელაია ე., სალუქვაძე მ., სალუქვაძე თ. აღმოსავლეთ საქართველოს წლის თბილი პერიოდის სხვადასხვა ინტენსივობის ატმოსფერული ნალექებისათვის Z-I დამოკიდებულების გამოკვლევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტომი 119, ISSN 1512 – 0902, თბილისი, 2013, გვ.136-138.
20. 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*, vol.18B, 2015, pp. 92-106.
21. 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.
22. 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.
23. Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кирия 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.
24. Авлохашвили Х.В., Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Джавахишвили Н.Р., Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Самхарадзе И.Н., Цхведиашвили Г.Н., Чаргазия Х.З., Хурцидзе Г.Т. Продукты метеорологического радиолокатора «METEOR 735CDP10». Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 60-65.
25. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., www.gematronik.com

**აღმოსავლეთ საქართველოში ძლიერი თავსხმა წვიმების ზოგიერთი მაგალითი 2015 წელს რადიოლოკაციური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით**

**ბანეთაშვილი ვ., გელოვანი გ., გრებენცოვა ა., ჯავახიშვილი ნ., იობაძე კ., მიტინი მ., საგინაშვილი ვილი ნ., სამხარაძე ი., ხურციძე გ., წერეთელი ა., ცხვედიაშვილი გ., ჩხაიძე ბ.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია აღმოსავლეთ საქართველოში 2015 წლის რადიოლოკაციური დაკვირვებების ზოგიერთი მაგალითი ცალკეული დღეებისათვის, რომლებიც ძლიერი ნალექებით ხასიათდება. კერძოდ, წარმოდგენილია თბილისში 13 - 14 ივნისის კატასტროფული წყალდიდობის ნალექების ინტენსივობის რადიოლოკაციური სურათები.

**SOME EXAMPLES OF STRONG PRECIPITATION IN EASTERN GEORGIA ACCORDING TO THE DATA OF RADAR SURVEILLANCE OF 2015**

**Banetashvili V., Gelovani G., Grebentsova A., Javakhishvili N., Iobadze K., Mitin M., Saginashvili N., Samkharadze I., Khurtsidze G., Tsereteli A., Tskhvediasvili G., Chkhaidze B.**

**Abstract**

Some examples of radar observations for the separate days with the strong precipitations in eastern Georgia in 2015 are given. In particular, the radar images of precipitation intensity with catastrophic flood of Tbilisi on 13 - 14 June in 2015 are represented.

## **НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ СИЛЬНЫХ ЛИВНЕЙ В ВОСТОЧНОЙ ГРУЗИИ ПО ДАНЫМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ 2015 ГОДА**

**Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. Р.,  
Иобадзе К.В., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Самхарадзе И.Н., Хурцидзе Г.Т.,  
Церетели А.Г., Цхведиашвили Г.Н., Чхаидзе Б.Д.**

### **Реферат**

Приведены некоторые примеры радиолокационных наблюдений для отдельных дней с сильными осадками в Восточной Грузии в 2015 году. В частности, представлены радиолокационные картины интенсивности осадков при катастрофическом наводнении Тбилиси в ночь с 13 на 14 июня 2015 года.

## НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ

Самхарадзе И.Н.

*Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили, inga.samkharadze562@ens.tsu.edu.ge*

В атмосфере Земли на небольшой территории часто происходят аperiodические, неординарные процессы. К указанным явлениям относятся смерчи, местные ветры, образовавшиеся в приземном слое восходящие потоки различного происхождения. Эти явления оказывают большое влияние на погоду и климат, поэтому их изучение имеет большое теоретическое и практическое значение. К примеру, в окрестностях Давид Гареджи наблюдаются особые процессы, в частности, в котловине в течение всего года наблюдается сухая погода без осадков, несмотря на то, что на окружающих котловину возвышенностях могут наблюдаться дожди ливневого характера; высокая температура воздуха, постоянный ветер в направлении к окраинам котловины, приток теплого и прохладного воздуха к горам вокруг котловины и часто образование кучево-дождевых облаков. Исходя из геологической структуры котловины, в нижних слоях воздуха наблюдается высокая температура, что обуславливает усиление восходящих потоков воздуха. Этот поток с высотой увлекается к периферии, имеющей более низкую температуру. Таким образом получается, что увеличение скорости ветра вызывает увеличение градиента давления таким образом, что максимальное значение давления наблюдается внутри котловины. Такая ситуация мешает образованию облаков в котловине и создает благоприятные условия для облаков на окраинах. Естественно, распределение осадков будет соответствующим [1].

Как известно, на территории Грузии в основном преобладают западные и восточные атмосферные процессы. Сурамский хребет оказывает существенное влияние на перемещения атмосферных потоков, вторгшихся на территорию Грузии с запада и востока. Известно, что в пограничном слое атмосферы, почти независимо от вязкости, сопротивления воздушного потока при обтекании частички воздуха двигаются медленнее, чем вне указанного слоя. В определенной ситуации это приводит к возникновению разделительной «поверхности» и вместе с последним, к зарождению урагана. К примеру, на Сурамском нагорье при западном циклоническом вторжении, когда  $\Delta p > 0$ , растет скорость ветра во внутреннем объеме потока и при встрече с хребтом происходит уменьшение скорости и разворот назад. При антициклонном вторжении процесс происходит строго наоборот, и на хребте происходит усиление перетекания. Именно такие результаты наблюдаются в каждодневной практике. Таким же подходом можно объяснить существование местных ветров в горных ущельях и в долинах рек, которые в большом количестве наблюдаются в Грузии. Экспедиционные наблюдения в Душетском районе в долинах рек Цаиши и Арагви показали, что скорость ветра растет до 3-3.5 м/сек с ростом высоты, достигает максимума на высоте 250-300 метров и на определенной высоте меняет направление. Приведенные численные значения зависят от метеорологической ситуации и растут при росте неустойчивости, при росте облачности, при приближении циклона; все это хорошо согласуется с приведенной теорией [1,2].

Таким образом, при встрече препятствия по направлению перемещения потока воздуха имеет место образование завихрений и разворот потока или усиление обтекания согласно

метеорологической ситуации. В вихревом поле ветра давление растёт от оси вращения пропорционально расстоянию, оно максимально на периферии и минимально вдоль оси вращения [1]. Исследование течения потока воздуха в канале малой ширины, частично проводилось нами в том случае, когда дно канала было представлено в виде холмисто-горного рельефа. Такие условия реально существуют во многих местах на территории Грузии, в частности в горных ущельях, в руслах рек, невысоких холмистых территориях и т.д. Установлено, что скорость и мощность потока воздуха зависят от величины показателя рельефа дна и обратно пропорциональны её квадрату. Таким образом, учет влияния в канале рельефа дна уменьшает как скорость потока, так и интенсивность. Исходя из этого, в потоке воздуха (жидкости) местный источник загрязнения (пятно разнообразных примесей) медленно перемещается и период самоочистки увеличится. Расчетные значения скорости ветра будут ближе к реальным, если будем учитывать влияние рельефа дна и кинематический коэффициент турбулентности. Приведенная математическая теория применяется для определения скорости потока воздуха (жидкости) в ущельях рек или в межгорных низменностях и, соответственно, для изучения распространения загрязнений [3].

Изучение распространения потока «возмущенного» воздуха в пространстве и времени имеет большое теоретическое и практическое значение, особенно для горных территорий, ввиду того, что даже незначительные бугорки быстро замедляют скорость движения потока, изменяют его направление и часто даже разворачивают в обратном направлении. В представленной работе проведено исследование распространения во времени и пространстве потока, образованного сильным «возмущением» как на однородной, так и на неоднородной территории с учетом и без учета влияния орографии.

Оказалось, что с учетом влияния орографии давление «возмущенного» потока воздуха обратно пропорционально квадрату расстояния, а без учета орографии давление обратно пропорционально величине расстояния в шестой степени, т.е. с учетом орографии падение давления происходит сравнительно медленно, по сравнению с вариантом без учета рельефа, однако степень влияния зависит от направления движения воздуха относительно хребта [4].

Для измерения основных метеорологических элементов в высоких слоях атмосферы применяются радиозонды, метеорологические ракеты и метеорологические спутники. Приведенные выше исследования и методы моделирования теоретически осуществлены нами и опубликованы в ряде работ [1-4], хотя из-за сложной орографии территории Грузии, в атмосфере реально происходят значительно более серьезные процессы, что в основном обусловлено географическим положением Грузии и сложным рельефом. Наблюдение за атмосферными процессами в конкретном регионе Грузии представляет собой трудную задачу, но вместе с тем очень значительную.

На сегодняшний день в Кахетинском регионе Грузии в связи с возобновлением работ по защите от градобитий [5-6], в Сигнахском районе установлен современный метеорологический радар **METEOR 735 CDP 10 - Doppler Weather Radar** [7-10], который дает возможность в радиусе 200 км от него производить непосредственные наблюдения за динамикой атмосферных процессов, а в радиусе 100-120 км можем изучать типы, категории градоопасности, отражаемость, мощность, нижнюю и верхнюю границы облаков, интенсивность осадков, вести наблюдения за скоростью и направлением ветра по высотам и т.д. Но, что самое главное, дается возможность непосредственно наблюдать и изучать на конкретной территории динамику атмосферных процессов с учетом местного рельефа [11-12]. Следует отметить, что некоторые продукты радара могут быть использованы для прогнозирования направления движения облаков и количества выпавших осадков в течение следующего часа, что позволяет нам сравнить данные, полученные от этих продуктов прогнозирования с уже существующими прогнозами погоды полученными из других источников.

Для наглядности ниже на рис. 1-5 приведены радиолокационные картины о различных происходящих в Восточной Грузии атмосферных процессах.

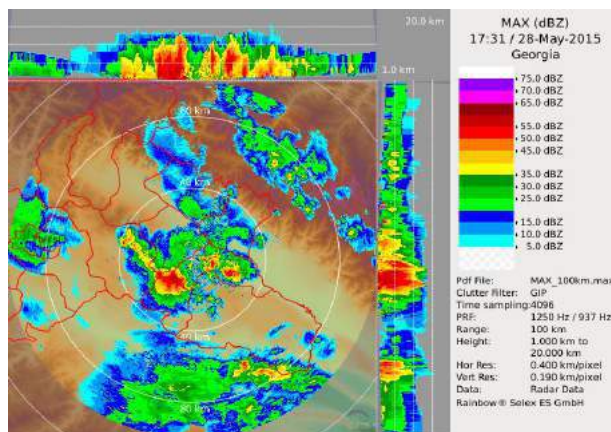


Рис. 1

Радиолокационная отражаемость облаков в Восточной Грузии (28 мая 2015 г., 17:31 час.).

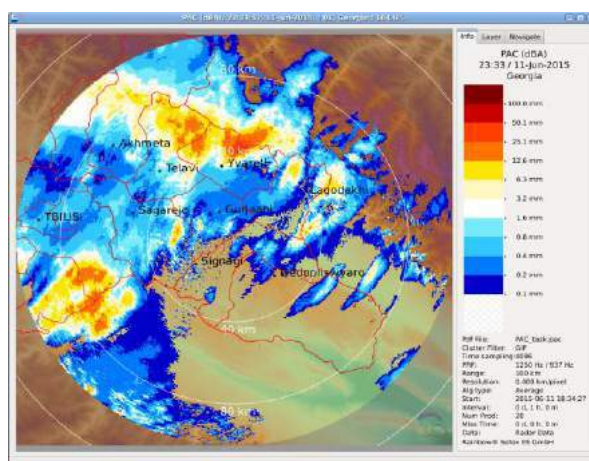


Рис. 2

Количество осадков из данного облака в течение следующего часа (11 июня 2015 г., 23:33 час.).

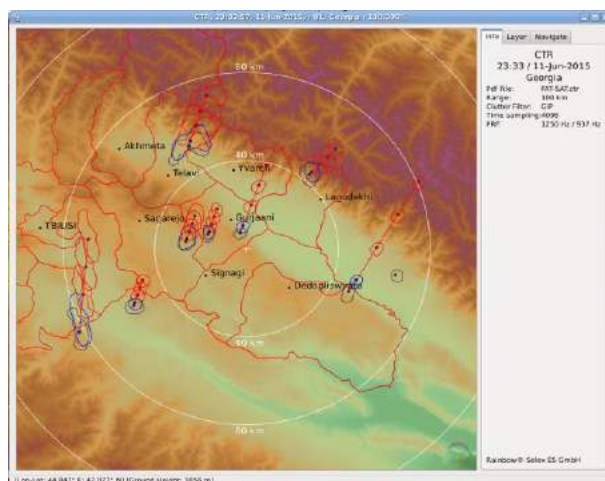


Рис. 3

Ориентировочное направление движения облака (11 июня 2015 г., 23:33 час.).

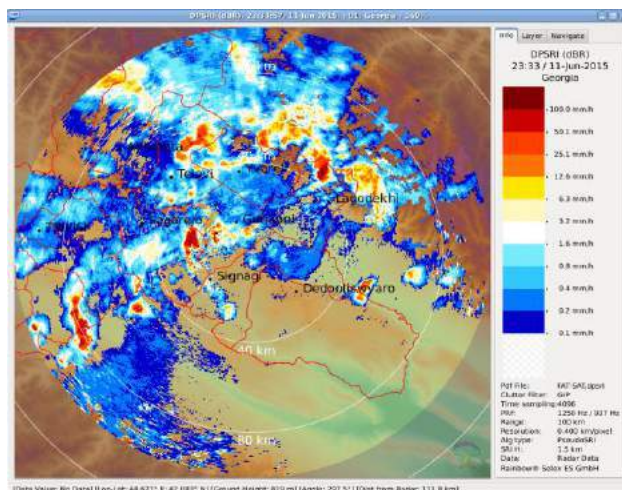


Рис. 4  
Интенсивность осадков в Восточной Грузии (11 июня 2015 г., 23:33 час.).

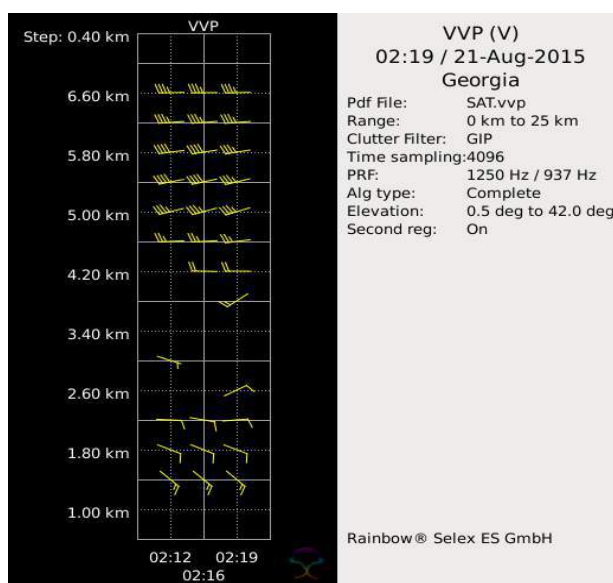


Рис.5  
Распределение скорости ветра в радиусе 25 км от радара ( 21 августа 2015 г., 02:19 час.).

В последнее время на территории Грузии в атмосфере участились экстремальные метеорологические процессы (наводнения, сильные дожди, град, сильные ветры) и на повестке дня стоит вопрос разработки различных региональных прогностических моделей, которые с высокой надежностью должны учитывать сложный рельеф территории Грузии. При этом, весьма важно сравнение теоретических результатов, полученных на основании этих моделей, с экспериментальными данными радиолокационных измерений.

## Литература

1. Самхарадзе И., Хведелидзе З., Давиташвили Т., Татишвили М., Зотикишвили Н. Математическое моделирование некоторых локальных атмосферных процессов для специфических районов Грузии. Тр. Института гидрометеорологии Грузинского политехнического университета, № 120, Тбилиси, 2014, с. 10-15.

2. Самхаразе И., Хведелидзе З., Давиташвили Т. Изучение некоторых локальных атмосферных “феноменальных” явлений с помощью методов гидротермодинамики. Тр. Института гидрометеорологии Грузинского политехнического университета, Тбилиси, №119, 2013, с. 16-20.
3. Хведелидзе З., Давиташвили Т., Самхаразе И. Математическое моделирование горно-воздушных потоков в узких каналах с учетом рельефа дна. Журнал “Экологические системы и приборы”, №8, М., 2007, с. 32-36.
4. Самхаразе И.Н., Хведелидзе З.В., Давиташвили Т.П. Изучение некоторых аэродинамических особенностей возмущенных потоков над горными территориями. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического университета, №121, Тбилиси, 2015.
5. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghloni N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol.18B, 2015, pp. 92-106.
6. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти 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.
7. 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.
8. Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кирия 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 Противогодовой службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
9. Авлохашвили Х.В., Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Джавахишвили Н.Р., Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Самхаразе И.Н., Цхведиашвили Г.Н., Чаргазия Х.З., Хурцидзе Г.Т. Продукты метеорологического радиолокатора «METEOR 735CDP10». Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 60-65.
10. Selex ES GmbH · Gematronik Weather Radar Systems. Rainbow®5 User Guide, 464 p., www.gematronik.com
11. Банеташвили В.Г., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. Р., Джамришвили Н.К., Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Хурцидзе Г.Т., Церетели А.Г., Чаргазия Х.З., Чхаидзе Б.Д. Некоторые примеры градовых процессов в Кахетии по данным радиолокационных наблюдений в 2015 году. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 66-74.
12. Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. Р., Иобадзе К.В., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Самхаразе И.Н., Хурцидзе Г.Т., Церетели А.Г., Цхведиашвили Г.Н., Чхаидзе Б.Д. Некоторые примеры сильных ливней в восточной Грузии по данным радиолокационных наблюдений 2015 года. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 75-83.



ატმოსფერული პროცესების კვლევის ზოგიერთი მეთოდი

სამხარაძე ი.

რეზიუმე

განიხილება ატმოსფერული პროცესების სხვადასხვა პროგნოსტიკული მოდელების შესამოწმებლად რადიოლოკაციური დარვირვების მონაცემების გამოყენების საკითხი.

## **SOME METHODS OF THE STUDIES OF ATMOSPHERIC PROCESSES**

**Samkharadze I.**

**Abstract**

The issue of the use of data of radar surveillance of the atmospheric processes for the validation of different prognostic models of these processes is examined.

## **НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Самхарадзе И.И.**

**Реферат**

Рассматривается вопрос использования данных радиолокационных наблюдений за атмосферными процессами для проверки различных прогностических моделей этих процессов.

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫСОТЫ НУЛЕВОЙ ИЗОТЕРМЫ В КАХЕТИИ В СЕЗОН ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ 2015 ГОДА

<sup>1</sup>Блиадзе Т.Г., <sup>2</sup>Джамришвили Н.К.,  
<sup>2</sup>Иобадзе К.В., <sup>3</sup>Тавидашвили Х.З.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [tamuna.b813@yahoo.com](mailto:tamuna.b813@yahoo.com)

<sup>2</sup>Научно-технический центр «Дельта»

<sup>3</sup>Тбилисский государственный университет им. Ивана Джавахишвили

Толщина переохлажденной части конвективных облаков является одним из важнейших условий образования и развития градовых процессов в них [1]. Помимо этого, данные об уровнях отрицательных температур в облаках необходимы для метеорологического прогноза ливней, гроз и града, определения различных характеристик конвективных облаков по данным радиолокационных измерений, оптимальных зон засева в них льдообразующим реагентом при операциях по активным воздействиям с целью прерывания града, регулированию осадков и др. [1-5].

В годы работы Противоградовой службы в Кахетии в прошлом столетии вертикальный профиль температуры в атмосфере определялся по данным регулярного метеорологического радиозондирования, осуществлявшегося с аэрологического пункта, расположенного на территории основной базы этой службы в с. Руиспири Телавского района [6-8].

Среднедекадные значения высоты нулевой изотермы  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  над Кахетией в шестидесятых – семидесятых годах прошлого столетия [6,8] минимальное значение имели во второй декаде апреля (2.1 км над уровнем моря) и максимальное – в первой декаде августа (4.0 км). Со второй декады апреля по вторую декаду июня происходил рост значений  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  с 2.1 до 3.8 км, затем некоторое уменьшение по вторую декаду июля до 3.5 км, снова рост по первую декаду августа до 4.0 км и уменьшения по вторую декаду октября до 3.2 км. Значения  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  в дни с конвективными облаками были ниже, чем во все дни наблюдений. Так, с мая по сентябрь среднемесячные значения высоты нулевой изотермы во все дни наблюдений в среднем на 0.3 км были выше, чем в дни с конвективной облачностью. Наибольшая разность отмечалась в июле (0.5 км), наименьшая – в июне (0 км) [6-8].

Вертикальные распределения среднемесячных значений температуры воздуха над Кахетией с мая по октябрь месяцы по данным [7] представлены на рис. 1-2. Как следует из этих рисунков уменьшение значений температуры воздуха с высотой над уровнем моря происходит линейно. При этом коэффициент корреляции температуры воздуха с высотой близок к единице. Уменьшение среднемесячных значений температуры воздуха с высотой для указанных месяцев года происходило с градиентом: май – 6.5, июнь – 6.3, июль – 6.0, август – 6.1, сентябрь – 5.8, октябрь – 5.7 градус/км (рис. 1,2).

Восстановление службы борьбы с градом в Грузии (Кахетия) произошло 28 мая 2015 года [4,5]. С этого момента времени в районе противоградовых работ вертикальные профили температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра и другие параметры атмосферы определяются ежедневно для четырех сроков наблюдений по данным

всемирной сети вертикального аэрологического зондирования атмосферы [9]. Данные о повторяемости часовых значений высоты нулевой изотермы (4, 10, 16 и 22 час. по местному времени) над Кахетией для всех дней наблюдений с июля по сентябрь месяцы в 2015 году и сравнительные данные о среднемесячных значениях  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  в эти же месяцы в 2015 году и шестидесятых годах прошлого столетия представлены на рис. 3 и 4.

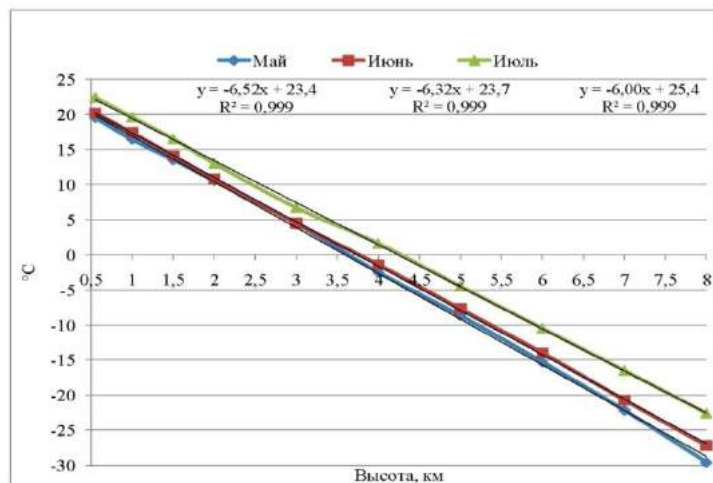


Рис. 1

Вертикальное распределение среднемесячных значений температуры воздуха над Кахетией в мае-июле по данным [7].

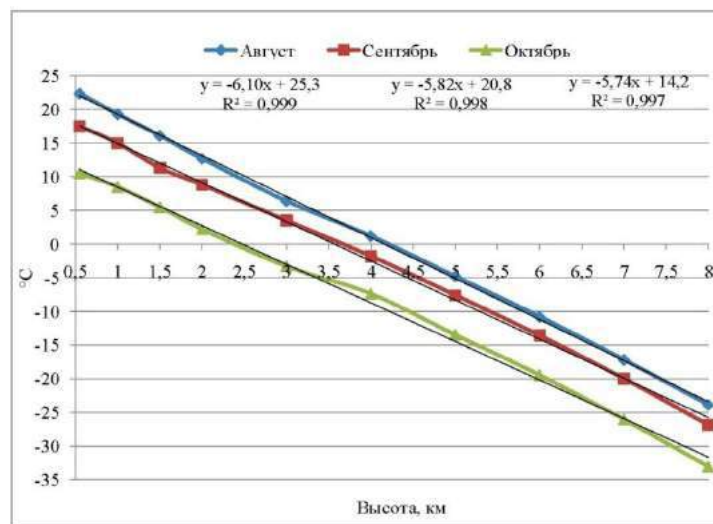


Рис. 2

Вертикальное распределение среднемесячных значений температуры воздуха над Кахетией в августе-октябре по данным [7].

Как следует из рис. 3, в 2015 году изменение часовых значений  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  происходило следующим образом. Июнь – диапазон изменения высот от  $>3.6-3.8$  до  $>4.6-4.8$  км с максимумом повторяемости 31.5 % в диапазоне высот  $>3.8-4.0$  км. Июль – диапазон изменения  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  от  $>3.4-3.6$  до  $>5.2-5.4$  км с максимумом повторяемости 28.3 % в диапазоне высот  $>4.4-$

4.6 км. Август – диапазон изменения высот от >2.4-2.6 (единичный случай) до >5.0-5.2 км с максимумом повторяемости 20.3 % в диапазоне высот >4.8-5.0 км. Сентябрь – диапазон изменения  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  от >3.2-3.4 до >4.6-4.8 км с максимумом повторяемости 25.7 % в диапазоне высот >4.2-4.4 км.

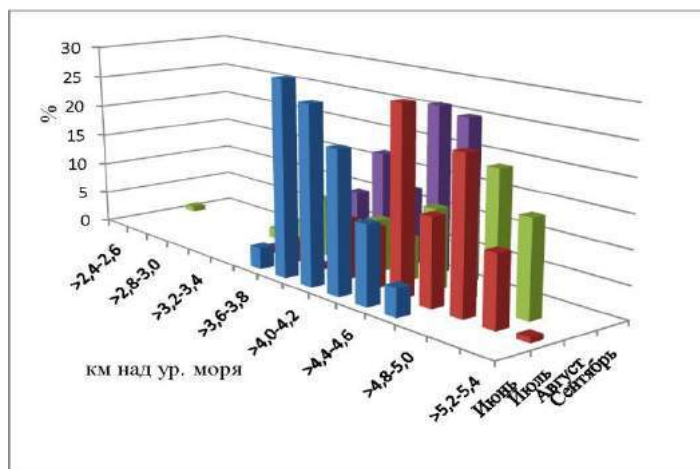


Рис. 3

Повторяемость часовых значений высоты нулевой изотермы над Кахетией для всех дней в 2015 году (июнь-сентябрь).

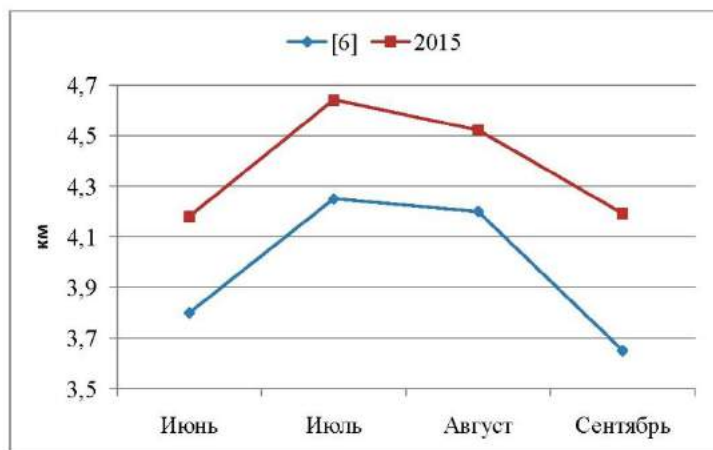


Рис. 4

Среднемесячное распределение высоты нулевой изотермы над Кахетией для всех дней по данным [6] и в 2015 году (июнь-сентябрь).

Среднемесячные значения высоты нулевой изотермы в Кахетии в 2015 году выше величин  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  в шестидесятые годы прошлого столетия по данным [6] (рис. 4). Разность составляет 0.3-0.5 км. Следует также отметить, что уменьшение среднемесячных значений температуры воздуха с высотой в июне-сентябре 2015 года происходило с градиентом: июнь – 6.7, июль – 6.5, август – 6.4, сентябрь – 6.5 градус/км, что несколько выше, чем в указанный период прошлого столетия. Учитывая, что в Восточной Грузии наблюдается процесс потепления [10-12], в настоящее время над Кахетией возможно некоторое повышение уровня нулевой изотермы по сравнению с шестидесятыми-семидесятыми годами прошлого столетия. Однако, этот вопрос требует более детальных исследований.

Рассмотрим суточный ход значений высоты нулевой изотермы. В табл. 1 представлены статистические характеристики часовых значений  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  над Кахетией.

Табл. 1

Статистические характеристики высоты нулевой изотермы над Кахетией в различные сроки наблюдений с мая по октябрь 2015 г. (метр над уровнем моря).

Параметр	4 час.	10 час.	16 час.	22 час.
Минимум	1796	1850	1800	1700
Максимум	5100	5700	5250	5200
Среднее	4097	4106	4153	4125
Ст. отклон.	727	726	725	742
Коэфф. вар., %	17.8	17.7	17.5	18.0
Интервал	3304	3850	3450	3500

Как следует из этой таблицы, изменчивость средних значений высоты нулевой изотермы в различные сроки наблюдений незначительная с максимумом в 16 час. и минимумом в 4 час. Вариации значений  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  почти одинаковые (коэффициенты вариаций около 18%). Разность между максимальными и минимальными значениями  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  (**Интервал**) в различные часы меняется от 3304 м в 4 час. до 3850 м в 10 час.

Сходный с табл. 1 суточный ход высоты нулевой изотермы характерен и для отдельных месяцев. Так, среднемесячные значения  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  в 4 и 16 час. соответственно составляют: в июне – 4140 и 4233 м, июле – 4628 и 4673 м, августе – 4520 и 4570 м, в сентябре – 4190 и 4249 м, в октябре – 3036 и 3078 м. Как показал анализ, малозначимая разница между средними значениями  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  в указанные два срока измерений наблюдается лишь в июне, для всех остальных месяцев эта разность незначима.

Наконец, в табл. 2 представлены данные о повторяемости дневных значений разности между максимальными и минимальными величинами высоты нулевой изотермы  $\Delta H_{(0^{\circ}\text{C})}$  над Кахетией.

Табл. 2

Повторяемость дневных значений разности между максимальными и минимальными величинами высоты нулевой изотермы над Кахетией в июне-октябре 2015 г.

$H_{(0^{\circ}\text{C})}$ , м	0-100	>100-200	>200-300	>300-400	>400-500	>500-600	>600-700	900-1650
%	42.5	26.0	14.4	8.2	2.1	2.1	1.4	3.4

Как следует из табл. 2 в подавляющем большинстве случаев (68.5 %) дневные значения  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  изменяются в пределах 0-200 м. Значения  $\Delta H_{(0^{\circ}\text{C})}$  более 500 м наблюдаются всего в 6.9 % случаев. Очень редко (при вторжении фронтов) наблюдались значения  $\Delta H_{(0^{\circ}\text{C})}$  даже в диапазоне 900-1650 м. Таким образом, при оперативной работе по предотвращению градобитий целесообразно использовать по крайней мере шестичасовые данные наблюдений за вертикальным распределением температуры воздуха в тропосфере, чтобы не упустить резких колебаний значений  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$ . При статистической обработке большого массива данных о значениях  $H_{(0^{\circ}\text{C})}$  с целью установления общих закономерностей внутригодовой изменчивости высоты нулевой изотермы, среднемесячных профилей температуры воздуха и др. достаточно наличие данных за два срока наблюдений (например, в 4 и 16 час.).

В заключение отметим, что в дальнейшем с учетом планируемого расширения работ по модификации погоды в Восточной Грузии (борьба с градом, искусственное увеличение осадков

и др.) предусмотрен анализ более обширного материала о вертикальном распределении в тропосфере температуры, относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, включая и холодный период года.

## Литература

1. Абшаев А.М., Абшаев М.Т, Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоголовоградных работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
2. 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.
3. 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 противоголовоградной службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
4. 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, 2015, pp. 92-106.
5. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на головоградные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.
6. Салуквадзе Т.Г. Радиолокационные характеристики головоградных облаков с учетом их сезонного хода. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 32, Тб.:, “Мецниереба”, 1973, с. 129-138.
7. Николайшвили Г.В. Аэрологическая характеристика поля метеорологических элементов над Алазанской долиной. Тр. Всесоюз. Научн. Совец. по активным воздействиям на головоградные процессы. Ин-т геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1964, с. 71-89.
8. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики головоградных процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77-100.
9. <http://ready.arl.noaa.gov/READYcmet.php>
10. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Intskirveli L., Kuchava T., Gurgenidze M., Amiranashvili A., Chikhladze T. Inventory of Greenhouse Gas Emissions and Sinks. Georgia’s Initial National Communication on Under the United Nations Framework Convention on Climate Change, Project GEO/96/G31, Tbilisi, 1999, 137 p.
11. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate change in Georgia: Statistical and nonlinear dynamics predictions. Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, Tbilisi, 2011-2012, pp. 67-87.
12. Tavartkiladze K., Begalishvili N., Kharchilava J., Mumladze D., Amiranashvili A., Vachnadze J., Shengelia I., Amiranashvili V. Contemporary climate change in Georgia. Regime of some climate parameters and their variability. Monograph, ISBN 99928-885-4-7, Tbilisi, 2006, 177 p., (in Georgian).

**კახეთში 2015 წლის სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების სეზონში ნულოვანი  
იზოთერმის სიმაღლის ცვალებადობა**

**ბლიაძე თ., ჯამრიშვილი ნ., იობაძე კ., თავიდაშვილი ხ.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია მონაცემები კახეთის თავზე ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლის საათობრივი მნიშვნელობების ცვალებადობის შესახებ (4, 10, 16 და 22 სთ. ადგილობრივი დროით) 2015 წლის ივნისიდან ოქტომბრამდე. კერძოდ მიღებულია, რომ ნულოვანი იზოთერმის მაქსიმალურ და მინიმალურ მნიშვნელობათა შორის სხვაობა სხვადასხვა საათებში იცვლება 3304-დან 3850 მ - მდე, ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლის საშუალოთვიური მნიშვნელობები 4 და 16 საათისათვის შეადგენენ შესაბამისად: ივნისში-4140 და 4233 მ, ივლისში-4628 და 4673 მ, აგვისტოში- 4520 და 4570 მ, სექტემბერში-4190 და 4249 მ, ოქტომბერში- 3036 და 3078 მ. ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლის საშუალოთვიური მნიშვნელობები ივნისი-სექტემბრის თვეებისათვის 2015 წელს 0.3-0.5 კმ.-ით მაღალია გასული საუკუნის სამოციანი წლების ასეთივე მნიშვნელობებთან შედარებით.

**CHANGEABILITY OF HEIGHT OF ZERO ISOTHERM IN KAKHETI INTO THE  
SEASON OF THE ANTI-HAIL WORKS OF 2015**

**Bliadze T., Jamrishvili N., Iobadze K., Tavidashvili Kh.**

**Abstract**

The data about the changeability of the hour values (4, 10, 16 and 22 hours on local time) of height of zero isotherm above Kakheti from June to October 2015 are cited. In particular, it is obtained that the difference between the max and min values of height of zero isotherm in different hour changes from 3304 m to 3850 m, the monthly average values of height of zero isotherm during 4 and 16 hours respectively comprise: during June - 4140 and 4233 m, July - 4628 and 4673 m, August - 4520 and 4570 m, September - 4190 and 4249 m, October - 3036 and 3078 m. The monthly average values of height of zero isotherm for June-September in 2015 on 0.3-0.5 km are higher than the same values in the 60-s of past century.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ВЫСОТЫ НУЛЕВОЙ ИЗОТЕРМЫ В КАХЕТИИ В СЕЗОН  
ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ 2015 ГОДА**

**Блиадзе Т.Г., Джамришвили Н.К., Иобадзе К.В., Тавидашвили Х.З.**

**Реферат**

Приводятся данные об изменчивости часовых значений (4, 10, 16 и 22 час. по местному времени) высоты нулевой изотермы над Кахетией с июня по октябрь 2015 года. В частности получено, что разность между максимальными и минимальными значениями высоты нулевой изотермы в различные часы меняется от 3304 м до 3850 м, среднемесячные значения высоты нулевой изотермы в 4 и 16 час. соответственно составляют: в июне – 4140 и 4233 м, июле – 4628 и 4673 м, августе – 4520 и 4570 м, в сентябре – 4190 и 4249 м, в октябре – 3036 и 3078 м. Среднемесячные значения высоты нулевой изотермы для июня-сентября месяцев в 2015 году на 0.3-0.5 км выше тех же величин в шестидесятых годах прошлого столетия.

სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოების პერსპექტივები ზოგიერთი  
კლიმატური მახასიათებლების გათვალისწინებით კახეთის რეგიონში  
(საქართველო)

ფიფია მ.

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი 0112,  
თბილისი, დ. აღმაშენებლის გამზირი 150<sup>ა</sup>, mishapipia@yahoo.com

შესავალი

სეტყვა დიდ ზიანს აყენებს ქვეყნების ეკონომიკას და განსაკუთრებით სოფლის მეურნეობას. ხშირად ინტენსიური სეტყვა იწვევს სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მთლიანად განადგურებას, პირუტყვის დახოცვას, იგი ზოგჯერ ადამიანის სიცოცხლესაც უქმნის საფრთხეს. სეტყვა გავრცელებულია დედამიწის უმეტეს რაიონში, ის დიდ პრობლემებს უქმნის მსოფლიოს მრავალ ქვეყანას - იტალიას, საფრანგეთს, ამერიკის შეერთებულ შტატებს, რუსეთს, მოლდავეთს, ავსტრალიას, უნგრეთს, პოლონეთს, ჩინეთს, არგენტინას, კავკასიის და შუა აზიის ქვეყნებს და ა.შ.

სეტყვა განსაკუთრებით საშიშია იმ რაიონებში, რომლებიც ხასიათდება რელიეფის სირთულით, ზღვის დონიდან დიდი სიმაღლით, ჰაერის მასების მაღალი ტენიანობით, ასევე, დედამიწის ზედაპირის მაღალი ტემპერატურით, რომელიც ხელს უწყობს კონვექციის გაძლიერებას [1].

საქართველოში სეტყვიანობის კვლევას დიდი ხნის ისტორია აქვს. სეტყვიანობის პრობლემისადმი საქართველოში მიძღვნილია მრავალრიცხოვანი ლიტერატურა, ამ მიმართულებით ჩატარებული კვლევები ფართო სპექტრს მოიცავს, როგორც სეტყვიანობის კლიმატოლოგიას [2-18], ასევე სეტყვის ჩამოყალიბების მექანიზმის შესწავლასა [19] და სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების მეთოდოლოგიასა და შედეგებს [20-28].

სეტყვის მოსვლის ხასიათის მიხედვით ი.სულაქველიძემ (1988) საქართველოში გამოყო 5 რაიონი: შავი ზღვის სანაპირო, კოლხეთის დაბლობი, აჭარა-თრიალეთის ქედი, აღმოსავლეთ საქართველოს სამხრეთ ნაწილი და აღმოსავლეთ საქართველოს ჩრდილოეთ ნაწილი. მანვე დაადგინა სეტყვის პროცესების ძირითადი ტრაექტორიები - ბაკურიანი, აბასთუმანი, გუდაური და ცივ-გომბორის ქედი. სეტყვის ჩამოყალიბების ფიზიკური პროცესების კვლევაში და მასზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდების ჩამოყალიბებაში დიდი დამსახურება აქვს გ.სულაქველიძეს, ა.ქარცივაძეს, ვ.ლომინაძეს, ა.ორჯონიკიძეს, ი.ბართიშვილს, თ.დავითაიას, ბ.ბერიტაშვილს, ნ.ბეგალიშვილს, ა.ამირანაშვილს, კ.თავართქილაძეს, მ.ვათიაშვილს და სხვებს [19-30]. უკანასკნელ წლებში (2008-2010) სეტყვის პარამეტრების სტატისტიკური ანალიზი მთლიანად საქართველოსთვის რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგრანტო პროექტის ფარგლებში ჩაატარა ა.ამირანაშვილმა და სხვ. მათ შეადგინეს სეტყვის პერიოდულობის რუკა საქართველოს ტერიტორიისათვის [12,14]. მიღებული რუკა კარგად შეესაბამება ი.სულაქველიძის დარაიონებას, უფრო მეტიც, აზუსტებს რაიონების საზღვრებს. ნაშრომი [12,14] თანახმად,



სეტყვის პროცესები განსაკუთრებით აქტიურია სამხრეთ საქართველოს მთიანეთზე, აგრეთვე, ცივ-გომბორის ქედზე და აღმოსავლეთ კავკასიონის სამხრეთ ფერდობზე.

### **ძირითადი ნაწილი.**

წინამდებარე სტატიაში გაანალიზებულია სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოების პერსპექტივები კახეთში, სეტყვის პროცესების განვითარება, სეტყვიანობის ინტენსივობა, სეტყვის ხანგრძლივობისა და მოსვლის ალბათობა, სეტყვასთან ერთად მოსული ნალექების რაოდენობა.

### **მასალები და მეთოდები.**

კვლევაში გამოყენებულია კახეთში განლაგებული 8 მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებათა მონაცემები 1961-2012 წლების პერიოდისთვის. რუკების ასაგებად გამოყენებულ იქნა კახეთის რეგიონის 1983-1991 წლების სტატისტიკური მონაცემები. გამოყენებული იქნა ასევე მათემატიკური სტატისტიკისა და ალბათობის თეორიის მეთოდები.

### **სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოების პერსპექტივები.**

დაუფინანსებლობის გამო, ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების პრაქტიკული სამუშაოები საქართველოში შეწყდა 1989 წლის ბოლოს. ამის შემდეგ გეოფიზიკისა და ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტების მიერ არაერთხელ იყო საკითხი დასმული ამ სამუშაოების განახლების შესახებ [31,32]. გადაწყვეტილ იქნა პირველ რიგში სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების განახლება კახეთში. ამ მიმართულებით გადაიდგა კიდევ გარკვეული პრაქტიკული ნაბიჯები, დაკავშირებული, კერძოდ, ზემოქმედების ოპტიმალურ საშუალებათა შერჩევასთან, მათ განლაგებასთან ამ რეგიონში და სხვა [33-37].

სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების შეწყვეტის მიუხედავად, სეტყვის პრობლემამ აქტუალობა არ დაკარგა. პირიქით, ჩატარებული გამოკვლევების თანახმად, გლობალური დათბობის პირობებში შეინიშნება ამინდის მრავალი ექსტრემალური მოვლენის გააქტიურება, რაც უკვე საგრძნობია საქართველოს ეკოსისტემებისა და ეკონომიკისთვის (გვალვების გახშირება, გაუდაბნობა, მთის მყინვარების დნობა და სხვ.).

2012-2014 წლებში კიდევ რამდენიმეჯერ დაისეტყვა აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორია და მნიშვნელოვნად განადგურდა მოსავალი [17,18]. ამან დააყენა საკითხი სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების განახლების შესახებ. მიმდინარეობდა ინტენსიური კონსულტაციები ერთი მხრივ სსიპ-სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკურ ცენტრ „დელტა“-სა და მეორეს მხრივ ჰიდრომეტეოროლოგიის და გეოფიზიკის ინსტიტუტების სპეციალისტებს შორის. ამ ინსტიტუტების სამეცნიერო საბჭოების გადაწყვეტილებით, ინსტიტუტებმა მზაობა გამოთქვეს ჩაერთონ ზემოთ აღნიშნულ სამუშაოებში.

2015 წლიდან ბიუჯეტში გათვალისწინებული იყო შესაბამისი თანხა სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების დაწყებისა და განხორციელებისთვის უპირველეს ყოვლისა კახეთში. 2015 წ. 28 მაისს კახეთში ეს სამუშაოები აღდგენილი იქნა [38-39].

საქართველოს ეკონომიკისა და მდგრადი განვითარების მინისტრის 2014 წლის 10 სექტემბრის №1-1/247 ბრძანებით, დამტკიცებულ იქნა საჯარო სამართლის იურიდიული პირის - სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკურ ცენტრ „დელტას“ დებულება, სადაც მე-2 მუხლის პირველ პუნქტში ჩამოყალიბებულია ცენტრის ძირითადი მიზნები, ამოცანები და ფუნქციები, მათ შორისაა (პ)-ქვეპუნქტი: ქვეყანაში სეტყვის საწინააღმდეგო

და ზვავსაწინააღმდეგო საქმიანობასთან დაკავშირებული სისტემების დამუშავება, მოდერნიზება, შექმნა, დანერგვა და მომსახურება, ამავე მუხლის მეორე პუნქტის თანახმად, ცენტრი თავისი უფლება-მოვალეობებიდან გამომდინარე ეწევა სეტყვასაწინააღმდეგო და ზვავსაწინააღმდეგო საჯარო მომსახურებას მინისტრის მიერ განსაზღვრული წესით (ტ - ქვეპუნქტი). ასევე, საქართველოს მთავრობის მიერ, 2013 წლის 17 სექტემბერს მიღებულ იქნა მნიშვნელოვანი დოკუმენტები (საქართველოს მთავრობის განკარგულება №1364; №1365; №1366; №1373) საქართველოს სხვადასხვა რეგიონების, მათ შორის აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონების, განვითარების 2014-2021 წლების სტრატეგიის დამტკიცების თაობაზე, სადაც სხვა საკითხებთან ერთად, განხილულია ბუნებრივი კატასტროფების მართვა, მათ შორის, აღნიშნულია სეტყვის მიერ სოფლის მეურნეობისთვის მიყენებული ზიანი, განსაკუთრებით ბოლო წლებში. ამავე დოკუმენტში ჩამოყალიბებულია აღმოსავლეთ საქართველოს რეგიონების განვითარების 2014-2021 წლების სტრატეგიის მიზნები და ამოცანები. მიზანი - ბუნებრივი კატასტროფების მართვისა და პრევენციის ეფექტურობის ამაღლება. ამოცანა - კატასტროფების პრევენციისა და ადეკვატური რეაგირებისთვის სრული მზაობა, მათ შორის, ფერმერულ მეურნეობებში სახელმწიფოს ხელშეწყობით სეტყვის საწინააღმდეგო თანამედროვე ტექნოლოგიების დანერგვა.

ამჟამად უკვე მეორე წელია, რაც სსიპ-სახელმწიფო სამხედრო სამეცნიერო-ტექნიკური ცენტრი „დელტა“ წარმატებით ახორციელებს სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოებს.

„დელტა“-ში შეიქმნა ორიგინალური კონსტრუქციის სეტყვასაწინააღმდეგო რაკეტების გამშვები მრავალმიმართველიანი დანადგარები (26 და 52 მიმართველიანი), რომლებიც მთლიანად ავტომატიზირებულია და ავტონომიურ რეჟიმში შეუძლიათ მუშაობა. შექმნილია აგრეთვე მართვის სისტემა, რომელიც საშუალებას იძლევა ერთ ცენტრალურ პუნქტიდან მოხდეს ყველა დანადგარის დისტანციური მართვა - რაკეტების რაოდენობის შემოწმება, დანადგარის აზიმუტით და ვერტიკალური კუთხით შემობრუნება და დაფიქსირება, რაკეტების საჭირო რაოდენობით გასროლა და შესაბამისი ინფორმაციის მიღება. თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის შესაძლებლობების სრული ათვისება არა მარტო სეტყვის პროცესებზე, არამედ სხვა სტიქიური უბედურებების დაკვირვების, შესწავლის და პროგნოზის შესაძლებლობას იძლევა.

პერსონალის მიერ თანამედროვე აპარატურის, მეთოდის და მუშაობის უნარის ათვისება, გამშვები დანადგარების და სეტყვის საწინააღმდეგო რაკეტების სერიული წარმოება ხელს შეუწყობს სათანადო დაფინანსების პირობებში გაფართოვდეს სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოები შიდა და ქვემო ქართლის ტერიტორიებზე [33-39].

### **სეტყვის პროცესების განვითარება.**

როგორც დაკვირვებებმა ცხადყო, სეტყვა დიდ ზარალს იწვევს საქართველოს აღმოსავლეთ ნაწილში, სადაც იგი საგრძნობლად აზიანებს სასოფლო-სამეურნეო კულტურებს. სეტყვა აქ მხოლოდ წლის თბილ პერიოდში იცის (მარტი - ოქტომბერი), განსაკუთრებით კი მაის-ივნისში, კახეთში წლიურად 2-3 დღეა სეტყვიანი. ადგილის სიმაღლის მასშტაბით იზრდება სეტყვიან დღეთა რიცხვი; ამ მხრივ აღსანიშნავია ჯავახეთის ზეგანი (ფარავანის ტბის მიდამოები), სადაც 10-15 დღეა სეტყვიანი.

აღმოსავლეთ საქართველოში ჰაერის სტრატეგიკაციის არამდგრადობა მაქსიმუმს გაზაფხულის მეორე ნახევარში აღწევს, რაც ე. ნაფეტვარიძის [40] აზრით ქვეყნილი ზედაპირის გათბობით და ამავე დროს, კავკასიონის მაღალმთიან სარტყელში თოვლის არსებობით აიხსნება. გაზაფხულზე სინქრონულად დაწყებული ფრონტის სამხრეთ

ტოტის ჩრდილოეთისაკენ გადანაცვლება და ამ ფრონტზე გაჩენილი ტალღური და ციკლონური მოქმედება კიდევ უფრო აძლიერებს ჰაერის სინოტივის არამდგრადობას, ავითარებს კონვექციულ ღრუბლებს, რომელსაც უხვ წვიმებთან ერთად ხშირად სეტყვაც ახლავს.

ქვემოთ მოყვანილია ზოგიერთი წლების მონაცემები საქართველოსთვის სეტყვის მოსვლის შემთხვევისა დღეებში და მის მიერ მიყენებული ზარალის ოდენობა ლარებში.

ცხრ. 1

საქართველოს ტერიტორიაზე სეტყვის მოსვლის შემთხვევა დღეებში და მიყენებული ზარალი (1995-2011 წ.წ)

წელი	შემთხვევათა დღე	ზარალი მლ.ლ.
1995	7	12.7
1996	11	17.0
1997	14	35.0
1998	12	8.5
1999	9	6.9
2000	7	5.8
2001	8	10.4
2002	8	6.8
2003	7	6.0
2004	11	12.5
2005	19	6.9
2006	11	6.2
2007	7	5.0
2008	5	2.9
2009	15	9.5
2010	15	6.9
2011	14	6.2
	180	165.2

როგორც ცხრ. 1-დან ჩანს, ამ პერიოდში ყველაზე დიდი ზარალი სეტყვამ ქვეყანას 1997 წელს მიაყენა, რამაც 35 მლ.ლ შეადგინა.

სეტყვის პროცესი ვ. გიგნეიშვილის [2] გამოკვლევებით უმეტესად მათ გზაზე მდგარი ქედების შემოვლით ხდება. ერთის მხრივ სეტყვის განმეორებაში მხოლოდ ადგილის სიმაღლე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს, დიდ როლს თამაშობს აგრეთვე სხვა ფაქტორები: ოროგრაფია, მცენარეული საფარი, ქედების ორიენტაცია გაბატონებული ჰაერის მასების მიმართ და სხვა. მაგალითად, როკის უღელტეხილის მიდამოებში, რომელიც 1800 მ. სიმაღლეზეა, სეტყვის განმეორება არის 1.8 დღე წელიწადში, მაშინ როცა სად. თელავის მონაცემებით, რომელიც მდებარეობს 562 მ სიმაღლეზე - არის 2.7 დღე [13].

საქართველოს ტერიტორიაზე სეტყვიანობის აქტიურობის თვალსაზრისით, რაიონები ერთმანეთისგან ძალზე განსხვავებულია [18]. ერთ-ერთი ასეთი გამორჩეული რაიონია კახეთი, რომელსაც საქართველოს უკიდურესი აღმოსავლეთი ნაწილი უკავია. იგი სხვა რეგიონებისაგან განსხვავებით სეტყვისაგან ყველაზე მეტად ზარალდება, აქედან გამომდინარე ჩვენს ნაშრომში განხილულია სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოების პრესპექტივები კახეთის რეგიონისთვის და გააანალიზებულია ამ სამუშაოების განხორციელებისთვის აუცილებელი სეტყვიანობის ზოგიერთი კლიმატური მახასიათებლები.

კახეთის რეგიონი მოიცავს მდ. ალაზნის ველს და მდ. იორის პლატოს ნაწილს, ჩრდილო-აღმოსავლეთით შემოსაზღვრულია კავკასიონის ქედით, ჩრდილო-დასავლეთით კახეთის ქედით, დასავლეთით და სამხრეთ-დასავლეთით ცივგომბორის ქედით. აქ კონვექციული პროცესები ხშირად დაკავშირებულია დასავლეთის შემოჭრებთან და იშვიათად აღმოსავლეთის შემოჭრებთან. ჩვეულებრივ ეს პროცესები ცივი ფრონტის შემთხვევაში ვითარდებიან, განსაკუთრებით მაის-ივნისში. მეტეოსადგურების მონაცემებით სეტყვიან დღეთა რიცხვი 3-ზე მეტია. ყველაზე დიდი განმეორება 70% ახასიათებს დამყარებულ და არადამყარებულ სეტყვის პროცესებს, მცირე 9% ახასიათებს პროცესებს, რომელიც გადადის უჯრედოვან სტადიაში. თუმცა, ამ უკანასკნელით მიყენებული ზარალი დიდია და მან შეიძლება 80%-100% მიაღწიოს [3].

სეტყვის უმეტესი პროცესების ჩასახვა ხდება კახეთის ფარგლებს გარეთ, სეტყვასაშიში ღრუბლები მოძრაობენ გომბორის ქედის გასწვრივ, რომელიც ატმოსფეროს ქვედა ფენიდან ივსება თბილი ნოტიო ჰაერის მასებით, რაც იწვევს სეტყვიანობის ინტენსიფიკაციას, შემდეგ ისინი აღწევენ ალაზნის ხეობის სიღრმეში და მოიცავენ ალაზნის ველს და იორის ზეგნის ნაწილს.

### სეტყვიანობის ინტენსივობა.

საქართველოს ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახური სტანდარტულ დაკვირვებებს სეტყვის მარცვლების დიამეტრზე არ აწარმოებდა და არც ამჯერად აწარმოებს გარემოს ეროვნული სააგენტო, ამიტომ სეტყვიანობის ინტენსივობა შეფასებულია დაზიანებული ფართობის მიხედვით, ამასთან ერთად, სეტყვიანობის ინტენსივობის კლასიფიკაციისას გათვალისწინებული იყო სეტყვის მარცვლების ზომები [18].

ცხრ.2

სეტყვიანობის ინტენსივობა

ინტენსივობა ბალებში	1	2	3	4	5
სეტყვის ზემოქმედების ეფექტი	ძალიან სუსტი	სუსტი	საშუალო	ძლიერი	ძალიან ძლიერი (კატასტროფული)

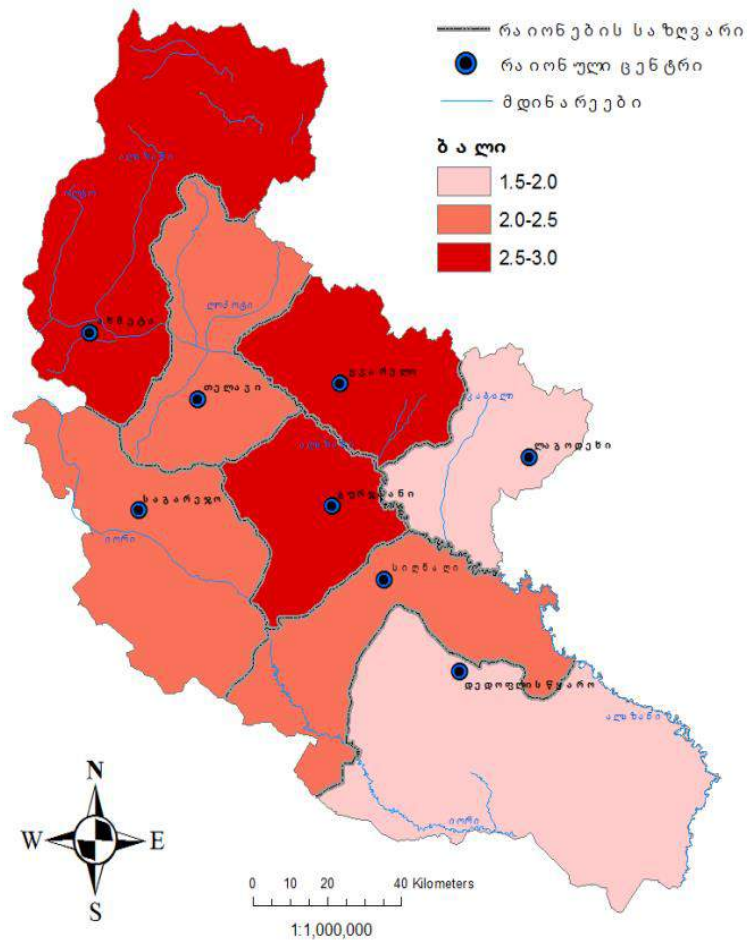
საქართველოში სეტყვიანობის ინტენსივობის სტატისტიკური მონაცემები ხანგრძლივი პერიოდის განმავლობაში არ მოიძიება, თუმცა, ჩვენს მიერ მოპოვებული მასალების კვლევისა და ანალიზის საფუძველზე, რომელიც მოიცავს 1983-1991 წწ.-ის მონაცემებს სეტყვის ინტენსივობის შესახებ, შედგენილ იქნა სეტყვის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობის ცხრილი (ცხრ. 3) და შესაბამისი გეოინფორმაციული რუკები (ნახ. 1 და 2) კახეთის რეგიონისთვის.

ცხრ. 3 - დან კარგად ჩანს, რომ კახეთის რეგიონში სეტყვის შედარებით დაბალი ინტენსივობა მხოლოდ დედოფლისწყაროსა და ლაგოდეხის რაიონებში ფიქსირდება, საშუალოდ 1.6 და 1.7 ბალი, ხოლო კახეთის დანარჩენ რაიონებში სეტყვის საშუალო ინტენსივობა 2-3 ბალის ფარგლებშია, ასეთივე მდგომარეობაა სეტყვის მაქსიმალური ინტენსივობის შემთხვევაში, კახეთის რეგიონის ყველა რაიონში, გარდა დედოფლისწყაროსა და ლაგოდეხის რაიონებისა ფიქსირდება სეტყვის ინტენსივობის მაქსიმუმი (კატასტროფული) - 5 ბალი, რაც ასევე მოსალოდნელი იყო.

კახეთის რეგიონში სეტყვის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობა რაიონების მიხედვით

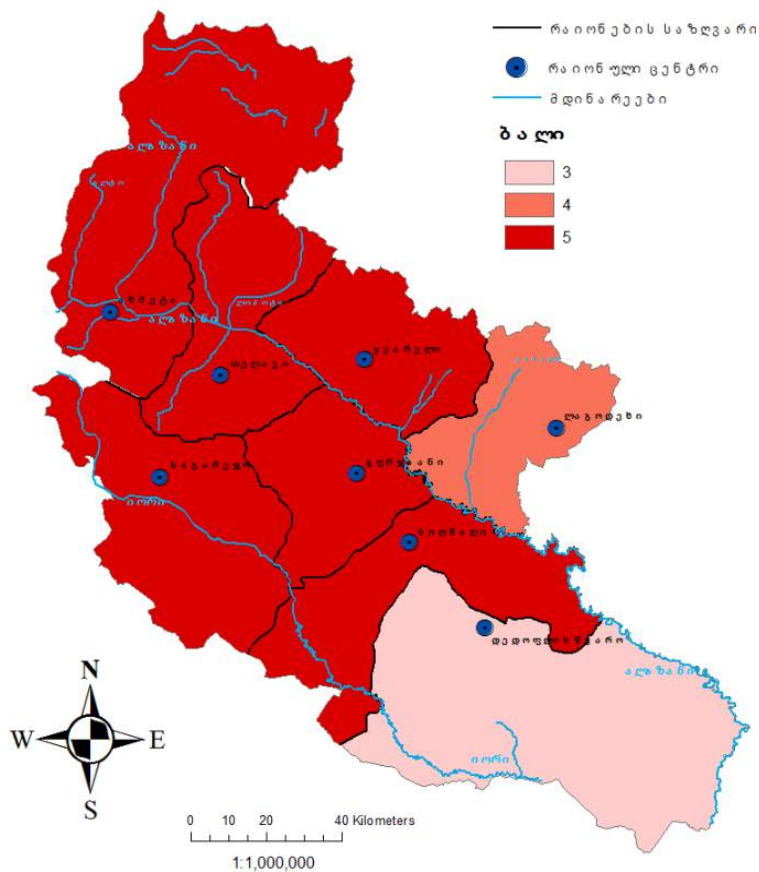
რაიონები	საშუალო ინტენსივობა (ბალი)	მაქსიმალური ინტენსივობა (ბალი)
ახმეტა	2.6	5
თელავი	2.0	5
საგარეჯო	2.2	5
გურჯაანი	2.5	5
დედოფლისწყარო	1.6	3
ლაგოდეხი	1.7	4
ყვარელი	2.8	5
სიღნაღი	2.3	5

ცხრ. 3 - ზე დაყრდნობით შედგენილ იქნა კახეთის რეგიონის რაიონების მიხედვით სეტყვის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობის გეოინფორმაციული რუკები (ნახ. 1 და 2).



ნახ. 1

კახეთის რეგიონის სეტყვის საშუალო ინტენსივობა რაიონების მიხედვით



ნახ. 2

კახეთის რეგიონის სეტყვის მაქსიმალური ინტენსივობა რაიონების მიხედვით

**სეტყვის ხანგრძლივობისა და მოსვლის ალბათობა.**

მეტეოროლოგიური სადგურების დაკვირვებათა მონაცემების ანალიზმა, რომელიც მოიცავს 1961-2012 წლებს გვიჩვენა, რომ კახეთში ხშირად სეტყვის 54-76% გრძელდება 10 წუთი, გამონაკლისია დედოფლისწყარო, სადაც ამ ხანგრძლივობის, სეტყვის მხოლოდ 36%-ია (ცხრ. 4).

ცხრ. 4

კახეთის რეგიონში სეტყვის ხანგრძლივობისა და დღელამის განმავლობაში მოსვლის (საათები) ალბათობა(%)

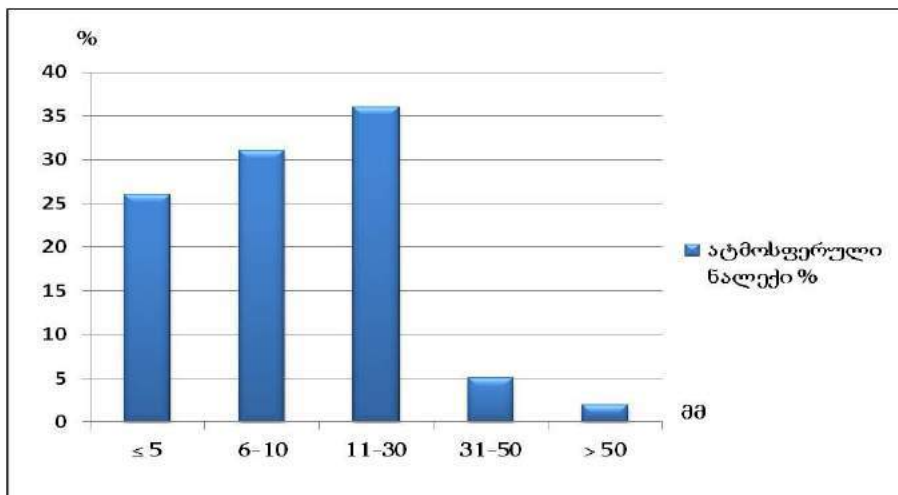
სადგური	ხანგრძლივობა, წთ				დღელამის საათები		
	10	11-20	21-30	30 და მეტი	21-06	06-12	12-21
	%				%		
ახმეტა	54	37	9	-	9	3	88
თელავი	76	20	4	-	14	10	76
გურჯაანი	74	26	-	-	2	2	96
ყვარელი	67	21	12	-	14	8	78
სიღნაღი	69	23	2	6	4	2	94
საგარეჯო	74	20	2	4	6	8	86
დედოფლისწყარო	36	47	10	7	3	-	97

ცხრ. 4 - დან ირკვევა, რომ სეტყვის მოსვლის უდიდესი ალბათობა დღელამის განმავლობაში 12-21 სთ ინტერვალშია და შეადგენს 76-97%. უმცირესი კი 06-12 სთ ინტერვალშია (0-10%), რაც აიხსნება ატმოსფეროს არასაკმარისი გათბობით დღელამის ამ პერიოდისთვის და კონვექციური დენების არარსებობით.

**სეტყვასთან ერთად მოსული ნალექების რაოდენობა.**

სეტყვიანობისას სეტყვის მარცვლებთან ერთად მიწაზე ხვდება თხევადი ნალექები, უფრო მეტიც სეტყვიანობას არცთუ იშვიათად თან სდევს ინტენსიური წვიმები და ძლიერი ქარები. ამ დროს მოსული ნალექთა რიცხვი ჩვენი გათვლებით მერყეობს ფართო დიაპაზონში, რამდენიმე მმ-დან 10სმ-მდე ფარგლებში და მეტიც. საშუალოდ იგი 3-4 ჯერ აღემატება წლის თბილი პერიოდის ნალექიან დღეებში მოსულ საშუალო დღელამურ ნალექთა ჯამს. კერძოდ, საქართველოს ტერიტორიაზე წლის თბილი პერიოდის განმავლობაში საშუალო დღელამური ნალექთა ჯამი მერყეობს 3-6მმ საზღვრებში, როცა სეტყვის მოსვლის დღეს მოსული ნალექების საშუალო რაოდენობა შეადგენს 14-20მმ-ს.

როგორც ცნობილია სეტყვიანობის საშუალო ხანგრძლივობა შეადგენს 9-10 წთ. შესაბამისად, სეტყვიანობისას ნალექთა მოსვლის საშუალო ინტენსივობა შეიძლება შეფასდეს 1,4-2 მმ/წთ სიდიდით, რაც 2-ჯერ აღემატება გ.სულაქველიძის [21] შეფასებას ჩრდილოეთ კავკასიისთვის, თუმცა, მისივე მონაცემებით ცალკეულ შემთხვევებში, ნალექთა ინტენსივობამ შეიძლება მიაღწიოს 4 მმ/წთ სიდიდეს.



ნახ. 3

სხვადასხვა რაოდენობის ატმოსფერულ ნალექთა განმეორებადობა სეტყვიანობისას კახეთის ტერიტორიაზე

ნახ. 3-დან ირკვევა, რომ კახეთის პირობებში სეტყვიანობისას მოსულ ნალექთა უაღბათესი რაოდენობა შეადგენს 11-30 მმ-ს. ამ რაოდენობის ნალექთა მოსვლის განმეორებადობა 36%-ია. 31% შემთხვევისას მოსულ ნალექთა რაოდენობა მერყეობს 6-10 მმ საზღვრებში, 26% შემთხვევაში ნალექთა ჯამი არ აღემატება 5 მმ-ს. 5% შემთხვევის დროს ნალექთა რაოდენობა შეადგენს 31-50 მმ, ხოლო 2%-ზე ნალექ შემთხვევაში, მოსულ ნალექთა რაოდენობამ სეტყვიანობისას შესაძლებელია გადააჭარბოს 100 მმ-ს. ასეთი შემთხვევები დაფიქსირებულ იყო 1940 წლის 11 მაისს, 1957 წლის 14 აგვისტოს და 1972 წლის 29 მაისს თბილისში, 1973 წლის 13 ივნისს თეთრწყაროში, 1972 წლის 17 სექტემბერს სოხუმში და ა. შ. [18].

## დასკვნა

სეტყვის განმეორებაში მხოლოდ ადგილის სიმაღლე მნიშვნელოვან გავლენას არ ახდენს, დიდ როლს თამაშობს აგრეთვე სხვა ფაქტორები: ოროგრაფია, მცენარეული საფარი, ქედების ორიენტაცია გაბატონებული ჰაერის მასების მიმართ და სხვ.

სეტყვის ინტენსივობა დედოფლისწყაროსა და ლაგოდეხის რაიონებში ფიქსირდება საშუალოდ 1.6 და 1.7 ბალი, ხოლო კახეთის დანარჩენ რაიონებში სეტყვის საშუალო ინტენსივობა 2-3 ბალის ფარგლებშია. ასეთივე მდგომარეობაა სეტყვის მაქსიმალური ინტენსივობის შემთხვევაში კახეთის რეგიონის ყველა რაიონში, გარდა დედოფლისწყაროსა და ლაგოდეხის რაიონებისა, სადაც ფიქსირდება სეტყვის ინტენსივობის მაქსიმუმი (კატასტროფული) - 5 ბალი.

სეტყვის მოსვლის უდიდესი ალბათობა დღელამის განმავლობაში 12-21 სთ ინტერვალშია და შეადგენს 76-97%. უმცირესი კი 06-12 სთ ინტერვალშია (0-10%), რაც აიხსნება ატმოსფეროს არასაკმარისი გათბობით დღელამის ამ პერიოდისთვის და კონვექციური დინების არარსებობით.

კახეთის პირობებში სეტყვიანობისას მოსულ ნალექთა უაღბათესი რაოდენობა შეადგენს 11-30 მმ-ს.

ნაშრომში განხილული საკითხები, რომლებიც ეხება სეტყვის კლიმატოლოგიას, ხელს შეუწყობენ სეტყვისგან დასაცავი ტერიტორიების გაფართოებას.

## ლიტერატურა

1. კოტარია ა. მეტეოროლოგიის საფუძვლები. თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 1992.
2. Гигинеишвили В.М. Градобития в Восточной Грузии. Л., Гидрометеиздат, 1960, 123 с.
3. Бартишвили И. Т. Географическое распределение градобитий по Восточной Грузии. Тр. ЗакНИГМИ, вып. 16(22), 1964, с. 71-79.
4. Балабуев А.Г. Анализ данных о градовых явлениях в районе долин рек Иори и Алазани. Тр. Ин-та геофизики АН СССР, т. 25, Тбилиси, "Мецниереба", 1967, с. 56-64.
5. Ахвледиани Я.Р., Ломая О.В., Саркисова Л.С. Градовые явления в Алазанской долине по данным метеорологических станций. Тр. Ин-та геофизики АН СССР, т. 25, Тбилиси, "Мецниереба", 1967, с. 65-74.
6. Сухишвили Э.В. Град. Климат и климатические ресурсы Грузии. Л., Гидрометеиздат, 1971, с.313-318.
7. Гагуа В.П. Град. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе. Л., Гидрометеиздат, 1980, с. 137-149.
8. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Doreuli R., Khurodze T., Kolesnikov Yu. Some characteristics of hail processes in the Kakheti region of Georgia. Proc.13th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno., Nevada, USA, August 14-18, vol.2, 2000, pp. 1085-1087.
9. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Некоторые статистические характеристики числа дней с градом в теплое полугодие в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тб., 2004, с.133-141.
10. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Торонджадзе А.Ф., Хуродзе Т.В. Изменчивость числа дней с градом в Грузии в 1941-1990 гг. Тр. Института геофизики АН Грузии, т. 58, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2004, с. 127-132.
11. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Nodia A.G., Khurodze T.V., Toronjadze A.F., Bibilashvili T.N. Spatial-temporary characteristics of number of days with a hails in the warm period of year in Georgia. Proc. 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-July 2004, pp. 2\_2\_215.1-2\_2\_215.2.
12. Амиранашвили А.Г., Варазанаშвили О.Ш., Нодия А.Г., Церетели Н.С., Хуродзе Т.В. Статистические характеристики числа дней с градом в год в Грузии. Материалы межд. конф.



“Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе”, Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008, с. 427–433.

13. Элизбарашвили Э.Ш., Элизбарашвили М.Э. Стихийные метеорологические явления на территории Грузии. Тбилиси, Зеон, 2012, 104 с.

14. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Natural Hazards*, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, [http://www.springerlink.com/content/9311\\_p18582143662/fulltext.pdf](http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf). 2013.

15. Пипия М.Г., Число дней и продолжительность градобитий на территории Грузии. ГЕОПОЛИТИКА И ЭКОГЕОДИНАМИКА РЕГИОНОВ Научный журнал, Том 10, Выпуск 1, [http://crimean-center.com/?page\\_id=922](http://crimean-center.com/?page_id=922), Симферополь, 2014, с. 828-830.

16. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 145-150.

17. Pipia M., Beglarashvili N. Hail hits in eastern Georgia. Online scientific journal "International Scientific Publications", Info Invest Ltd, Burgas, Bulgaria. Scientific papers, Ecology & safety, Volume8, pg.567573. <http://www.scientificpublications.net/en/issue/1000001/>, 2014.

18. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Ш.Э., Пипия М.Г. Градобитие на территории Грузии. *European Geographical Studies*, vol. 2, No. 2, 2014, pp. 55-69.

19. Бартишвили И.Т., Надибаидзе Г.А., Бегалишвили Н.А., Гудушаури Ш.Л. К физическим основам метода ЗакНИГМИ борьбы с градом. Тр. ЗакНИГМИ, вып. 67(73), 1978, с. 73-82.

20. Гигинеишвили В.М., Ломинадзе В.П. Некоторые вопросы организации градовой службы в Алазанской долине. Тр. ЗакНИГМИ, вып.16(22), 1964, с. 93-97.

21. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометеиздат, 1967, 412 с.

22. Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Лапинскас В.А. Некоторые вопросы методики воздействия на градовые процессы с использованием противоградовой системы «Алазани». Тр. Института геофизики АН ГССР, т. 36, Тбилиси, Мецниереба, 1975, с. 13-27.

23. Давитая Ф.Ф., Таварткиладзе К.А. Проблема борьбы с градобитием, морозами в субтропиках и некоторыми другими стихийными процессами. Тбилиси, “ Мецниереба”, 1982, 220 с.

24. ამირანაშვილი ა., ამირანაშვილი ვ., ბლიაძე თ., ნოდია ა., ჩიხლაძე ვ., ბახსლოიანი მ., ხუროძე თ. კახეთში სეტყვიანობის მრავალწლიური ცვალებადობის თავისებურებანი, საქ. მეცნიერებათა აკადემიის გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. 21, 2003, გვ.134-149.

25. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumburidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of number of hail and thunderstorm days in the regions o Georgia with active influence on atmospheric processes. *Bull. of the Georgian Acad. of Sciences*, 172, N3, 2005, pp. 484-486.

26. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2013, с. 160-177.

27. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77-100.

28. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противоградовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.

29. Ватиашвили М.Р. Уточнение критериев засева ОВ II категории. Доклады научно-практической конференции, посвященной 40-летию начала производственных работ по защите сельскохозяйственных культур от градобитий. Нальчик, 2011, с. 127-134.
30. Ватиашвили М.Р., Исследование градоопасных и градовых ячеек в периоды проведения и отсутствия противорадовой защиты. Тр. научной конференции посвященной 80-летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 203-207.
31. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Берадзе Т.И., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Рухадзе Н.П., О возобновление работ по урегулированию осадков в восточной Грузии. Тр. Ин-та гидрометеорологии, ISSN 1512-0902, т. 108 Тбилиси, 2002, с. 249-260.
32. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Тр. Ин-та гидрометеорологии, ISSN 1512-0902, Т. 119 Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
33. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противорадовые ракеты типа земля воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, Т. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
34. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.113-120.
35. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О возобновление противорадовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
36. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
37. 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.
38. 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 V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, pp. 92-106.
39. 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.
40. Гигинеишвили В.М., Напетваридзе Е. А. Папинашвили К.Н. Основные типы синоптических процессов и погода в Грузии. Тр. ТбилНИГМИ, 1954.

სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოების პერსპექტივები ზოგიერთი  
კლიმატური მახასიათებლების გათვალისწინებით კახეთის რეგიონში  
(საქართველო)

ფიფია მ.

რეზიუმე

კახეთის რეგიონში სეტყვის საწინააღმდეგო სამუშაოების განახლების ფონზე განხილულია ამ სამუშაოების წარმოების პერსპექტივები, მიმოხილულია სეტყვის პროცესების განვითარება. კახეთის 8 მეტეოროლოგიური სადგურის დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე 1961-2012 წლების პერიოდისთვის, გაანალიზებულია სეტყვის ხანგრძლივობა და მოსვლის ალბათობა, სეტყვასთან ერთად მოსული ნალექების რაოდენობა, სეტყვიანობის ინტენსივობა. 1983-1991 წლების სტატისტიკური მონაცემების მიხედვით შედგენილია სეტყვიანობის საშუალო და მაქსიმალური ინტენსივობის გეოინფორმაციული რუკები.

**PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF ANTI-HAIL WORKS IN KAKHETI  
REGION (GEORGIA) TAKING INTO ACCOUNT SOME CLIMATIC INDICES**

**Pipia M.**

**Abstract**

In connection with the restoration of anti-hail works in Kakheti region the prospects for their conducting taking into account some climatic characteristics are examined. Development of hail processes is studied. According the data of 8 meteorological stations in Kakheti during the period from 1961 to 2012 the analysis of duration and probability of hail damages, precipitation together with the hail, the intensities of hail damages are carried out. According to the statistical data for the 1983 – 1991 the geo information maps of the average and maximum intensity of hail damages are obtained.

**ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ В  
КАХЕТИНСКОМ РЕГИОНЕ (ГРУЗИЯ) С УЧЕТОМ НЕКОТОРЫХ  
КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

**Пипия М.Г.**

**Реферат**

В связи с восстановлением противоградовых работ в Кахетинском регионе рассмотрены перспективы их проведения с учетом некоторых климатических характеристик. Изучено развитие градовых процессов. На основании данных 8 метеорологических станций в Кахетии за период 1961-2012 гг. проведен анализ продолжительности и вероятности градобитий, выпадения осадков вместе с градом, интенсивности градобитий. По статистическим данным за 1983-1991 гг. получены геоинформационные карты средней и максимальной интенсивности градобитий.

## ОБ ОЦЕНКАХ ФИЗИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЫ

<sup>1</sup>Бурнадзе А.С.,<sup>2</sup>Варамашвили Н.Д., <sup>1</sup>Джамришвили Н.К., <sup>1</sup>Квеселава Н.С.

<sup>1</sup>Научно-технический центр «Дельта»

<sup>2</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, ldvarama@gmail.com

Несмотря на значительный прорыв современных технологий противорадовой защиты (ПГЗ) – методы радиолокационной индикации градовых процессов, новые средства и способы доставки реагента в облака, автоматизация операциями воздействия и др. [1-9], - пока не удастся обеспечить полное предотвращение градобитий. Поэтому весьма актуальной является проблема объективной оценки физической и экономической эффективности ПГЗ, а также статистическое обоснование надежности полученных эффектов активного воздействия (АВ), показывающее превалирование этих эффектов над естественной пространственно-временной изменчивостью градовых осадков [1,10]. Подробно этот вопрос рассмотрен в руководстве [1]. Ниже представлен обзор работ по оценке физической эффективности противорадовой защиты, за основу которого взяты сведения из указанного руководства, который может быть полезен для работников восстановленной в 2015 году Противорадовой службы Грузии [5,6].

Термин «физическая эффективность» означает способность используемой технологии ПГЗ предотвратить градобития, уменьшить площадь градобитий, сократить ущерб от града в  $n$  раз (или на  $N$ , %). Термин «экономическая эффективность» определяет экономическую выгоду и окупаемость затрат на применение различных технологий ПГЗ.

Оценка физической и экономической эффективности работ по модификации погоды обычно производится следующими методами [1]:

- метод «исторического ряда», который основан на сравнении статистических рядов данных о частоте и площадях градобитий, ущербе от града или количества осадков до защиты и в годы защиты;
- метод «контрольной территории» (КТ), предусматривающий сравнение значений указанных характеристик на КТ и защищаемой территории (ЗТ);
- сочетание методов исторического ряда и контрольной территории;
- метод рандомизации;
- метод сравнения ожидаемых и реальных случаев градобитий по данным радиолокационных наблюдений.

1) Метод контрольной территории основан на сопоставлении характеристик града на ЗТ и КТ при условии, что характеристики градовых осадков, структура посевов и ущерб от града на КТ коррелирует с этими же характеристиками на ЗТ. Недостатками этого метода являются трудность выбора КТ с хорошей корреляцией характеристик градовых осадков и структуры

сельхозугодий на ЗТ и возможность серьезных ошибок, связанных с большой пространственно-временной изменчивостью градовых процессов (их частоты, интенсивности и масштаба). Кроме того, защита обычно осуществляется в горных долинах, окруженных горной местностью, где культивируемые территории отсутствуют. Из-за этих трудностей в выборе адекватной КТ в большинстве случаев применяется метод «исторического ряда».

2) Метод исторического ряда базируется на сравнении характеристик града и ущерба от града до защиты и в период защиты в предположении неизменности климатологии града в эти периоды. Для получения статистически надежных оценок требуются достаточно длинные ряды таких данных. Одной из проблем является также корректный учет градоопасности года защиты, который может варьировать в пределах  $\pm 3$  раза от среднего значения [1,10]. Точность метода исторического ряда повышается по мере увеличения длины рядов данных или площади ЗТ, так как охват большей площади приводит к уменьшению пределов пространственно-временных вариаций градовых осадков, имеющих локальный характер.

3) Метод рандомизации, рекомендуемый для статистической оценки эффективности предотвращения града и других видов работ в области модификации погоды, основан на использовании двух рядов данных для экспериментальных единиц с засевом и без засева облаков [1, 11, 12]. Экспериментальной единицей может быть либо день, либо отдельное облако с засевом и без засева, выбираемых по закону случайных чисел (1 – засев, 0 – без засева).

4) Метод сравнения ожидаемых и реальных случаев градобитий по данным радиолокационных наблюдений является формализованным методом, который обычно дает завышенные результаты по эффективности воздействия, так как зачастую индикация градоопасного облака не всегда гарантирует выпадения из него града на поверхность земли. Тем не менее этот метод, учитывая бурное развитие радиолокационной техники [1, 3, 5, 7], вполне может иметь перспективу.

В случаях, когда по закону случайных чисел выпадает день (или облако) с засевом, объекты воздействия (ОВ) засеваются применяемыми реагентами, а в остальных случаях ОВ засеваются условно имитаторами средств воздействия, не содержащими реагентов. В результате реализации такого проекта создается два ряда данных о значениях параметров засеянных и незасеянных ОВ, статистическая обработка которых может обеспечить объективную оценку эффективности результатов засева.

Применение метода рандомизации для оценки эффективности работ по предотвращению града представляется неоправданным вследствие большого разнообразия типов градовых процессов, не сопоставимых между собой по интенсивности и масштабу градобитий. Одно суперячейковое облако может причинить ущерб, превышающий совокупный ущерб от всех остальных градовых облаков и нарушить однородность статистических рядов данных. Даже внутри класса суперячейковых облаков имеются серьезные различия в масштабе, интенсивности и продолжительности градобития, исключаящие их адекватное сравнение. Поэтому набор статистически обеспеченного ряда данных по суперячейковым облакам требует выполнения нереально продолжительных проектов.

4) Метод псевдорандомизации в этом плане более привлекателен [1, 10, 13, 14]. Согласно этому методу все градовые и градоопасные облака на ЗТ, соответствующие критериям засева, засеваются, а такие же ОВ на прилегающей территории (или идентичной по площади КТ), расположенной со стороны вторжения градовых процессов засеваются условно (т.е. не засеваются). Критерии выбора ОВ и решение о начале реального и условного засева принимаются идентично. На основе полученных данных формируется два статистических ряда

по эволюции параметров засеянных (на ЗТ) и не засеянных (на КТ) ОВ. Эффективность этого метода повышается при дифференцировании ОВ по степени градоопасности по четырем категориям. Сравнение результатов засева ОВ всех категорий без такого дифференцирования, как это выполнено в работах [15, 16], приводит к смазыванию эффекта, так как эффективность засева зависит от степени градоопасности засеваемых облаков.

Для оценки физической эффективности ПГЗ может быть использовано множество метеорологических и физических параметров градовых процессов: частота выпадения града ( $F$ ), размер града ( $d_m$ , см), кинетическая энергия градовых осадков ( $E$ , Дж/м<sup>2</sup>), суммарная ( $E_{\Sigma}$ , Дж) и глобальная кинетическая энергия градовых осадков ( $E_G$ , Дж), масса и слой выпавшего града, площадь выпадения града ( $S_G$ , км<sup>2</sup>), степень повреждений ( $K$ , %), ущерб от града ( $Y$ ) и другие характеристики.

Пространственно-временная изменчивость продолжительности (от долей минут до нескольких часов) и площади градобитий (от долей га до десятков тысяч га), плохая корреляция ущерба с размером града, площадью градобития, а также увеличение ущерба за счет сопутствующего ливневого дождя и ветра осложняют выбор надежных показателей эффективности. Из множества перечисленных показателей эффективности следует выбрать такие, которые лучше реагируют на засев, могут быть достаточно надежно измерены и лучше характеризуют конечную цель ПГЗ – уменьшение потерь урожая.

Оценку параметров градобитий обычно осуществляют по данным градомерной сети, радиолокационных измерений и обследования районов выпадения града, заинтересованными учреждениями.

Сведения о частоте выпадения града ( $F$ ) могут быть получены по данным сети метеорологических станций и постов, по которым строятся изолинии частоты выпадения града на ЗТ, КТ и прилегающей и КТ территории (ПТ). Однако эта сеть редкая, и выпадение града между пунктами наблюдений не фиксируются.

Методы оценки эффективности ПГЗ на основе данных градомерных сетей рассмотрены в работах [1, 11-14] и др. Плотная градомерная сеть, как показано в этих работах, позволяет регистрировать выпадение града и получить данные о площади выпадения града и полях кинетической энергии града. Однако, несмотря на обилие применяемых типов датчиков (градовые подушки, градовые кубы, градосборники, сепараторы, оптические, акустические, ультразвуковые и пьезоэлектрические спектрометры), градомерные сети не обеспечивают требуемого разрешения в пространстве. Такие сети обычно создаются с плотностью не более одного датчика на 10 км<sup>2</sup>.

Радиолокационные данные обеспечивают получение непрерывных во времени и пространстве полей градовых осадков и получение с достаточно высоким разрешением карты площади выпадения града, карт размера и кинетической энергии града на ЗТ и ПТ, а также значений глобальной кинетической энергии града  $E_{\Sigma}$  (Дж), интегрированной по всей площади выпадения града, вероятности выпадения града, размеров града в облаке. Применение радиолокационного метода более предпочтительно в сочетании с данными градомерных наблюдений в отдельных реперных точках для калибровки радиолокационных данных.

Полезной является информация системы страхования от града, применяемая во многих странах, благодаря созданию длинных исторических рядов данных о количестве дней с ущербом от града, площади и степени повреждений. Однако методы страхования [15-17] в разных странах сильно отличаются друг от друга и изменяются со временем. Кроме того, система страхования может охватывать не все хозяйства. Например, в бывшем СССР Госстрах страховал собственность колхозов, но не страховал собственность совхозов [15-16]. В Болгарии

и Аргентине [17], при величине потерь от града меньше 5% страховая компания не возмещает ущерб. В США [14] и Аргентине [17] страховые компании возмещают 50% сокращения урожая. Потери определяются оценщиком страховой компании (который стремится снизить ущерб) и фермером (который стремится завысить ущерб). Поэтому при использовании данных органов страхования необходимо учитывать эти различия и изменения.

Более приемлемым и объективным является результат обследования площадей градобитий комиссией, состоящей из представителей органов сельского хозяйства, пострадавшего хозяйства, Противоградовой службы и страхового агентства (если поля застрахованы). При этом представители пострадавшего хозяйства обычно заинтересованы в завышении ущерба, органы страхования и представители Противоградовой службы – в занижении. В процессе дискуссии обычно достигается более объективная оценка. Так, в Кахетии оценка ущерба от градобитий в годы работы Противоградовой службы в прошлом столетии проводилась органами государственного страхования, местными агропромышленными организациями (РАПО – районные агропромышленные объединения), а также специальным экономическим отделом Службы борьбы с градом. Обычно, размеры ущерба, определенные этими организациями, отличались друг от друга. При этом данные госстраха в среднем были выше данных Противоградовой службы и ниже данных РАПО [18].

Преимуществом оценки ущерба на основе детального обследования пострадавших посевов является то, что каждое растение на ЗТ является своего рода градовой подушкой и при тщательном обследовании ЗТ обнаруживается любое мелкомасштабное градобитие и оценивается реальный ущерб.

К факторам, сильно влияющим на размер ущерба от града, относят:

- разную чувствительность сельхозкультур к повреждениям от града;
- зависимость ущерба от стадии вегетации;
- направления и силы ветра. Ущерб возрастает на 30%, если направление ветра перпендикулярно направлению рядов виноградника, фруктовых деревьев и т.д.;
- интенсивный град, даже небольших размеров может причинять более серьезный ущерб, чем крупный, но редкий град и т.д.

Для оценки физической эффективности ПГЗ используются апробированные на практике параметры:

- площадь выпадения града  $S_{\Gamma}$ , га;
- площадь повреждённых от градобитий сельхозкультур  $S_{\Pi}$ , га;
- степень повреждения сельхозкультур от градобитий  $K$ , %;
- площадь градобитий в пересчёте на 100% повреждения  $S_{100}$ , га;
- процент потерь сельхозпродукции от градобитий  $N$ , %;
- карты кинетической энергии градовых осадков  $E$ , Дж/м<sup>2</sup> и глобальной кинетической энергии градовых осадков  $E_{\Sigma}$ , Дж.

Площадь выпадения града  $S_{\Gamma}$  может измеряться с помощью радиолокатора или плотной градомерной сети, но она охватывает как площади повреждений, так и площади без повреждения зеленых насаждений, и поэтому с точки зрения оценки эффективности ПГЗ этот параметр не очень информативен.

Значения  $S_{\Pi}$  и  $K$  оцениваются органами сельского хозяйства и страхования совместно с представителем Противоградовой службы. Хотя эти оценки в определенной мере субъективны, без них не обходится ни один серьезный проект ПГЗ.

Параметр  $S_{100}$  – интегральный параметр, учитывающий площадь повреждений  $S_{\Pi}$  и степень повреждения сельхозкультур от градобитий  $K$ .

Более информативным показателем физической эффективности ПГЗ является еще более интегральный параметр – процент потерь сельхозпродукции от градобитий  $N$  (%), который учитывает площадь градобитий, степень повреждений. Преимуществом этого параметра является то, что он нормирован к площади культивируемой территории, обеспечивает возможность сравнения градоопасности различных регионов и удобен для получения однородных рядов данных для статистических оценок независимо от изменений по годам площади ПГЗ. Значение  $N$  в предположении однородности урожая на площадях, охваченных и неохваченных градобитием, рассчитывается [1, 10, 19] по формуле:

$$N = \frac{S_{100} \cdot \bar{C}}{S_k \cdot C} \cdot 100 = \frac{S_{100}}{S_k} \cdot 100$$

где  $S_k$  – площадь культивируемой территории на ЗТ (га);  $\bar{C}$  – средняя стоимость урожая с 1 га ЗТ (га).

Производственные работы по защите сельскохозяйственных культур от градобитий в Грузии проводились в период с 1967 по 1989 гг. [18]. К концу 80-х годов прошлого столетия площадь защищаемой территории в районах Кахетии достигала 800 тыс. га и в районах Южной Грузии – 400 тыс. га. Эффективность противоградовых работ в Грузии к этому времени по данным о пострадавших сельскохозяйственных угодий составляла примерно 70% [1,18,20]. Средняя физическая эффективность (сопоставление данных об ожидаемых и реальных случаях града) – 75-85% [5].

После прекращения противоградовых работ обнаружилось, что площади, побитые градом в Кахетии увеличились и даже стали больше, чем до начала работы Противоградовой службы [18,21]. Более того, оценки влияния антропогенного (в том числе и радиоактивного) загрязнения атмосферы на интенсивность грозовых и градовых процессов, а также режим осадков [22-24], показали, что связь этого загрязнения с указанными явлениями атмосферы имеют достаточно сложный характер. В целом же аэрозольное загрязнение атмосферы приводило к усилению интенсивности градобитий и, соответственно, к уменьшению эффективности противоградовых работ [24]. Аналогичная ситуация отмечалась и на Северном Кавказе [25]. Так, в среднем, в 1968-1988 гг. в Кахетии с ростом аэрозольного загрязнения атмосферы эффективность противоградовых работ уменьшилась с 86 до 68 %, а на Северном Кавказе с 88 до 49 % [25].

В 2015 году со дня возобновления работы Противоградовой службы в Кахетии (28 мая) всего было 36 дней с воздействием. Обработано 185 градоопасных и градовых зон. Град выпал всего в 3 случаях. Физическая эффективность противоградовых работ по результатам сопоставления реальных и ожидаемых дней с градом в указанном году составил около 92%. Несмотря на то, что в 2015 году работа службы, главным образом, проходила в тестовом режиме, предварительный анализ показал успешность и дальнейшую перспективность противоградовых мероприятий.

## Литература

1. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Баркова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.



2. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. – Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
3. 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
4. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2014, с. 113-120.
5. 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 V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, 2015, pp. 92-106.
6. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти 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.
7. 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 противоградской службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.
8. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.
9. Абаидзе О.А., Арвеладзе Л.В., Беракчян И.Ю., Дзаганашвили Д.Р., Кирия Дж.К., Манагадзе И.Б., Размаишвили Р. Н., Татишвили Г.З., Ундилашвили Г.Д., Чхаидзе Б.Дж. Дистанционная система управления активными воздействиями на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 53-59.
10. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Оценка эффективности предотвращения града. СПб., Гидрометеоздат, 2006, 280 с.
11. Foote G.B., Mohr C.G. Results of randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part VI. Post hoc stratification by storm intensity and type . Appl. Met., № 18, 1979, pp. 1589-1600.
12. Federer B., Waldvogel A., Schmidt W. et al. Main results of Grossversuch-4. J. Climate Appl. Met., vol. 25, 1986, pp. 917 - 957.
13. Dessens J., Jose Luis Sanchez, Roberto Fraile. Response of Silver iodide ground seeding on different types of hailstorms as measured with hail pads. 7<sup>th</sup> WMO Sci. Conf. on Weather Modification. Chiang Mai, Thailand, vol. 2, 1999, pp. 387-390.
14. Smith P.L., Johnson L.R., Priegnitz D.L., Mielke P.W. Statistical evaluations of the North Dakota cloud Modification Project. 6<sup>th</sup> WMO Sci. Conf. On Weather Modification. Paestum, Italy, vol.1, 1994, pp. 281-284.

15. Инструкция о государственном обязательном страховании имущества сельскохозяйственных предприятий системы Госагропрома СССР. М., Финансы и статистика, 1988, 96 с.
16. Инструкция по определению и выплате страхового возмещения сельскохозяйственным предприятиям системы МСХ СССР по обязательному страхованию сельхозкультур и многолетних насаждений. М., Финансы, 1978, 26 с.
17. Manual de Tasaciones de Danos de granizo en vinedos. Mendosa, 1973, 87 p.
18. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с. 77-100.
19. Абшаев М.Т., Сафаров С.Г. Оценка эффективности активного воздействия на градовые процессы. Тр. ВГИ, вып. 80, 1991, с. 122-136.
20. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
21. Амиранашвили А., Амиранашвили В., Блиадзе Т., Нодиа А., Чихладзе В., Бахсолиани М., Хуродзе Т. Особенности многолетней изменчивости градобитий в Кахетии. Тр. Института географии им. Вахушти Багратиони АН Грузии, т. 21, USSN 1512-1224, Тбилиси, 2003, с. 58-79, (на грузинском языке).
22. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial ice forming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity. Proc. 12th Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 1, 1996, pp. 267-270.
23. Amiranashvili A. Connection Between the characteristics of thunderstorm activity and air pollution in Kakheti region of Georgia. Proc. of IX Int. Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Brazil, 26-30 November 2007.
24. Амиранашвили А.Г. Влияние антропогенного загрязнения атмосферы на изменчивость интенсивности градовых процессов. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 64, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2013, с. 160-177.
25. Аджиев А.Х., Амиранашвили А.Г., Чаргазия Х.З. Влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на эффективность противорадовых работ в Кахетии и на Северном Кавказе. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 387-395.

## სეტყვისგან დაცვის ფიზიკური ეფექტურობის შეფასების შესახებ

ბურნაძე ა., ვარამაშვილი ნ., ჯამრიშვილი ნ., კვესელავა ნ.

### რეზიუმე

წარმოდგენილია სეტყვასაწინააღმდეგო დაცვის ფიზიკური ეფექტურობის შეფასების შესახებ ნაშრომების მიმოხილვა. კერძოდ, აღნიშნულია, რომ სეტყვიანი დღეების რეალური და მოსალოდნელი შედეგების შეპირისპირებისას სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების ფიზიკურმა ეფექტურობამ 2015 წელს კახეთში შეადგინა დაახლოებით 92%.

## ON THE ESTIMATIONS OF THE PHYSICAL EFFECTIVENESS OF ANTI-HAIL PROTECTION

**Burnadze A., Varamashvili N., Jamrishvili N., Kveselava N.**

### Abstract

The survey of works on the estimation of the physical effectiveness of anti-hail protection is represented. In particular, it is noted that the physical effectiveness of anti-hail works according to the results of the comparison of the real and expected days with the hail in 2015 year in Kakheti was about 92%.

## ОБ ОЦЕНКАХ ФИЗИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОГРАДОВОЙ ЗАЩИТЫ

**Бурнадзе А.С., Варамашвили Н.Д., Джамришвили Н.К., Квеселав Н.С.**

### Реферат

Представлен обзор работ по оценке физической эффективности противоградовой защиты. В частности отмечается, что физическая эффективность противоградовых работ по результатам сопоставления реальных и ожидаемых дней с градом в 2015 году в Кахетии составила около 92%.

## ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ

<sup>1</sup>Бурнадзе А.С.,<sup>2</sup>Варамашвили Н.Д.,<sup>1</sup>Квеселава Н.С.

<sup>1</sup>Научно-технический центр «Дельта»

<sup>2</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, ldvarama@gmail.com

Оценка экономической эффективности Противоградовой защиты (ПГЗ) чаще всего осуществляется методами исторического ряда и контрольной территории. Эти методы предусматривают оценку эффективности ПГЗ за сезон или несколько сезонов путем сравнения значений площадей градобитий, степени повреждений и других характеристик градовых осадков на защищаемой территории (ЗТ) в год защиты со среднемноголетними их значениями до защиты, либо с их значениями на контрольной территории (КТ) соответственно. Подробный обзор этих методов проведен в работе [1]. Ниже представлены сведения об основных методах по оценке экономической эффективности Противоградовой защиты, заимствованные, в основном, из руководства [1], которые могут быть полезны для работников восстановленной в 2015 году Противоградовой службы Грузии [2,3] в их практической деятельности.

Изучению оценки экономической эффективности противоградовых работ Ее посвящено множество работ, в которых предложены различные методы оценки. Условный экономический эффект (количество  $E_y$  и стоимость  $E_e$  сельхозпродукции), сохраненной от градобития, в работе [4] рассчитывали по формулам:

$$E_y = \left( \frac{\bar{S}_o}{\bar{S}_k} \bar{a} \cdot S'_k b - S'_o a \right) Y_p$$
$$E_e = \left( \frac{\bar{S}_o}{\bar{S}_k} \bar{a} \cdot S'_k b - S'_o a \right) C$$

где  $\bar{S}_o$  и  $\bar{S}_k$  – среднемноголетняя площадь поврежденных градом сельхозкультур на ЗТ и КТ, соответственно до защиты;  $S'_o$  и  $S'_k$  – то же в год защиты;  $\bar{a}$  и  $\bar{b}$  – средневзвешенный процент повреждения на ЗТ и КТ до организации ПГЗ;  $a$  и  $b$  – то же в год защиты;  $Y_p$  – средняя урожайность сельхозкультур, т/га;  $C$  – стоимость сельхозпродукции, руб./га.

Для расчета значений  $E_e$  в [5, 6] предложена формула:

$$E_e = \left( \frac{S_{oi}}{S_{ki}} \cdot S'_k b - S'_o a \right) C$$

где  $\frac{S_{oi}}{S_{ki}}$  – минимальное значение отношения площадей градобитий на ЗТ и КТ за 10-летний период до защиты.

Метод оценки  $E_e$  с использованием года аналога также предложен и в работе [7]:

$$E_e = \frac{S_{AH} \sum_{i=1}^n S_{3i} C_{3i}}{\sum_{i=1}^n S_{3i}} - Y_\phi - 3,$$

где  $S_{3i}$  и  $C_{3i}$  – площадь  $i$ -й культуры, поврежденной градом и средняя стоимость урожая  $i$ -й культуры в год защиты;  $S_{AH}$  – площадь  $i$ -й культуры, поврежденной градом, до защиты в год-аналог;  $У_{\phi}$  – фактический ущерб на ЗТ;  $З$  – затраты на проведение защиты.

Следует отметить, что применение этого метода наталкивается на проблему подбора адекватного года-аналога.

Для оценки  $Ee$  авторы работы [8] предложили выражение:

$$Ee = C (S_k - S_s) - З$$

где  $S_s$ , и  $S_k$  – площади градобитий в пересчете на 100% повреждения на ЗТ и КТ.

В Военизированных Службах Госкомгидромета союзных республик использовался метод оценки  $Ee$ , базирующийся на методике оценки эффективности капитальных затрат [1]. В соответствии с этим методом

$$Ee = [\Delta Y - (Ц + 0.15K)] \cdot S$$

где  $\Delta Y$  – разница в потерях сельхозпродукции до защиты и в год защиты в среднем на 1 га ЗТ;  $Ц$  – себестоимость защиты 1 га;  $K$  – объем капиталовложений на 1 га;  $S$  – площадь ЗТ.

Авторами работы [9] было предложено оценивать  $Ee$  по формуле:

$$Ee = \sum_{i=1}^n (S_{oi} \Gamma_i K_{pi} P_i - S'_{oi}) Y_{oi} Ц_{oi}$$

где  $S_{oi}$  и  $S'_{oi}$  – общая площадь и площадь погибших посевов  $i$ -й культуры в год защиты на ЗТ, га;  $\Gamma_i = \frac{\bar{S}_{oi}}{S_{oi}}$  – коэффициент ожидаемого повреждения  $i$ -й культуры на ЗТ;  $Y_{oi}$  – урожайность  $i$ -й культуры в год защиты на ЗТ, т/га;  $Ц_{oi}$  – закупочная цена  $i$ -й культуры;  $K_{pi} = \frac{S_{oi}}{S_{oi}}$  – коэффициент площади посевов  $i$ -й культуры;  $n$  – число культур, поврежденных градом на ЗТ;  $P$  – рентабельность ПГЗ, которую предлагается рассчитывать по отношению полученной выгоды к затратам.

Для оценки стоимости сохраненного урожая хлопчатника в статье [10] предложено следующее выражение:

$$C = (S_s - S'_{\phi}) \cdot \Delta Y \cdot Ц_{xl}$$

где  $S_s$  и  $S'_{\phi}$  – ожидаемая (без защиты) и фактическая площади повреждений хлопчатника на ЗТ, га;  $\Delta Y$  – уменьшение урожая хлопчатника за счет градобитий, т/га;  $Ц_{xl}$  – закупочная цена хлопка.

В последующем автор работы [11] в целях повышения точности оценки эффективности ПГЗ предложил оценку ущерба от градобитий осуществлять с учетом стадии развития хлопчатника.

Указанные методы основаны на сравнении потерь от града на ЗТ до защиты и в годы защиты и различаются, в основном, используемыми показателями, источниками информации и порядком обработки данных. Основную сложность в оценке эффективности ПГЗ методом исторического ряда и контрольной территории представляет оценка ожидаемого ущерба, который был бы причинен без проведения защиты. Авторы работ [12, 13] исследовали возможности оценки ожидаемого ущерба на основе адаптивного прогнозирования, базирующегося на использовании кубических сплайн-функций и теоретического моделирования градовых процессов. Предложен метод предсказания значений потерь от града и других характеристик градовых процессов по данным о естественном ходе потерь от града, радиолокационных и других параметров градовых облаков и использовать их для оценки физической и экономической эффективности ПГЗ. Этот подход требует достаточно длинных рядов наблюдений естественного хода значений параметров с частотой, обеспечивающей регистрацию всех их колебаний (гармоник), обусловленных различными физическими

процессами (трендами климата, различиями в аэросиноптических и термодинамических характеристиках атмосферы, обуславливающих развитие градовых процессов разного масштаба и интенсивности).

В качестве критерия интенсивности градовых процессов помимо аэросиноптических и термодинамических характеристик атмосферы, в работе [14] была взята площадь гибели сельскохозяйственных культур  $S_{100}$  и были выделены три группы градовых процессов:

- интенсивные процессы ( $S_{100} > 1000$  га),
- средние процессы ( $200 < S_{100} < 1000$  га),
- слабые процессы ( $S_{100} < 200$  га).

В работах [15-18], на основании анализа литературных данных, предложена шкала интенсивности градобитий с учетом размера выпавших градин, площадей 100% повреждения и возможного повреждения и ущерба.

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

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

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

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

Градобития интенсивностью 5 баллов (диаметр градин более 50 мм, площадь повреждения более 5000 га, эффект очень сильный). Полное уничтожение урожая сельскохозяйственных культур, посевов и пастбищ. Разрушение деревянных зданий, серьезное повреждение кирпичных зданий, корпусов самолетов и автомобилей, разрушение крыш некоторых зданий. Имеются жертвы домашнего скота, наличие риска гибели людей.

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

Приведенный обзор показывает, что основными задачами определения экономической эффективности и значимости сокращения потерь от града являются оценка следующих параметров:

- площади спасенного от градобитий урожая,
- количества спасенного урожая,

- экономической эффективности ПГЗ,
- чистого дохода от проведения ПГЗ,
- рентабельности затрат на проведение ПГЗ.

Для оценки экономической эффективности ПГЗ используются показатели, прямо или косвенно характеризующие ущерб от градобитий:

- площадь выпадения града  $S_{\Gamma}$  (га),
- площадь градобития  $S_{\Pi}$  (га),
- степень повреждений посевов от града  $K$  (%),
- площадь градобитий до защиты и в год защиты в пересчете на 100% повреждения  $\bar{S}_{100c}$  и  $S_{100s}$  (га),
- процент потерь сельхозпродукции от градобитий на ЗТ до защиты  $CN$  и в год защиты  $NS$  или на КТ и ЗТ,
- степень сокращения ущерба от града на ЗТ в годы защиты  $E_{\Gamma}$  (%).

Площадь выпадения града  $S_{\Gamma}$ , регистрируемая метеорологическими станциями и постами, радиолокатором, градомерной сетью или по показаниям очевидцев обычно значительно больше площади повреждений, так как мелкий град слабой интенсивности не наносит повреждений большинству культур. Кроме того, не вся эта площадь выпадения града охвачена сельскохозяйственным производством. Около 20 – 45% площадей ЗТ, рассматриваемых регионов защиты, не культивируются и заняты горами, лесами, озерами и водохранилищами, поймами рек, дорогами, населенными пунктами, промышленными объектами и т.д.

Площадь повреждений  $S_{\Pi}$  – более информативный показатель, чем площадь выпадения града, но большие пространственные вариации размера и интенсивности града приводят к большим вариациям степени повреждений (в пределах  $0 < K < 100\%$ ). Ущерб на площади 1000 га с 5% повреждениями меньше ущерба на 100 га, поврежденных на 80%. С другой стороны степень повреждений зависит от вида и стадии вегетации растений и очень сильно варьирует по площади, охваченной градобитием. Более информативным показателем ущерба является площадь градобития в пересчете на 100% повреждения  $S_{100}$ , учитывающая площадь градобития и степень повреждения. Однако различия площади ЗТ в разные годы и в разных регионах защиты затрудняют получение однородных сопоставимых статистических рядов данных.

Поэтому из множества показателей эффективности в качестве наиболее информативного предлагается параметр [1, 19, 20], характеризующий долю потерь от града, выраженную в %. Этот параметр учитывает площади и степень повреждений и позволяет создать сравнимые статистические ряды данных до защиты ( $\bar{N}_c$ ) и в период защиты ( $N_s$ ) независимо от изменения по годам площади ЗТ ( $S_{ЗТ}$ ).

Кроме того, для оценки экономической эффективности ПГЗ необходимы данные, характеризующие затраты на проведение защиты и стоимость защищаемой продукции:

- операционные (О) и капитальные (Т) затраты на проведение ПГЗ,
- культивируемая площадь на ЗТ (га)
- структура посевов (экспликация) на культивируемой территории:
- средняя стоимость урожая с 1 га ЗТ  $\bar{C}$  (га).

Условно чистый доход, получаемый от проведения ПГЗ  $d$ , рассчитывается по формуле [1]:

$$d = Ee - U = (Y_c - Y_s) - (O + 0.15 K),$$

где  $U$  - суммарные годовые затраты на проведение ПГЗ;  $Y_c$  – потенциальный ущерб на ЗТ в год защиты, который мог быть без проведения ПГЗ (в денежных единицах),  $Y_s$  – фактический

ущерб на ЗТ в год защиты (в денежных единицах), О - операционные расходы; 0.15 - коэффициент, учитывающий износ капиталовложений; К - объем капиталовложений, включающий стоимость капитального оборудования, баз командных пунктов и пунктов воздействия.

Операционные расходы включают затраты на заработную плату, приобретение противорадовых изделий (ПГИ), горюче-смазочных материалов (ГСМ), энергоносителей, канцелярские и другие накладные расходы.

Основные затраты при реализации ПГЗ включают такие компоненты, как: стоимость годового расхода ПГИ, расходы на оплату труда, разные расходы (приобретение ГСМ, энергоносителей, расхода на коммунальные услуги, командировочные, канцелярские и накладные расходы и др.).

В Кахетии в годы работы Противорадовой службы в прошлом столетии средняя площадь сельхозкультур, поврежденных градом на 100%, без воздействий на градовые облака по многолетним данным составляла 4.8 % от средней площади сельхозугодий, максимальная - 8.6 %, минимальная - 1.8 % [18]. В 2015 году в Кахетии градом на 100% было повреждено примерно 3500 га сельхозугодий, или около 1.5 % от их общей площади (230000 га), что меньше минимального значения в годы без воздействия (1.8%) и равно примерно 30% от среднего значения в годы без воздействия (4.8 %). Соответственно, экономический эффект по данным о побитых градом территориях в 2015 году составил около 70%.

Учитывая тестовый режим проведения противорадовых работ в 2015 году, результаты их как по физическому (92%) [21], так и экономическому эффекту, являются достаточно удовлетворительными.

### Литература

1. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, "Печатный двор", 2014, 500 с.
2. 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, 2015, pp. 92-106.
3. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти 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.
4. Бухникашвили А.В., Карцивадзе А.И., Гайворонский И.И., Серегин Ю.А. и др. Методика активных воздействий на градовые процессы и результаты опытов, проведенных в Алазанской долине. Труды Всес. совещания по АВ на градовые процессы, Тбилиси, 1964, с. 76-87.
5. Сулаквелидзе Г.К. Ливневые осадки и град. Л., Гидрометеиздат, 1967, 412 с.
6. Сулаквелидзе Г.К., Джураев А.Д., Сокол Г.П. Оценка эффективности противорадовых работ. Труды СаНИИ, вып. 48 (129), 1977, с. 32 - 44.
7. Бокова П.А., Джураев А.Д., Севастьянова Т.В. Некоторые синоптические характеристики градообразующих процессов в Гиссарской долине. Тр. САРНИГМИ, вып. 31 (46), 1974, с. 135-144.
8. Ломинадзе В.П., Бартишвили И.Г., Гудушаури Ш.Л. Методика оценки экономической эффективности работ по борьбе с градом. Тр. ЗакНИИ, вып. 55 (61), 1974, с. 79-91.



9. Легкоступ С.С., Наурзоков Ю.Х. Методика расчета общей (абсолютной) экономической эффективности противоградовых мероприятий. Тр. ВГИ, вып. 20, 1972, с.18-21
10. Камалов Б.А., Махмудов К.М., Муминов Ф.А. Оценка эффективности противоградской защиты хлопчатника. М., Гидрометеоздат, 1984, с. 7.
11. Махмудов К. Определение ущерба от градобитий хлопчатника на разных стадиях развития. Метеорология и гидрология, № 3, 1981, с. 97-102.
12. Ашабоков Б.А., Калажоков Х.Х. О применении сплайн-функций к решению задачи прогнозирования в методах оценки эффективности противоградовых работ. Труды ВГИ, вып. 55, 1984, с. 24-30.
13. Ашабоков Б.А., Калажоков Х.Х., Федченко Л.М. Методы оценки эффективности активных воздействий на градовые процессы. Обзор ВНИИГМИ–МЦД. Гидрометеорология, вып. 5, 1989, 36 с.
14. Федченко Л.М., Гораль Г.Г., Беленцова В.А., Мальбахова Н.М. Опасные конвективные явления и их прогноз в условиях сложного рельефа. М.: Гидрометеоздат, 1991, 424 с.
15. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. *Natural Hazards*, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, [http://www.springerlink.com/content/9311\\_p18582143662/fulltext.pdf](http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf). 2013.
16. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 145-150.
17. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А. Г., Варазанашвили О. Ш., Церетели Н. С., Элизбарашвили М. Э., Элизбарашвили Ш. Э., Пипия М. Г. Градобитие на территории Грузии. *Европейские географические исследования*, т. 2, № 2, ISSN: 2312-0029, DOI: 10.13187/egs.2014.2.55, [www.ejournal9.com](http://www.ejournal9.com), 2014, с. 55-69.
18. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с. 77-100.
19. Абшаев М.Т., Малкарова А.М. Оценка эффективности предотвращения града. СПб., Гидрометеоздат, 2006, 280 с.
20. Abshaev M.T., Malkarova A.M. Efficiency of Russian hail suppression technology in different regions. *Hail suppression research. Report No 6. Meeting of experts WMO on hail suppression.* Nalchik, 2003, pp. 99-115.
21. Бурнадзе А.С., Варамашвили Н.Д., Джамришвили Н.К., Квеселава Н.С. Об оценках физической эффективности противоградской защиты. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 108-115.

**სეტყვისსაწინააღმდეგო სამუშაოების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების  
ძირითადი მეთოდები**

**ბურნაძე ა., ვარამაშვილი ნ., კვესელავა ნ.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია მონაცემები სეტყვისსაწინააღმდეგო სამუშაოების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების ძირითადი მეთოდების შესახებ. აღინიშნება, რომ დასეტყვილი ტერიტორიების შესახებ მონაცემების თანახმად, კახეთში 2015 წელს ეკონომიკურმა ეფექტურობამ დაახლოებით 70% შეადგინა. ვითვალისწინებთ რა სეტყვისსაწინააღმდეგო სამუშაოების სატესტო რეჟიმს, ეკონომიკური ეფექტიანობის შედეგები შეიძლება ჩავთვალოდ საკმაოდ დამაკმაყოფილებლად.

**BASIC METHODS OF THE ESTIMATION OF ECONOMIC EFFECTIVENESS IN  
THE ANTI-HAIL WORKS**

**Burnadze A., Varamashvili N., Kveselava N.**

**Abstract**

The information about the basic methods of the estimation of economic effectiveness of the anti-hail works is given. It is noted that in 2015 year in Kakheti the economic effect according to the data about the damaged hail territories was about 70%. Taking into account the test regime of performing anti-hail work, their results on the economic effect, are satisfactory.

**ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРОТИВОГРАДОВЫХ РАБОТ**

**Бурнадзе А.С., Варамашвили Н.Д., Квеселова Н.С.**

**Реферат**

Приводятся сведения об основных методах оценки экономической эффективности противоградовых работ. Отмечается, что в 2015 году в Кахетии экономический эффект по данным о побитых градом территориях составил около 70%. Учитывая тестовый режим проведения противоградовых работ, результаты их по экономическому эффекту, являются достаточно удовлетворительными.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РАБОТАХ ПО МОДИФИКАЦИИ ПОГОДЫ В ГРУЗИИ

<sup>1,2</sup>Авлохашвили Х.В., <sup>2</sup>Саная М.С.

<sup>1</sup>Научно-технический центр «Дельта», khvicha89@gmail.com

<sup>2</sup>Национальная федерация спортивного авиамоделизма

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются одной из быстро развивающихся отраслей современной авиации. У них очень широкий ареал сфер применения как в военной, так и в гражданской сфере деятельности – разведка, наблюдение, съёмка, доставка небольших грузов, сельское хозяйство и т.д. Уже существует значительное число модификаций, и каждый день появляются все более совершенные и разнообразные аппараты, что является результатом быстрого развития современных технологий [1-4].

Табл. 1

Некоторые характеристики БПЛА [1].

Категор.	Вес БПЛА, кг	Высота полета, м	Радиус действия, км (система управления)	Продолж. полета	Высота полета (категор.)	Назначение	Область применения
Микро	< 2	До 60	5 км (LOS)	До нескольких часов	Очень низкая	Тактическое звено	Разведка, наблюдение
Мини	2-20	До 900	25 км (LOS)	До 2-х дней	Низкая	Тактическое подразделение	Наблюдение, сбор данных
Малые	20 – 150	До 1500	50 км (LOS)	До 2-х дней	Низкая	Тактическая группа	Наблюдение, сбор данных
Тактические	150-600	До 3000	200 км (LOS)	До 2-х дней	Низкая	Тактическое соединение	Наблюдение, сбор данных
Средне высотные	> 600	До 14000	Неограниченный (BLOS)	Дни/недели	Средняя	Оперативное/ Театр военных действий	Наблюдение, перевозка грузов
Высотные	> 600	До 20000	Неограниченный (BLOS)	Дни/недели	Большая	Стратегическое/ Национальное	Наблюдение, сбор данных, ретрансляция сигналов
Боевые/ Ударные	> 600	До 20000	Неограниченный (BLOS)	Дни/недели	Большая	Стратегическое/ Национальное	Наблюдение, сбор данных, ретрансляция сигналов

Примечание: LOS – оперативная система управления в режиме прямой видимости, BLOS – автономная система управления.

Спектр подобных летательных аппаратов простирается от простейших детских игрушек до высокотехнологичных военных разведывательных и ударных аппаратов. Их применение для воздушных видео и фотосъемок стало очень удобным средством для оперативных и обзорных съемок. Такие аппараты активно используются как для журналистских и полицейских, так и для научных и других исследовательских работ. Подробный обзор работ по использованию беспилотных летательных аппаратов для военных и гражданских целей представлен в [1]. В частности, приводятся сведения о технических характеристиках различного типа дронов (табл. 1).

Применение беспилотных летательных аппаратов играет значительную роль в сфере гражданской безопасности, а также в работе спасательных служб многих стран мира. Появляется возможность посылать эти аппараты в такие места, которые являются опасными для человека или представляют угрозу для его жизни. Они могут применяться для оценки существующей обстановки, для подсчета ущерба, анализа ожидаемой опасности, при спасательных операциях, связанных со стихийными бедствиями, такими, как ураганы, наводнения, пожары, градобития и т.п. Для гарантированного решения этих и подобных им задач можно и нужно применять беспилотные аппараты разных типов и разного назначения, тем более, что их можно сравнительно легко адаптировать для решения самых разнообразных задач.

В работе [2] рассмотрены вопросы применения беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС России. В частности, обращается внимание на использование дронов для мониторинга районов наводнений, землетрясений и других стихийных бедствий.

Перспективности применения беспилотного авиационного комплекса для мониторинга и предотвращения опасных явлений погоды, в частности, посвящены работы [3,4]. В состав комплекса входит: многоцелевой беспилотный летательный аппарат многократного применения, оснащенный средствами измерения параметров облаков, средствами широкозахватного засева облаков, средствами мониторинга состояния посевов, транспортных магистралей, газо–нефтепроводов; наземной станции управления и контроля; пускового устройства катапульты; автоматизированной радиолокационной системы управления активного воздействия на облачные процессы «АСУ-МРЛ». Преимуществами такого комплекса являются возможность создания мобильной крупномасштабной системы противорадовой защиты и искусственного увеличения осадков на больших площадях безразветвленной инфраструктуры ракетных пунктов воздействия (с одной позиции можно осуществлять защиту около 3 – 5 млн га); совмещение преимуществ ракетной и авиационной технологий (высокой оперативности и эффективности ракетной технологии и авиационного охвата больших территорий); низкая себестоимость противорадовой защиты и работ по искусственному увеличению осадков; многоцелевое применение [3,4].

Исходя из разнообразия природно-климатических особенностей в Грузии часто наблюдаются такие стихийные явления, как ураганы, град, оползни, лавины, сели, ежегодно наносящие ущерб, исчисляемый миллионами лари [5-10]. В шестидесятые-восьмидесятые годы прошлого столетия в Грузии успешно действовала система по модификации погоды (борьба с градом, искусственное увеличение осадков, регулирование грозовой активности облаков, борьба с лавинами и др.), деятельность которой была прекращена в конце 1989 г. [10]. В последующие годы наблюдался рост ущерба от градобитий по сравнению с годами работы Противорадовой службы, обнаружилось повышение рисков от схода лавин и др. В мае 2015 года работы по модификации погоды в Грузии были восстановлены. На начальном этапе была восстановлена Противорадовая служба в Кахетии [11,12], где применяется ракетная технология активных воздействий на облака. В перспективе планируется как расширение противорадовых работ на территории Восточной Грузии, так и возобновление других работ по модификации погоды (вызывание осадков, борьба с лавинами и др.). Для повышения эффективности этих работ и контроля их результатов планируется использование беспилотных летательных аппаратов различного класса, над созданием и усовершенствованием которых в Грузии, также как и во многих странах мира, ведутся соответствующие работы.

Ниже представлены краткие характеристики созданных в Грузии БПЛА категорий «микро» и «мини» по массе и высоте полета.

Параметры одного из квадрокоптеров:

Время полета с нагрузкой - до 30 минут;

Дальность полета с возвратом (радиус действия) – до 5 км;

Максимальный взлетный вес – 8 кг;

Максимальная нагрузка – 3 – 4 кг;

Максимальная скорость – 16 м/сек;

Номинальная скорость – 6 – 7 м/сек;

Вертикальная скорость (скороподъемность)- 0 – 6 м/сек;

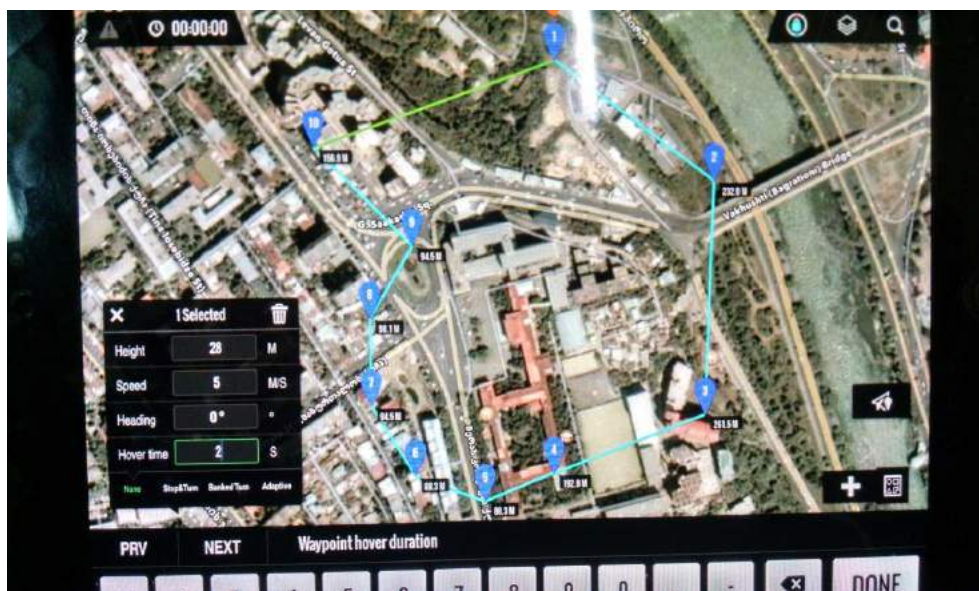
Допустимая скорость ветра при полете – 6 – 7 м/сек;

Максимальная высота подъёма – 1 км.



Фиг. 1  
Взлет гексакоптера.

В качестве иллюстрации на фиг. 1 представлена фотография гексакоптера во время взлета.



Фиг. 2  
Полет БПЛА по заранее заданному маршруту над одним из районов Тбилиси (окрестности Грузинского технического университета).

На фиг. 2 показана схема перемещения одного из БПЛА по заранее запланированному маршруту над окрестностями Грузинского технического университета с самостоятельным возвращением после выполнения задания на первоначальную позицию (1), определяемую встроенным GPS навигационным устройством. Данный БПЛА способен выполнять полеты в сложных погодных условиях при скорости ветра до 40 м/сек. С помощью имеющихся на борту

сложных электронных устройств имеется возможность проводить измерения многих параметров для изучения земной поверхности и воздуха.



Фиг. 3  
БПЛА над виноградниками.

На фиг. 3 представлена фотография БПЛА категории «мини» над виноградными плантациями.

Таким образом, разработанные в Грузии БПЛА в обозримом будущем можно будет использовать в работах по модификации погоды как в пассивном режиме (контроль эффективности работ, мониторинг районов со стихийными бедствиями и др.), так и, при соответствующей доработке, в активном – операции по активному воздействию на атмосферные процессы.

### Литература

1. Gupta S.G, Ghonge M.M., Jawandhiya P. M. Review of Unmanned Aircraft System (UAS). Int. Journ. of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET). Vol. 2, Iss. 4, April, ISSN 2278 – 1323, 2013, pp.1646-1658. [www.ijarcet.org](http://www.ijarcet.org)
2. Воропаев Н.П. Применение беспилотных летательных аппаратов в интересах МЧС России. <http://vestnik.igps.ru/wp-content/uploads/V64/3.pdf>
3. Абшаев М.Т., Анаев М.А., Соловьев В.В., Шагин С.И. Беспилотный авиационный комплекс для мониторинга и предотвращения опасных явлений погоды. Экология и промышленность России, № 10, 2008, с. 4-8.
4. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противоградовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
5. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, hazards and multiple risk assessment for Georgia. Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), pp. 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, [http://www.springerlink.com/content/9311\\_p18582143662/fulltext.pdf](http://www.springerlink.com/content/9311_p18582143662/fulltext.pdf). 2013

6. 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>
7. Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Пипия М.Г., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Э.Ш. Некоторые данные о градобитиях в Восточной Грузии и экономическом ущербе от них. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 145-150.
8. Элизбарашвили Э. Ш., Амиранашвили А.Г., Варазанашвили О.Ш., Церетели Н.С., Элизбарашвили М.Э., Элизбарашвили Ш.Э., Пипия М.Г. Градобитие на территории Грузии European Geographical Studies, vol. 2, No. 2, 2014, pp. 55-69.
9. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77-100.
10. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии. Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
11. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghloni 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, 2015, p. 92-106.
12. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти 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.

**საქართველოში ამინდის მოდიფიკაციის სამუშაოებში უპილოტო საფრენი აპარატების გამოყენების პერსპექტივები**

**ავლობაშვილი ხ., სანაია მ.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია მოკლე ინფორმაცია საქართველოში შექმნილი უპილოტო საფრენი აპარატების შესახებ, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ამინდის მოდიფიკაციის სამუშაოებში (სამუშაოების ეფექტურობის კონტროლი, სტიქიური უბედურებების მქონე რაიონების მონიტორინგი, ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ოპერაციები და სხვ.).

## **PROSPECTS OF USING THE UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM IN THE WORKS ON WEATHER MODIFICATION IN GEORGIA**

**Avlokhshvili Kh., Sanaia M.**

### **Abstract**

Brief information about unmanned aircraft system developed in Georgia is given. It is intended to use the system in weather modification works (control of work effectiveness, monitoring of regions of natural disasters, operation on the active action on atmospheric processes, etc.).

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В РАБОТАХ ПО МОДИФИКАЦИИ ПОГОДЫ В ГРУЗИИ**

**Аvloхашвили Х.В., Саная М.С.**

### **Реферат**

Приводится краткая информация о разработанных в Грузии беспилотных летательных аппаратах, которые предполагается использовать в работах по модификации погоды (контроль эффективности работ, мониторинг районов со стихийными бедствиями, операции по активному воздействию на атмосферные процессы и др).



## ИСКУССТВЕННЫЕ АЭРОЗОЛЬНЫЕ РАДИООТРАЖАТЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ И ОБЛАКАХ

<sup>1</sup>Балавадзе А.Ш., <sup>2</sup>Цицкишвили М.С.

<sup>1</sup>Министерство образования и науки Грузии

<sup>2</sup>Академия экологических наук Грузии, *eco\_marat@rambler.ru*

Под руководством проф. Сутугина А.Г. в 70-ых годах прошлого века были разработаны средства и методы создания аэрозольной радиометки из углеродографитового волокнистого материала ВПР-19С, представляющего собой электропроводящие нити с удельным сопротивлением 4.5 ом на кв.мм/м и диаметром 6-8 мкм. Для создания радиолокационных меток в атмосфере, в качестве средства доставки в заданную точку атмосферы использовались противораковые ракеты - изделие «Алазань-М» с переоборудованной головной частью. Выбор последней обуславливался как благоприятными тактико-техническими характеристиками, так и необходимостью унификации средств воздействия, в частности идентичности средств воздействия и средств доставки. Были отработаны методы диспергирования и различные варианты укладки радиотражающего материала – «углена», позволяющие получать практически неседиментирующие радиометки заданных размеров и конфигураций, с величинами радиотраженного сигнала до 40 – 60 Дб при дальностях до 20 км. Среднее время жизни при различных атмосферных условиях составляло 50 –70 минут. При устойчивой безоблачной антициклональной погоде искусственные радиолокационные метки прослеживались свыше 140 минут, с незначительным осаждением нижней кромки искусственного аэрозольного радиотражающего образования.

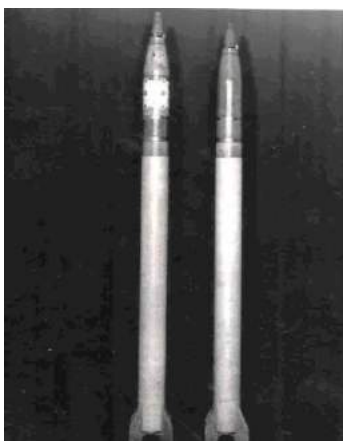


Рис. 1

Ракета «Метка». Слева – ракета с модульной головной частью, справа – с моноблочной головной частью.

Принципы устройства изделия «Метка» на базе противоракового изделия «Алазань-М» для трех различных модификаций головной части приведены в ранних публикациях [1-6] и отчетах [7,8]. Варьировался тип укладки (соосная вдоль оси ракетного устройства, укладка

жгутом и «модульный вариант»), количество и длина волокон, тип диспергирования и сила диспергирующего заряда, а также тип радиоотражающего материала и его количество.

На рис. 1 представлен внешний вид ракеты «Метка» с модульной и моноблочной головной частью.

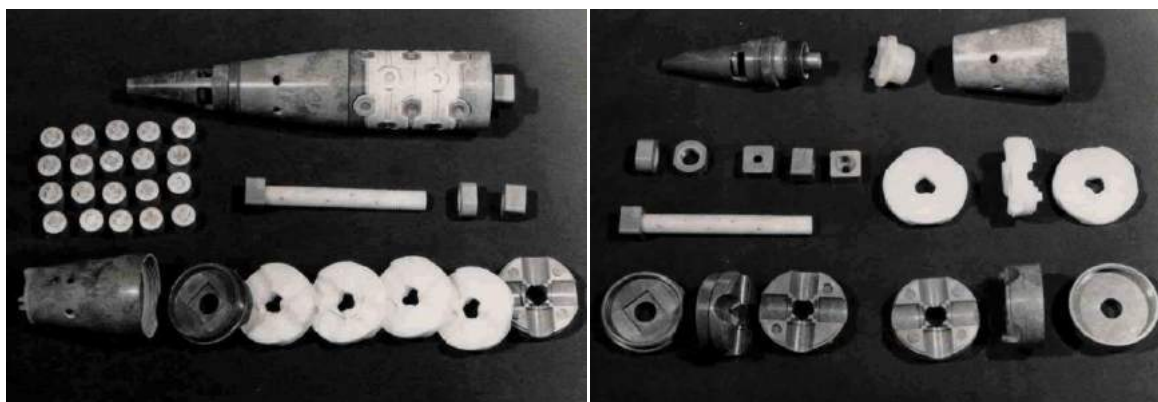


Рис. 2

Фотоснимок модульной головной части ракеты «Метка» в собранном и разобранном виде.

Детали и узлы модульной головной части слева направо: дистанционная трубка; транспортировочная пробка; конус обтекатель; гайка (два вида); гайка накидная (три вида); блок промежуточный (три вида); блок передний (три вида); блок задний (три вида).

На рис. 2 представлен фотоснимок модульной головной части ракеты «Метка» в собранном и разобранном видах.

Моноблочная конструкция головной части изделия «Метка» предназначена для создания метки в заданной точке пространства. Для создания в атмосфере нескольких отдельных разнесенных в пространстве меток предназначена модульная конструкция головной части. Несколько меток, созданных одновременно на разных высотах, могут воссоздать наглядную картину воздушных движений в атмосфере.

Из основных 10 испытанных модификаций, наилучшими радиолокационными свойствами обладали модульные модификации. Большая масса диспергируемого вещества вызывала повышение скорости разрушения искусственного аэрозольного образования и ухудшение радиоотражающих свойств.

Методика определения радиолокационной отражательной способности, подразумевала ряд допущений, правомерных для указанных экспериментов (отсутствие асимметричности в форме и неперевышение размера частицы в «пи»-размерности валичины длины волны) и делала возможным переход от объемной отражательной способности к эффективной площади обратного рассеяния электромагнитных волн единицей объема метеоцели для конкретных условий эксперимента и фиксированных параметров метеолокатора. Для конкретной технологии получения аэрозольного радиоотражающего диспергационного облака (дипольные отражатели длиной 16 мм, т.е. полуволновые диполи для РЛС МРЛ-2), возможен простой пересчет объемной отражательной способности  $Z$  с размерностью  $\text{мм}^6/\text{м}^3$  в эффективную площадь обратного рассеяния  $S$  с размерностью  $\text{см}^{-1}$ .

Исследования динамики воздушных потоков в зоне кучево-дождевых облаков путем создания в исследуемой зоне радиолокационных меток и слежения за их пространственным перемещением по отраженным от них радиолокационных сигналов с одновременной регистрацией пространственной структуры радиоэха исследуемой зоны проводились на Руиспирском полигоне Института геофизики А Грузии в 1981-1984 гг. Радиолокационные метки в заданных точках исследуемой зоны создавали с помощью ракет «Алазань-2М», головные части которых содержали по 120 г углеродно-графитового материала ВПР-19С каждая, и пиротехнической системы выброса. Радиолокационные измерения проводили метеорологическими РЛС МРЛ-2 и МРЛ-5. На фоне чистой атмосферы уровень сигнала, отраженного от метки на дальности 10 км, составлял около 20 Дб, что позволяло уверенно ее

наблюдать и сопровождать. Радиолокационные метки, созданные на фоне и внутри кучево-дождевых облаков, ослабляли сигнал от облака в среднем на 30 Дб. Величина ослабления слабо зависела от длины волны излучения (3.2 и 10.6 см). На экранах индикатора кругового обзора и индикаторах дальность-высота РЛС, при соответствующих уровнях аттенюации, наблюдали яркую отметку от самой метки на фоне радиоэха облака и радиотень метки в виде темной полосы шириной, соответствующей геометрической тени метки. Начало этой полосы совпадало с точкой местонахождения метки внутри облака. Даже в случае предельно «плотных» облаков, когда сигнал метки сливался с радиоэхо облака, ее местоположение и величину размытия точно определяли, соответственно, по началу полосы радиотени и ее ширине. Время уверенной индикации метки в таких облаках составляло 20-40 минут. Скорость седиментации центра массы метки совпадала с расчетной и составляла 0.14 м/с, что существенно уменьшало погрешность измерения скоростей воздушных потоков. Проведенные испытания показали эффективность способа при исследовании облаков с высоким уровнем радиоэха.

В указанных исследованиях активное участие принимали: Карцивадзе А.И., Цицкишвили М.С., Салуквадзе Т.Г., Балавадзе А.Ш., Дореули Р.И., Саркисова Л.С., Мухранели И.А., Мачарашвили Г.М. и др. (Институт геофизики АН ГССР); Суругин А.Т., Иорданский М.А. (НИФХИ); Бессонов В.А., Зубарев В.В. (п/я А-7924); Несмеянов П.А., Гришин Ю.П. (п/я А-1928); Гусев А.Г., Казанцев А.М. (п/я А-1317).

Практически разработанные методологии, модификации изделия «Метка», позволяли не только отслеживать движения воздушных масс, или визуализировать выброс высокотоксичного аэрозоля при техногенных катастрофах, но и, определив основные диффузионные параметры, дать прогноз параметров рассеяния, что существенно повышает безопасность населения при техногенных катастрофах.

Метод практически был опробован на самых тяжелых авариях с выбросом высокотоксичных аэрозолей, являясь эффективным средством предотвращения ущерба здоровью населения и материальным ценностям, при крупных техногенных авариях с выбросом высокотоксичных аэрозолей для обеспечения безопасного дистанционного отслеживания высокотоксичного аэрозольного выброса при крупных техногенных катастрофах [9].

К сожалению, после прекращения работ по борьбе с градом в Грузии [10], указанные исследования также были прерваны. Однако подобные натурные эксперименты успешно проводились в других организациях. В частности, в Высокогорном геофизическом институте опыты с использованием пассивных радиолокационных отражателей (ПРО) для исследования направления и скорости воздушных потоков в облаках и их окрестностях показали, что в области максимума отражаемости метеорадиоэха, в навесе и впереди навеса радиоэха нет заточка воздуха в облако. ПРО, внесенные в указанные части облака, перемещаются по направлению ведущего потока от центра облака к навесу радиоэха, одновременно опускаясь вниз с гравитационной скоростью. Такая же картина наблюдается при внесении ПРО в вершинную часть облака. В зависимости от места внесения отражателей, мощности и стадии развития облака скорости перемещения ПРО меняются в широких пределах – от нескольких метров в секунду до 17-30 м/с. Собственная гравитационная скорость падения ПРО «Углен» составляет 0.6-0.7 м/с, ПРО «Фольга»- 0.7-0.8 м/с [11]. Примечательно, что результаты этих опытов явились основой для предложения по корректированию методики активных воздействий на грозо-градовые облака [12].

В заключение отметим, что в связи с восстановлением Противоградовой службы в Кахетии [13-17], а также наличием значительного более современных средств воздействия [18-20] и радиолокационного наблюдения [21,22], возобновление указанных выше исследований динамики воздушных потоков в конвективных облаках различного типа принесет несомненную пользу для дальнейшего совершенствования методов активного воздействия на атмосферные процессы.

## Литература

1. Бессонов В.А., Гришин Ю.П., Зубаев В.В., Иорданский М.А., Несмеянов П.И., Петрянов И.В., Карцивадзе А.И., Салуквадзе Т.Г., Сутугин А.Г., Цицкишвили М.С. Аэрозольная метка для исследования динамических процессов в чистой атмосфере и в радиоотражающих облаках. Материалы докладов IV Всесоюзн. конф. по аэрозолям, Ереван, 1982, с.79-82.
2. Балавадзе А.Ш., Цицкишвили М.С., Карцивадзе А.И., Сутугин А., Симонов А., Салуквадзе Т.Г., Иорданский М., Мачарашвили Г. Экспериментальное исследование атмосферной диффузии методом создания искусственных радиоотражателей. Данные объединенной научно-практической конференции. Тбилиси, 1983.
3. Петрянов-Соколов И.В., Сутугин А.Г., Иорданский М.А., Симонов А.Я., Цицкишвили М.С., Карцивадзе А.И., Гришин Ю.П., Несмеянов П.А. Метод исследования турбулентного переноса и конвективных потоков в атмосфере, Тез. докл. Всесоюзн. конф. по трансформации и дальнему переносу газовых и аэрозольных примесей в атмосфере и созданию моделей загрязненности, Вильнюс, Литва, 12-14 ноября 1986, с. 133-134.
4. Бессонов В. А., Гришин Ю.П., Иорданский М.А., Карцивадзе А.И., Несмеянов П.А., Петрянов И.В., Сутугин А.Г., Цицкишвили М.С. Изделие «Метка» для изучения структуры и динамики воздушных потоков в околооблачном пространстве. «Метеорология и гидрология», №1, 1987, с.118–120.
5. Цицкишвили М. С., Бахсолиани М.Г., Гришин Ю.П., Иорданский М.А., Салуквадзе Т.Г., Сутугин А.Г. Исследовательский комплекс «Метка» для отслеживания динамики воздушных масс в особых условиях рельефа. Сборник докладов международной конференции по активным воздействиям на опасные метеорологические процессы. ВГИ ГУГМС, Нальчик, 1989, с. 56-61.
6. Бахсолиани М.Г., Бессонов В.А., Гришин Ю.П., Иорданский М.А., Карцивадзе А.И., Несмеянов П.А., Салуквадзе Т.Г., Симонов А.Я., Сутугин А.Г., Цицкишвили М.С. - Разработка и внедрение в практику противогололедных работ изделий "Метка". В кн. "Активные воздействия на градовые процессы и перспективы усовершенствования льдообразующих реагентов для практики активных воздействий" Труды Всесоюзного семинара в Москве. М., Гидрометеиздат, 1991, с.136-142.
7. Отчет о НИР «Создание аэрозольной радиометки для уточнения динамических и микрофизических характеристик градово-грозовых облаков», ДСП, Институт геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1983.
8. Отчет о НИР «Разработать метод исследования кинематики воздушных потоков по радиолокационным характеристикам аэрозольной радиометки для уточнения динамических характеристик конвективных облаков», ДСП, Институт геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1986.
9. Цицкишвили М.С., Минашкин В.М., Гришин Ю.П., Иорданский М.А. Радиовизуализация аэрозольного облака изделия «Метка». Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября, Москва, 2014, с.109.
10. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. – О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
11. Богомолов О.С., Калов Х.М., Пашкевич М.Ю. Исследование распространения пассивных радиолокационных отражателей в облаке и околооблачном пространстве. Тр. ВГИ, вып. 76, 1989, с. 82–87.
12. Калов Х. М., Калов Р. Х. Активное воздействие на метеорологические процессы (на грозо-градовые облака). Papers of the Int. Conf. Dedicated to the 90<sup>th</sup> 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, с. 100-102.

13. ამირანაშვილი ა.გ., ღვინჯიანი უ.ვ., ლომთაძე დ. დ., საური ი.პ., ჩხილაძე ვ.ა. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.77-100.
14. ამირანაშვილი ა., გლოტი ნ., ღვინჯიანი უ., ლომთაძე დ., ჩხილაძე ვ. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
15. ამირანაშვილი ა.გ., გლოტი ნ.ა., ღვინჯიანი უ.ვ., ლომთაძე დ.დ., ჩხილაძე ვ.ა. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
16. 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, 2015, pp. 92-106.
17. ამირანაშვილი ა.გ., ბურნაძე ა.ს., დვალისხვილი კ.ს., გელოვანი გ.ტ., გლოტი ნ.ა., ღვინჯიანი უ.ვ., კაიშაური მ.ნ., კვესელა ნ.ს., ლომთაძე დ. დ., ოსეპაშვილი ა.რ., საური ი.პ., თელია შ.ო., ჯარგაზია ხ.ზ., ჩხილაძე ვ.ა. 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.
18. ამირანაშვილი ა.გ., ღვინჯიანი უ.ვ., ჩხილაძე ვ.ა. Противоградовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
19. ამირანაშვილი ა.გ., ღვინჯიანი უ.ვ., ლომთაძე დ. დ., საური ი.პ., ჩხილაძე ვ.ა. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.113 -120.
20. ამირანაშვილი ა.გ., ბარეკჩიანი ი.ი., დვალისხვილი კ.ს., ღვინჯიანი უ.ვ., ლომთაძე დ. დ., ოსეპაშვილი ა.რ., საური ი.პ., ტატიშვილი გ.ზ., თელია შ.ო., ჩხილაძე ვ.ა. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.
21. ამირანაშვილი ა.გ., ღვინჯიანი უ.ვ., ლომთაძე დ. დ., საური ი.პ., ჩხილაძე ვ.ა. 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.
22. აბაიძე ო.ა., ავლოხაშვილი ხ.ვ., ამირანაშვილი ა.გ., ღვინჯიანი უ.ვ., კირია დ.კ., ლომთაძე დ. დ., ოსეპაშვილი ა.რ., საური ი.პ., თელია შ.ო., ხედაშვილი ა.ა., ქვედიაშვილი გ.ნ., ჩხილაძე ვ.ა. Радиолокационное обеспечение противоградовой службы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 28-38.

**ხელოვნური აეროზოლური რადიომრეკლავები ატმოსფეროში და ღრუბლებში დინამიკური პროცესების გამოსაკვლევად**

**ბალავაძე ა., ციციშვილი მ.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია საქართველოში წინა საუკუნის ოთხმოციან წლებში ატმოსფეროში და ღრუბლებში დინამიკური პროცესების გამოსაკვლევად ჩატარებული ხელოვნური აეროზოლური რადიომრეკლავების გამოყენების შესახებ ნაშრომების მიმოხილვა.

აღინიშნება, რომ კახეთში სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის აღდგენასთან და აგრეთვე თანამედროვე რადიოლოკაციური დაკვირვების და ზემოქმედების საშუალებების არსებობასთან დაკავშირებით, ზემოთ ხსენებულ კონვექტიურ ღრუბლებში ჰაერის ნაკადების დინამიკის კვლევების განახლება უდავო სარგებელს მოუტანს ატმოსფერულ პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების მეთოდების შემდგომ სრულყოფას.

## **ARTIFICIAL AEROSOL RADIO-REFLECTORS FOR INVESTIGATING THE DYNAMIC PROCESSES IN THE ATMOSPHERE AND CLOUDS**

**Balavadze A., Tsitskishvili M.**

### **Abstract**

The survey of works on the application of artificial aerosol radio-reflectors for investigating the dynamic processes in the atmosphere and the clouds, which were carried out in Georgia in the 80-s of the past century, is carried out. It is noted that in connection with the restoration of anti-hail service in Kakheti, and also the presence of the contemporary means of action and radar surveillance, the renewal of the above-indicated research of the dynamics of air flow in the convective clouds will bring undoubted benefit for further improvement of the methods of active action on the atmospheric processes.

## **ИСКУССТВЕННЫЕ АЭРОЗОЛЬНЫЕ РАДИООТРАЖАТЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРЕ И ОБЛАКАХ**

**Балавадзе А.Ш., Цицкишвили М.С.**

### **Реферат**

Проведен обзор работ по применению искусственных аэрозольных радиоотражателей для исследования динамических процессов в атмосфере и облаках, которые были проведены в Грузии в восьмидесятых годах прошлого столетия. Отмечается, что в связи с восстановлением противорадовой службы в Кахетии, а также наличием современных средств воздействия и радиолокационного наблюдений, возобновление указанных выше исследований динамики воздушных потоков в конвективных облаках принесет несомненную пользу для дальнейшего совершенствования методов активного воздействия на атмосферные процессы.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО КОАГУЛЯЦИОННОМУ РОСТУ ГРАДА, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Зурашвили З.И., <sup>1</sup>Кириа Д.К., <sup>2</sup>Осидзе И.Г.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [Kiria51@yahoo.com](mailto:Kiria51@yahoo.com)

<sup>2</sup>Институт физики им. Э. Андроникашвили Тбилисского государственного университета  
им. Иванэ Джавахишвили

Основными направлениями в области модификации погоды в институте геофизики были полевые и экспериментальные лабораторные исследования атмосферных процессов и возможностей их искусственного регулирования (град, грозы, осадки, туманы) [1]. Тем не менее целый ряд работ с непосредственным участием А.И. Карцивадзе был посвящен также теоретическим исследованиям коагуляционного роста града и численному моделированию градовых процессов.

В области теоретических исследований особо следует отметить разработку кинетической теории коагуляционного роста градин [2]. В последующем эти работы были развиты и позволили дать теоретическое обоснование активным воздействиям на градовые процессы, осуществляемые с использованием кристаллизующих реагентов [3].

Расчеты, выполненные на ЭВМ с применением приближенных решений системы интегродифференциальных уравнений, описывающих кинетику коагуляционного роста системы градин при их взаимодействии с системой переохлажденных капель в гравитационном поле, позволили оценить роль повышения концентрации зародышей градин и выявить ряд важных закономерностей в трансформации спектра их размеров [4].

Используя идею искусственного размножения зародышей градин, были проведены расчеты с применением теории кинетики коагуляционного роста градин и показано, что повышение естественной концентрации их зародышей на два порядка, осуществленное путем внедрения в переохлажденную часть градоопасного очага аэрозолей активного кристаллизующего реагента в количестве  $10^4 - 10^5 \text{ м}^{-3}$ , позволяет за достаточно короткий промежуток времени (5 – 10 мин.) значительно подавить процесс роста их среднего объема, не давая последнему возможность существенно вырасти. Из расчетов следует, что среднекубический радиус в этом случае, даже при водности  $10 \text{ г/м}^3$ , не будет превосходить 3 мм. Следовательно, в теплой части атмосферы, в обычных для градобития ситуациях, большинство из них успевают полностью растаять. Численное решение кинетических уравнений позволило учесть зависимость функции вероятности коагуляции от объемов как градин, так и капель и исследовать трансформацию спектра распределения градин по объемам во времени. На этой основе удалось количественно оценить влияние повышения начальной концентрации зародышей градин на концентрацию градин опасных размеров, т. е. концентрацию таких градин, которые не успеют растаять, и при падении на Землю будут обладать кинетической энергией, достаточной для поражения сельскохозяйственных культур. Эти расчеты показали в частности, что искусственное повышение концентрации конкурентоспособных ледяных зерен на два порядка позволяет уменьшить концентрацию

градин опасных размеров, по сравнению с естественным процессом, на три порядка, т. е. в принципе добиться полного подавления градового процесса [5].

Теоретически исследовано также влияние спектра размеров переохлажденных капель на процесс образования и роста градин, и показано, что наибольшая скорость их роста происходит, когда максимум в распределении переохлажденных капель по размерам приходится на 50 мкм. Это следует учитывать при разработке методов воздействия на градовые процессы, основанные на искусственной трансформации спектра размеров переохлажденных капель в облаках [6].

Весьма существенным направлением развития работ по активным воздействиям на градовые процессы является разработка численной модели градового облака при его естественном развитии и при искусственном воздействии. Наиболее полной в семидесятые – восьмидесятые годы прошлого столетия являлась численная модель, разработанная Ленинградским гидрометеорологическим институтом (ЛГМИ) под руководством проф. Л. Г. Качурина. В ее формировании и экспериментальной проверке активное участие принимали и сотрудники института геофизики АН ГССР (А. И. Карцивадзе, И. Г. Осидзе, З.И. Зурашвили, А.Э. Шаптошвили, Н. К. Мургулия). В частности, были проведены расчеты для конкретных случаев градобитий, наблюдавшихся в Алазанской долине, что в ряде случаев позволили выявить эффект, сопровождающий проведенную операцию, недостатки в её выполнении и установить пределы возможности активных воздействий на градовые процессы на этапе развития науки и техники в те времена. С использованием этой численной модели градового облака были уточнены принципы воздействия на градовые процессы, выявлены особенности динамики развития кучево-дождевой облачности в аспекте активных воздействий на них, уточнена методика оценки эффекта активных воздействий на градовые облака методом рандомизации и численным моделированием [1, 7-9].

К сожалению, после смерти А.И.Карцивадзе (1989 г.), указанные работы в Институте геофизики были прекращены. В настоящее время работы по модификации погоды в Грузии восстановлены [10-11]. Противорадовая служба оснащена современной радиолокационной метеорологической станцией, имеющей в своем арсенале множество радиолокационных продуктов, в том числе и информацию о градовых процессах [12-14]. Это является определенным стимулом для восстановления в недалеком будущем теоретических работ по моделированию процессов образования и эволюции градовых явлений в естественных условиях и под влиянием искусственного воздействия для нашего региона с учетом опыта прошлых лет и современных методов теоретических исследований. Подобные работы, вкуче с экспериментальными, могут принести несомненную пользу для практики активных воздействий на атмосферные процессы.

## Литература

1. Институт геофизики – 50, Тбилиси, «Мецниереба», 1983, с. 94-116.
2. Карцивадзе А.И., Энукашвили И.Н., Окуджава А.М. К вопросу теории коагуляционного роста градин. Тр. Всесоюз. Науч. Сов. по акт. возд. на град. процессы. Изд. ин-та геофизики АН ГССР, Тбилиси, «Мецниереба», 1964.
3. Карцивадзе А.И. Об оценке влияния концентрации ледяных зерен на образовании градин опасных размеров. Тр. Института геофизики АН ГССР, физ. облаков, т. 25, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
4. Карцивадзе А.И., Осидзе И.Г., Кириа Д.К. О кинетике коагуляционного роста градин в пространственно-однородном монодисперсном переохлажденном жидкокапельном облаке. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
5. Карцивадзе А.И., Осидзе И.Г., Кириа Д.К. О влиянии концентрации зародышей градин на процесс их коагуляционного роста. Тр. Института геофизики АН ГССР, т. 47, Тбилиси, 1980.



6. Карцивадзе А.И., Осидзе И.Г., Зурашвили З.И. К оценке влияния дисперсности переохлажденных капель на процесс коагуляционного роста зародышей градин. Тр. института геофизики АН ГССР, т. 49, Тбилиси, «Мецниереба», 1982.
7. Kachurin L., Kartsivadze A, Artemyeva N., Stoyanov S., Tekle M. Simulation of the Natural Process of Hail Formation and its Transformation under the Influence of Artificial Crystallization. Proc.of the WMO/IAMAP Scien. Conf. on Weather Modif., Tashkent, 1973.
8. Kachurin L., Gurovich V., Kartsivadze A. A Numerical Model of hailstorm. Proceedings of the 9-th International cloud physics conference, Tallin, 1984.
9. Kartsivadze A., Salukvadze T., Kachurin L. - An Evaluation of Hail Suppression Using the Method of Inadvertent Randomization and a Numerical Analysis. Papers presen. at the 4<sup>th</sup> WMO Scient. Conf. on Weather Modification. A Joint WMO/IAMAP Symposium, Honolulu, Hawaii, USA, 1985, p. 98-101.
10. 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, 2015, pp. 92-106.
11. 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.
12. 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.
13. Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кирия 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.
14. Авлохашвили Х.В., Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Джавахишвили Н.Р., Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Самхарадзе И.Н., Цхведиашвили Г.Н., Чаргазия Х.З., Хурцидзе Г.Т. Продукты метеорологического радиолокатора «METEOR 735CDP10». Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 60-65.

**თეორიული სამუშაოები სექციის კოაგულაციური ზრდის შესახებ, სექციის პროცესების რიცხვითი მოდელირება**

**ზურაშვილი ზ., ქირია ჯ., ოსიძე ი.**

**რეზიუმე**

წარმოდგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში წინა საუკუნეში ჩატარებული სექციის მარცვლების კოაგულაციური ზრდის და სექციის პროცესების რიცხვითი მოდელირების საკითხებისადმი მიძღვნილი თეორიული ნამუშევრების მოკლე მიმოხილვა. საქართველოში ამინდის მოდიფიკაციის სამუშაოების აღგენასთან დაკავშირებით შემოთავაზებულია ამ მიმართულებით კვლევების განახლება.

## **THEORETICAL WORKS ON A COAGULATION INCREASE IN THE HAIL, THE NUMERICAL SIMULATION OF HAIL PROCESSES**

**Zurashvili Z., Kiria J., Osidze I.**

### **Abstract**

The brief survey of theoretical works on coagulation increase of hail and numerical simulation of the hail processes, conducted by Institute of Geophysics of Academy of Sciences of Georgia during last century is presented. In connection with the restoration of works on the weather modification in Georgia it is proposed to renew studies in this direction.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПО КОАГУЛЯЦИОННОМУ РОСТУ ГРАДА, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРАДОВЫХ ПРОЦЕССОВ**

**Зурашвили З.И., Кириа Д.К., Осидзе И.Г.**

### **Реферат**

Представлен краткий обзор теоретических работ по коагуляционному росту града и численному моделированию градовых процессов, проводимых в Институте геофизики АН Грузии в прошлом столетии. В связи с восстановлением работ по модификации погоды в Грузии предлагается возобновить исследования в этом направлении.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ В ГРУЗИИ

<sup>1</sup>Бериташвили Б.Ш., <sup>2</sup>Блиадзе Т.Г., <sup>1</sup>Мкурналидзе И.П., <sup>3</sup>Трофименко Л.Т.,  
<sup>4</sup>Хоргуани Ф.А., <sup>5</sup>Хуродзе Т.В., <sup>2</sup>Чанкветадзе А.Ш., <sup>6</sup>Чумбуридзе З.А.

<sup>1</sup>*Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета*

<sup>2</sup>*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [tamuna.b813@yahoo.com](mailto:tamuna.b813@yahoo.com)*

<sup>3</sup>*ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации— Мировой центр данных»*

<sup>4</sup>*ФГБУ Высокоточный геофизический институт, Нальчик, КБР РФ*

<sup>5</sup>*Институт прикладной математики им. Н. Мухелишвили Грузинского технического университета*

<sup>6</sup>*Школа «21-й Век» им Л. Маргвелашвили*

В научной деятельности А.И. Карцивадзе важное место занимали вопросы изучения электрических процессов в атмосфере. В семидесятые годы прошлого столетия Институт геофизики АН Грузии совместно с Ленинградским гидрометеорологическим институтом (ЛГМИ) в Алазанской долине проводил систематические исследования грозовых облаков с использованием радиолокационных станций сантиметрового, дециметрового и метрового диапазона. По данным многочисленных данных изучены характеристики грозовых разрядов, и исследована их энергетика, изучены особенности собственного предгрозового электромагнитного излучения облаков [1-5].

Параллельно в начале-середине семидесятых годов прошлого столетия проводились самолетные исследования электрических характеристик атмосферы и конвективных облаков. По этим данным была построена экспериментальная электрическая модель конвективных облаков; изучена электризация самолета в атмосфере и облаках, и найдена связь этой величины с пульсациями температуры; изучена связь электризации самолета в свободной атмосфере с содержанием в ней аэрозолей; исследована взаимосвязь пульсаций температуры в облаках с напряженностью электрического поля; установлено влияние аэрозольного загрязнения атмосферы на характер вертикального распределения в ней напряженности электрического поля и др. [6-11].

В конце семидесятых – первой половине восьмидесятых годов прошлого столетия Институтом геофизики, Главной геофизической обсерваторией им. А.И. Воейкова, Ленинградским гидрометеорологическим институтом и Службой борьбы с градом в Алазанской долине были развернуты обширные полевые исследования по реализации крупномасштабных экспериментов по комплексному изучению грозовых явлений и разработке средств и методов искусственного воздействия на них [12].

На основании лабораторных и полевых (наземное и самолетное воздействие) были проведены оценки норм расхода кристаллизующих реагентов и поверхностно-активных веществ при воздействии на конвективные облака для изменения их электрического состояния [13-18], изучены связи между радиолокационными и электрическими характеристиками подвергнутых и неподвергнутых воздействию кристаллизующим реагентом грозовых облаков [19-24].

В результате этих исследований в частности было установлено, что на один положительный разряд в среднем приходился заряд в 37 Кл, а на один отрицательный – 32 Кл. Средняя величина заряда, приходящаяся на один молниевый разряд по абсолютному значению составляла около 33 Кл. Отрицательные заряды переносятся в среднем с высоты 6.5 км, а положительные с высоты 7.5 км. Соотношение между числом внутриоблачных и наземных разрядов составляет 2.16. Средняя в сезон интенсивность суммарного числа внутриоблачных и наземных разрядов в условиях составляет  $(1.7 \pm 0.35) \cdot 10^{-3}$  разряд  $\cdot$  мин<sup>-1</sup>  $\cdot$  км<sup>2</sup>.

Разработана опытная методика воздействия на грозовые облака с использованием штатных средств противогордовой защиты. Положительного эффекта воздействия удалось достичь в 53% случаев, в 22% случаев эффект был отрицательным и в 25% случаев – неопределенным. Для существенного ослабления грозовой деятельности облаков в диапазоне  $10 < H_m < 12.8$  км в среднем необходимо вводить в облако в течение не менее 20 мин. изделия "Алазани" с интенсивностью  $J$  не менее 4 ракет/мин. Для существенного подавления грозовой активности облаков с  $8 < H_m < 10$  км достаточно в среднем вводить в облако не менее 2 ракет/мин. в течение не менее 13 мин. При невысокой интенсивности введения реагента в облака происходит рост молниевой активности примерно на 15% ( $J = 2$  ракеты/мин). С повышением интенсивности введения реагента в облака происходит уменьшение грозовой активности, которая достигает минимума при  $J = 7$  ракет/мин и более. Указанные нормы расхода реагента подтверждаются результатами лабораторных экспериментов и опытами по воздействию на небольшие конвективные облака с борта летающей лаборатории [19-24].

Были получены эмпирические связи частоты молниевых разрядов и величин зарядов, вовлеченных в молниевый разряд, с максимальной высотой радиолокационной отражаемости облаков, радиолокационным критерием грозоопасности, комплексным радиолокационным критерием градоопасности. С учетом этих связей и данных о радиолокационных параметрах конвективных облаков построена карта распределения наземных молниевых разрядов для Кахетии. Проведена классификация облаков по интенсивности их грозовой деятельности для условий Алазанской долины. На основании данных радиолокационных наблюдений построены подробные карты распределения над территорией Кахетии радиолокационного критерия грозоопасности, максимальной высоты радиоэха конвективных облаков; проведена оценка влияния высоты местности на логарифм множителя максимальной радиолокационной отражаемости и грозовую активность конвективных облаков и др.

Созданы эмпирические модели распределения грозовых облаков с вертикальной мощностью более 6 км и плотности молниевых разрядов на Землю для территории Кахетии. Количество облаков в сезон на площади 25 км<sup>2</sup> меняется от 3 до 35 при среднем значении 11.7, а число наземных молниевых разрядов от 13 до 377 при среднем значении 91. С высотой происходит рост числа грозовых зон и плотности разрядов на Землю. Плотность наземных молниевых разрядов в течение одного дня с грозой составляет  $2.15 \pm 0.43$  разряда на 25 км<sup>2</sup> в день, а для общего числа наземных и внутриоблачных разрядов –  $6.8 \pm 1.4$  разряда на 25 км<sup>2</sup> в день. Подавляющее количество молниевых разрядов приходится на грозовые зоны с максимальной высотой радиоэха  $H_m$  от 8 до 12 км (около 87%). Наибольшая повторяемость значений  $H_m$  приходится на диапазон высот от 9 до 10 км, тогда как наибольший вклад в количество молниевых разрядов дают грозовые зоны с  $H_m$  от 10 до 11 км. Градоопасные облака с вероятностью выпадения града более 40% дают около 55% вклада в общую разрядную деятельность [19,20,24-28].

За последние три десятилетия были продолжены исследования атмосферного [24,29-31] и грозового электричества, грозовых процессов, их изменчивости во времени [24,32-42], связи грозовых и градовых процессов [24,43]. Были изучены связи атмосферного электричества с землетрясениями [44-45]. К указанным исследованиям добавились работы по изучению влияния антропогенного воздействия, в том числе и загрязнения атмосферы, на эти процессы [46-57]. Изучены экологические аспекты параметров атмосферного электричества (электропроводность воздуха, концентрация легких ионов в атмосфере), их связи со здоровьем людей, возможностей использования этих параметров, как важного биоклиматического фактора в аспекте лечебно-реабилитационного действия, для повышения курортно-туристического потенциала Грузии [58-66].

Проведено детальное исследование статистической структуры средних месячных и полугодовых значений суммарной электропроводности воздуха (ЭВП) в Душети и метео-геофизических факторов, влияющих на ее изменчивость (аэрозольная оптическая толща атмосферы в Тбилиси; бета-радиоактивные выпадения в Грузии; упругость, содержание водяного пара и относительная влажность воздуха; скорость ветра; температура воздуха и поверхности почвы; продолжительность солнечного сияния; атмосферные осадки) в период с 1966 по 1990 гг. В частности получены следующие результаты [24,29-31].

Тренды средних полугодовых и годовых значений ЭВП отрицательные, линейные. Динамика изменчивости положительной электропроводности воздуха в Душети практически аналогична динамике изменчивости суммарной электропроводности. Соотношение между ними для различных периодов года составляет примерно 50%.

Проведено исследование парных и множественных линейных корреляционных и регрессионных связей годовых и полугодовых значений электропроводности воздуха с указанными выше метео-геофизическими параметрами.

Рассмотрены две модели регрессии между ЭВП с этими параметрами. Первая модель - простая множественная линейная регрессия между измеренными значениями рядов наблюдений. Вторая модель – интегральная множественная линейная регрессия, одной из независимых переменных в которой является время, а остальные – случайные составляющие соответствующих метео-геофизических факторов. Показано преимущество второй модели перед первой. В частности, в соответствие с ней изменчивость одной из независимых переменных в пределах вариационного размаха при неизменности остальных приводит к следующей изменчивости ЭВП.

По годовым данным: время (годы) – 24.1 %, аэрозольная оптическая толща атмосферы АОТ в Тбилиси (случайная компонента) – 7.6 %, бета-радиоактивные выпадения (случайная компонента) – 12.1 %, содержание водяного пара – 14.3 %, скорость ветра (случайная компонента) – 4.6 %, температура поверхности почвы – 6.9 %, продолжительность солнечного сияния (случайная компонента) – 8.1 %.

Для теплого полугодия: время (годы) – 28.9 %, бета-радиоактивные выпадения (случайная компонента) – 20.3 %, содержание водяного пара – 20.0 %, скорость ветра (случайная компонента) – 3.7 %, температура воздуха – 3.5 %.

Для холодного полугодия: время (годы) – 17.9 %, АОТ (случайная компонента) – 14.9 %, содержание водяного пара – 0.6 %, скорость ветра (случайная компонента) – 12.4 %, температура поверхности почвы – 3.5 %, количество атмосферных осадков (случайная компонента) – 0.9 %.

Получено, что изменчивость дневных значений аэрозольной оптической толщи в атмосфере АОТ в Тбилиси в пределах вариационного размаха может приводить к изменчивости ЭВП от 8.1 % до 28.6 %. Во время северного ветра отмечается рост электропроводности воздуха в Душети и уменьшение загрязненности атмосферы в Тбилиси. Наличие корреляционных связей между АОТ и ЭВП подтверждает репрезентативность АОТ для характеристики загрязненности приземного воздуха.

Изучена статистическая структура и пространственно-временные характеристики числа дней с грозой, связи продолжительности гроз с числом дней с грозами, особенности многолетней динамики интенсивности грозовых процессов на территории Грузии. Рассмотрены особенности пространственно-временного распределения числа дней с грозой по территории Грузии и ее климатическим зонам. Приведена карта трендов числа дней с грозами на территории Грузии за теплые периоды 1936-1962 и 1963-1990 гг. [24, 32-40].

Рассмотрены особенности изменчивости числа дней с грозами в теплое полугодие Р в условиях Грузии в период с 1941 по 1990 гг. При анализе были использованы данные 115 метеостанций. За исследуемый период картина изменчивости числа дней с грозами по отдельным метеостанциям следующая: рост Р отмечался на 43 станциях, уменьшение - на 18, неизменность – на 54 станциях. То есть, по отдельным станциям превалировало отсутствие изменчивости Р.

На территории Западной Грузии среднее в теплое полугодие число дней с грозами меньше, чем в Восточной для всех указанных выше периодов времени (соответственно 32.1 и 37.3). Сравнение двух 20-летних периодов времени 1941-1960 и 1941-1990 гг. показало, что в

общем изменчивость числа дней с грозами как для всей территории Грузии в целом, так и для ее Восточной и Западной частей незначительная.

Линейная корреляция между средним на одну метеостанцию числом дней с грозами в теплое полугодие в Восточной  $P_E$  и Западной Грузии  $P_W$  достаточно высокая для всех указанных трех периодов времени ( $R$  не менее 0.69). Отношение  $P_E/P_W$  составляет для 1941-1990 гг. 117 %, 1941-1960 гг. – 114 %, 1971-1990 гг. – 122 %. То есть, в Восточной Грузии по отношению к Западной Грузии, произошел некоторый рост числа дней с грозами в 1971-1990 гг. по сравнению с 1941-1960 гг.

Временные ряды  $P_W$ ,  $P_E$  и  $P$  практически устойчивы во времени и не имеют выраженной тенденции к росту или убыванию. Имеется незначительная тенденция роста со временем отношения  $P_E/P_W$  [24, 32-40].

Позднее в результате анализа данных 148 метеорологических станций Грузии о числе дней с грозами в период с 1891 г. по 2006 г. были получены уточненные значения среднего числа дней с грозами в год для каждой метеостанции, построена карта распределения периодичности среднегодовой величины количества гроз над территорией Грузии, оценены значения числа молниевых разрядов на Землю как для каждой метеостанции, так и для 12 административных регионов Грузии, изучена зависимость грозовой активности от высоты местности и др. [41,42].

Исследованы связи грозовых процессов с градовыми. Показано, что для территории Грузии в целом и ее западной и восточной частей между средним на метеостанцию числом дней с градом и грозами в 1941-1990, 1941-1960, 1971-1990 гг. в основном наблюдалась значимая положительная линейная корреляционная связь. В период с 1941 по 1990 гг для указанных территорий отмечаются отрицательные тренды градообразующего фактора гроз (отношение числа дней с градом к числу дней с грозами). При этом выявлено, что в первый период времени (1941-1960, низкий уровень загрязненности атмосферы) между градообразующим фактором гроз и числом дней с грозами наблюдалась обратная корреляционная связь, которая изменилась на прямую во второй период времени (1971-1990, высокий уровень загрязненности атмосферы, активные воздействия на облака) [24,43].

Выявлены эффекты землетрясений в изменчивости содержания почвенного радона и электропроводности воздуха в условиях Грузии. В частности получено, что за неделю до апрельского 2002 года землетрясения в Тбилиси отмечался резкий рост содержания почвенного радона. После недели с землетрясением произошло резкое его падение в почвенном воздухе. Отношение максимального содержания почвенного радона (неделя с землетрясением) к его среднему значению до землетрясения изменялось от 1.4 (Делиси) до 4.1 – 4.2 (соответственно Поничала и Мамкода). Во время землетрясения происходит также рост ЭПВ. В ряде случаев резкий рост ЭПВ наблюдается за день до землетрясения. Иногда этот рост отмечается в день с землетрясением, или днем позже. Делается вывод о перспективности использования данных о почвенном радоне и параметрах атмосферного электричества в качестве возможных предвестников землетрясений в условиях [44,45].

Изучено влияния аэрозольного загрязнения воздуха (в том числе и радиоактивного) на изменчивость параметров атмосферного электричества в условиях Восточной Грузии. В частности, как было показано выше, исследование статистической структуры и долговременных изменений электрической проводимости воздуха в Душети и их связей с некоторыми метеорологическими и геофизическими факторами показало, что антропогенное загрязнение атмосферы оказало существенное влияние на уменьшение электропроводности воздуха в период с 1966 по 1990 гг. [24, 29-31].

Исследовано влияние антропогенного загрязнения атмосферы (включая активные воздействия на градовые облака) на изменчивость грозовых процессов [24,46-55].

Получена эмпирическая модель связи сезонной продолжительности гроз в Телави с количеством введенного в облака реагента и уровнем бета-радиоактивных выпадений. Показано, что в целом в годы с воздействием (1967-1984) значения числа дней с грозами и продолжительность гроз в Телави не меняются, происходит рост средней продолжительности грозового дня. В сезоны с бета-радиоактивным фоном менее  $3.0 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{сутки}$  (8 сезонов) число дней с грозами в Телави не меняется, растут продолжительность гроз в сезон и продолжительного грозового дня. В сезоны с бета-радиоактивным фоном более  $3.0 \text{ Бк/м}^2 \cdot \text{сутки}$

( 10 сезонов) в Телави отмечается уменьшение числа дней с грозами, неизменность сезонной продолжительности гроз и рост продолжительности грозового дня.

Рост загрязненности атмосферы в Телави и Тбилиси способствует увеличению сезонной продолжительности гроз. При этом высокий радиоактивный фон ( $B > 3.0$  Бк/м<sup>2</sup>·сутки) препятствует этому росту при уровнях загрязненности атмосферы в Тбилиси со значениями АОТ до 0.140-0.150 и в Телави 0.120-0.130.

Зависимости средних по пятилеткам в период с 1948 по 1982 гг значений продолжительности грозового дня  $P_d$  от аэрозольной оптической толщи атмосферы для Тбилиси и Душети описывается полиномом четвертой степени, а для Телави – третьей степени. В частности, в Тбилиси с ростом АОТ до значений 0.150-0.160 увеличивается и  $P_d$  с 1.2 до 2.2 час. С увеличением загрязненности атмосферы до АОТ = 0.180 продолжительность грозового дня убывает до 1.5 час. То есть, возможно, срабатывает эффект “перезасева”.

Проведены оценки влияния параметров аэрозольного загрязнения атмосферы (АОТ в Тбилиси,  $B$  - бета-радиоактивные выпадения, ЭПВ в Душети) на такие характеристики грозовых процессов, как количество молниевых разрядов  $Y$  и их интенсивность  $N$ , логарифм множителя максимальной радиолокационной отражаемости облаков  $LgZ_m$ , радиолокационный параметр грозоопасности  $R_c$ . Эмпирические модели связи интенсивности грозовых процессов с аэрозольным загрязнением атмосферы получены на основании парного и множественного линейного и нелинейного корреляционного и регрессионного анализов данных.

Связь числа молниевых разрядов в Душети с АОТ в Тбилиси описывается полиномом второй степени. С ростом АОТ от 0.120 до 0.170 количество разрядов убывает примерно от 6000 до 2800. Затем, с ростом АОТ от 0.170 до 0.210 число разрядов в сезон увеличивается до 4000.

Связь числа молниевых разрядов с ЭПВ также описывается полиномом второй степени. В данном случае при изменении ЭПВ от  $31 \cdot 10^{-15}/\text{ом} \cdot \text{м}$  до  $40 \cdot 10^{-15}/\text{ом} \cdot \text{м}$  число разрядов меняется слабо. Дальнейший рост ЭПВ до  $48 \cdot 10^{-15}/\text{ом} \cdot \text{м}$  приводит к увеличению числа разрядов примерно от 2000 до 8000 в сезон.

Связь между числом молниевых разрядов и  $B$  имеет вид полинома третьей степени. При значениях  $B \leq 3.0$  Бк/м<sup>2</sup>·сутки вариации числа разрядов большие и связь их с  $B$  не прослеживается. Однако с дальнейшим ростом  $B$  отмечается и рост количества разрядов. Так, число грозовых разрядов в Душети увеличивается от 2000 до 8000 при росте  $B$  от 6 до 15 Бк/м<sup>2</sup>·сутки.

Связь интенсивности молниевых разрядов в Душети с АОТ в Тбилиси описывается полиномом четвертой степени. С ростом АОТ от 0.110 до 0.125 интенсивность молниевых разрядов уменьшается с 115 разр/час до 40 разр/час. Затем при изменении АОТ от 0.125 до 0.185 интенсивность молниевых разрядов меняется слабо. При дальнейшем росте АОТ от 0.185 до 0.195 интенсивность грозовых разрядов увеличивается от 30-40 разр/час до 70 разр/час.

Связь интенсивности молниевых разрядов с  $B$  описывается полиномом третьей степени. В данном случае при изменении  $B$  от 1.5 до 10 Бк/м<sup>2</sup>·сутки интенсивность разрядов меняется слабо. С дальнейшим ростом  $B$  до 20 Бк/м<sup>2</sup>·сутки интенсивность молниевых разрядов увеличивается примерно с 60 до 100 разр/час. Последующее увеличение бета-радиоактивного фона до 26 Бк/м<sup>2</sup>·сутки связано с уменьшением интенсивности молниевых разрядов со 100 до 50 разр/час.

Связь продолжительности грозового дня в Душети  $P_d$  с АОТ в Тбилиси по данным месячных наблюдений (1971-1973 гг) описывается полиномом второй степени. С ростом АОТ от 0.110 до 0.150-0.160 значение  $P_d$  убывает примерно с 170 мин. до 115 мин. Дальнейший рост АОТ от 0.160 до 0.195 связан с увеличением продолжительности грозового дня с 115 мин. до 140 мин.

Соотношение между продолжительностью грозового дня и  $B$  имеет вид полинома третьей степени. С увеличением  $B$  от 1.5 до 10 Бк/м<sup>2</sup>·сутки значение  $P_d$  растет примерно от 90 мин. до 140 мин. В диапазоне значений  $B$  от 10 до 20 Бк/м<sup>2</sup>·сутки продолжительность грозового дня меняется слабо. Дальнейший рост  $B$  до 26 Бк/м<sup>2</sup>·сутки связан с увеличением  $P_d$  до 180 мин.

Связь  $LgZ_m$  с АОТ в Телави описывается полиномом третьей степени. С ростом АОТ от 0.090 до 0.180 значение  $LgZ_m$  уменьшается примерно с 2.7 до 2. Затем при росте АОТ от 0.180 до 0.230 величина  $LgZ_m$  растет от 2 до 2.6.

Характер связи радиолокационного параметра грозоопасности с АОТ аналогичен связи  $LgZ_m$  с АОТ. Вначале с ростом АОТ от 0.090 до 0.170 значение  $R_t$  убывает примерно с 16 до 10. Затем при росте АОТ от 0.170 до 0.230 величина  $R_t$  слабо растет от 10 до 12.

Связь  $LgZ_m$  с В имеет вид полинома третьей степени. В данном случае при изменении В от 1 до 10 Бк/м<sup>2</sup>·сутки значение  $LgZ_m$  слабо убывает примерно от 2.4 до 2.2. С дальнейшим ростом В до 16 Бк/м<sup>2</sup>·сутки величина  $LgZ_m$  увеличивается примерно с 2.2 до 3.0.

Характер связи радиолокационного параметра грозоопасности с В аналогичен предыдущему случаю и также имеет вид полинома третьей степени. В данном случае при изменении В от 1 до 6 Бк/м<sup>2</sup>·сутки значение  $R_t$  слабо убывает примерно от 13 до 11. С дальнейшим ростом В до 16 Бк/м<sup>2</sup>·сутки величина  $R_t$  увеличивается примерно с 11 до 14.5.

Представлены также примеры моделей двумерных нелинейных зависимостей параметров грозовой активности от АОТ и В. Показано, что в целом эти связи имеют достаточно сложный характер. Загрязнение атмосферы в зависимости от его характера и уровня может приводить как к росту, так и к уменьшению интенсивности грозовых процессов [24,46-55].

Предложена концепция взаимодействия облачности с аэрозолями [2,24,56]. В концепции отмечается разнообразие взаимосвязей между процессами, протекающими в облаках и безоблачной атмосфере. С одной стороны аэрозоль, модифицируясь в атмосфере и попадая в облачную среду в результате увлажнения или взаимодействия с облачными каплями, способствует образованию ледяных ядер и кристаллов. Изменение фазового состояния облачной среды приводит к изменению ее электрической активности (внутриоблачные, межоблачные, наземные разряды). Разрядная деятельность изменяет химический состав облачной среды (образование озона, окислов азота и др.), а также непосредственно действует на образование твердой фазы в облаках. Указанные газы вместе с радоном, окислами серы и др. компонентами в условиях высокой увлажненности и космической ионизации приводят к интенсивной генерации ядер конденсации. Конденсация на этих ядрах водяного пара приводит к локальным пересыщениям и активации инактивных ядер в межкапельной среде и образованию ядер кристаллизации и ледяных кристаллов, то есть опять-таки к изменению фазового состояния облачной среды. Одновременно действие высоких концентраций озона на инактивные аэрозоли почвенного происхождения в межкапельном пространстве активизирует их в смысле льдообразования. Фазовые переходы и процессы ионизации приводят к изменению электрической активности облака и цикл повторяется снова.

Пробивая тропопаузу мощные вертикальные потоки воздуха могут переносить в стратосферу значительные количества водяного пара, аэрозолей, озона, окислов азота, серы и других примесей. Таким образом, мощные конвективные и грозовые облака могут вносить существенный вклад в изменение химического состава атмосферы, содержания в ней аэрозолей.

Совокупное взаимодействие молниевой активности облаков, ионизации воздуха, их аэрозольного и химического состава в зависимости от содержания и вида последних может приводить как к интенсификации осадков (в том числе и твердых), так и к уменьшению их. Первое, в частности, возможно, когда освоение влаги ядрами конденсации и кристаллизации приводит к образованию крупнокапельной или капельно-кристаллической системы, способствующей дальнейшему быстрому коагуляционному росту облачных элементов. Второе может происходить при чрезмерном образовании ядер конденсации и кристаллизации (например, в сильно загрязненной местности), когда в результате освоения ими влаги создается мелкодисперсная капельная или капельно-кристаллическая система, затрудняющая дальнейший коагуляционный рост облачных частиц и выпадение жидких и твердых осадков (так называемый эффект “перезасева”).

Поэтому в соответствии с этой концепцией не следует ожидать прямых связей между грозовой и градовой активностями, осадками и аэрозольно-газовыми загрязнениями атмосферы и др. Указанные взаимосвязи должны характеризоваться региональными особенностями, обусловленными как физическими условиями процессов образования облачности, так и



количеством и видом аэрозольно-газового загрязнения воздуха (в том числе размерами, химическим составом и конденсационной и льдообразующей активностью твердых минеральных и антропогенных частиц аэрозолей, могущих оказывать существенное влияние на образование крупных капель и зародышей градин).

Авторами отмечается, что данная концепция не претендует на завершенность и предусмотрено ее дальнейшее развитие [2,24,56].

Выявлен эффект влияния Ингурского водохранилища на продолжительность гроз П, которая в период с 1981 по 1987 гг., по сравнению с фоновой станцией Кутаиси, по данным метеостанции Джвари, в среднем за сезон увеличилась на 77%. Этот эффект проявляется с июля по октябрь месяцы и максимален в октябре, когда рост П, по сравнению с Кутаиси, составляет 161%. В июле этот рост составляет 72%, в августе – 44%, в сентябре – 138% [57].

В последние годы особое внимание уделяется экологическим аспектам параметров атмосферного электричества (электропроводность воздуха, концентрация легких ионов в атмосфере), изучению влияния их на здоровье людей, особенно в условиях сильно загрязненной атмосферы города Тбилиси. Помимо этого рассматриваются возможности использования этих параметров, как важного биоклиматического фактора в аспекте лечебно-реабилитационного действия, для повышения курортно-туристического потенциала Грузии [58-65].

В частности, проведено исследование изменчивости среднемесячных значений ЭПВ как фактора чистоты атмосферы, и оценено ее влияние на здоровье людей. Временной ход среднемесячных значений ЭПВ(+) в 1966-1990 гг для всех месяцев удовлетворительно аппроксимируется линейным уравнением. Наибольшая скорость убывания ЭПВ(+) отмечалась в августе, а наименьшая – в декабре. Существенной разницы в значениях и динамике изменчивости среднемесячных значений ЭПВ(+) и ЭПВ(-) нет, коэффициент униполярности близок к единице. Для всех месяцев в исследуемый период значение ЭПВ(+) было выше минимально необходимого для здоровья человека. ЭПВ(-) для зимних, весенних и осенних месяцев в большинстве случаев была меньше указанного уровня. В холодное полугодие наибольшую роль в вариациях среднемесячной декадной смертности в Тбилиси по поводу сердечно-сосудистых заболеваний в пределах вариационного размаха по сравнению с другими метео-геофизическими факторами играют вариации ЭПВ (или числа легких ионов в воздухе) – 23.3%. В теплое полугодие эта роль незначительна (2.9 %) [58].

Было проведено широкомасштабное изучение содержания легких ионов в городской и экологически чистой местности в Грузии. В частности показана существенная разница в уровне загрязненности воздуха в Тбилиси и других населенных пунктах Грузии [59-61].

В частности, в Тбилиси в 2010-2011 гг. среднедневная концентрация легких ионов  $N$  на территории термабарокамеры Института геофизики менялась от  $906 \text{ см}^{-3}$  в 9 час до  $1063 \text{ см}^{-3}$  в 15 час, при среднем значении  $991 \text{ см}^{-3}$ ; минимальное значение  $N$  составляло  $215 \text{ см}^{-3}$  в 9 час, максимальное -  $3397 \text{ см}^{-3}$  в 15 час. Коэффициент линейной корреляции между среднедневными концентрациями легких ионов и их часовыми значениями достаточно высок (0.77-0.85). Максимум распределения концентрации легких ионов по данным за год и в холодное полугодие приходится на диапазон  $601-1000 \text{ см}^{-3}$  (45.1 % и 46.8 % соответственно), а для теплого полугодия – на диапазон  $1001-1400 \text{ см}^{-3}$  (43.4 %).

При среднедневной суммарной концентрации легких ионов менее  $600 \text{ см}^{-3}$  (очень загрязненная атмосфера) в Тбилиси по данным вызовов скорой медицинской помощи наблюдался рост госпитализации пациентов. За исследуемый период времени таких дней было около 80 [59-61].

Представлены результаты исследований концентрации легких аэроионов в некоторых курортных и туристических зонах Грузии [62-66]. В частности, приведены данные о суммарной концентрации ионов в Боржомском парке и прилегающих к нему территориях, включая ущелье реки Боржомула. Показано, что вблизи реки можно найти достаточно мест, пригодных для ионотерапии. Аналогичная ситуация и для других мест курорта Боржоми - лес вблизи «Мцване монастыри», берег реки Кура и др. В Тбилиси, несмотря на высокую загрязненность воздуха, также можно найти места, пригодные для отдыха и реабилитации - территории ботанического сада, парк Мамкода, Тбилисское море, Черепашье озеро и др. [63,64].

Представлены некоторые новые данные о содержании легких ионов в воздухе села Мухури (Западная Грузия) и на озере Базалети, полезные для развития курортно-туристического потенциала этих местностей [65,66]. В частности, результаты измерений концентрации легких ионов в воздухе около берега реки Хобисцкали, в Шурубумской карстовой пещере и в лесу показали перспективность развития в указанной местности ионотерапии. Отмечается, что для лечебного и оздоровительного туризма пригодны все месяцы года [65].

Содержание легких ионов на озере Базалети и в пределах нескольких сотен метров от него выше минимально необходимой для здоровья людей нормы, тогда как в Душети концентрация ионов ниже минимально необходимой [66], что согласуется с ранее проведенными исследованиями электропроводности воздуха в Душети [58].

Предлагается в дальнейшем провести более детальные исследования содержания ионов в воздухе в различных районах Грузии, что позволит повысить эффективность курортно-туристического потенциала государства.

Новый этап развития исследований грозовых процессов связан с возобновлением работы Противогортовой службы в Грузии (Кахетия). Современный метеорологический радар, обеспечивающий радиолокационный мониторинг облачности, позволит получить новую информацию о грозовых процессах в Восточной Грузии [67-69].

### Литература

1. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Дивинский Л.И., Мазур В.Д., Дореули Р.И. Радиолокационные наблюдения за грозовыми очагами в кучевождевых облаках. Тр. Ленинградского Гидрометеорологического ин-та, вып.54, Вопросы эксп. Физ. атм., Л., Гидрометеиздат, 1975.
2. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Дивинский Л.И., Мазур В.Д., Дореули Р.И. Радиолокационные характеристики грозовых облаков в сантиметровом и метровом диапазоне радиоволн. Тр. I Всесоюзн.симп. по атм.электр., Л., Гидрометиздат, 1976.
3. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Дивинский Л.И., Мазур В.Д., Иванов Б.Д., Попов Л.К. Некоторые характеристики электромагнитного излучения атмосферных разрядов в метровом диапазоне. Всес.симп. по радиофиз. исслед. атм., Л., Гидрометиздат, 1977.
4. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Дивинский Л.И., Иванов Б.Д. Эволюция фронтальных грозовых очагов (по радиолокационным наблюдениям в метровом и сантиметровом диапазоне длин волн). Известия АН СССР, Физика атмосферы и океана, том 15, М., 1979.
5. Иванов Б.Д., Осипов Ю.Г., Карцивадзе А.И. Активная и пассивная радиолокация грозовых зон во фронтальной облачности. Безопасность полета в условиях опасных внешних воздействий. Тр. Всесоюзн. науч. тех. конф., Киев, 1981.
6. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г. Взаимосвязь напряженности электрического поля с температурными пульсациями в кучевых облаках. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 44, Тбилиси, "Мецниереба", 1978, с. 99-105.
7. Kartsivadze A.I., Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nodia A.G. The result of aircraft investigations of the cumulus cloud electrical characteristics. Journ. de Rech. Atm., v. 13, N 4, oct.-dec., 1980, p. 339.
8. Карцивадзе А.И., Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Нодия А.Г. Результаты самолетных исследований электрических характеристик кучевых облаков. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.49, Тбилиси, "Мецниереба", 1982, с. 68-75.
9. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Махарашвили А.З. Заряжение самолета ИЛ-14 в свободной атмосфере в зависимости от содержания аэрозолей. Сб. Атмосферное электричество, Тр. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, Л., Гидрометеиздат, 1988, с. 264-265.
10. Amiranashvili A.G., Nodia A.G. Some Results of Investigation of IL-14 Airplane Electrization in Clouds and Atmosphere. Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, v. 1, 2003, p.159-160.
11. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Nodia A. - Changeability of the Atmospheric Electric Field Vertical Distribution in the Lower Troposphere and its Connection with the Aerosol Pollution, Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 13-18 August 2007.

12. Степаненко В.Д., Имянитов И.М., Богачук В.С., Карцивадзе А.И., Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Бохашвили В.А., Саркисова Л.С., Салуквадзе Т.Г., Качурин Л.Г., Дивинский Л.И., Иванов Б.Д., Осипов Ю.Г. Предварительные результаты опытов по воздействию на грозовые процессы льдообразующим реагентом. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 49, Тбилиси, "Мецниереба", 1982, с. 13-44.
13. Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., Окуджава А.М., Чиабришвили Н.Ш., Нодия А.Г., Варамашвили Н.М., Мирцхулава М.К., Имянитов И.М., Чубарина К.В., Климин Н.Н., Морозов В.Н., Мордовина Л.С., Фабер О.А. Лабораторные опыты по электризации облачных элементов в результате взаимодействия разнородных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 49, Тбилиси, "Мецниереба", 1982.
14. Imianitov M., Stepanenko V., Kachurin L., Kartsivadze A. Study of the Basic mechanism of Cumulonimbus Organized Electrification by Affecting their Electrical state. Papers presented at the fourth WMO scient. Confer. On Weather modification. A joint WMO/IAMAP sympos., Honolulu, Hawaii, USA, 1985.
15. Дьяконова И.Н., Имянитов И.М., Карцивадзе А.И., Климин Н.Н., Мордовина Л.С., Морозов В.Н., Фабер О.А., Чубарина Е.В. Лабораторное моделирование процессов контактной электризации облачных частиц. Л., Гидрометеиздат, 1985.
16. Amiranashvili A., Gzirishvili T., Nodia A. Some results on laboratory modelling of cloud electrification processes when it is influenced by various agents. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, St. Petersburg, Russia 15-19 June, v. 2, 1992, p. 399.
17. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. Laboratory modelling of the transformation of microphysical and electrical properties of artificial water fogs. Proc. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, p. 333-335.
18. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations. Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, p. 54-55.
19. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Investigation of the variations of electrical and radar parameters of thunderclouds. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. on atmospheric electricity, Uppsala, Sweden, 13-16 June, 1988, p. 388-391.
20. Амиранашвили А.Г., Богачук В.С., Гзиришвили Т.Г., Нехотина Л.М., Трофименко Л.Т. Исследование взаимосвязей между радиолокационными и электрическими параметрами грозовых облаков и оценка эффективности воздействия на них. Сб. Атмосферное электричество, Тр. 3-го Всесоюз. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, Л., Гидрометеиздат, 1988, с. 116-119.
21. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Nekhotina L.M., Trofimenko L.T., Bogachuk V.S. Variation of thunderclouds electrical and radar parameters as a result of artificial modification. Pap. Submitted to the 5<sup>th</sup> WMO Sc. Conf. on Weather Modification and Appl. Cloud Physics, Beijing, China, v.1, WMO/TD-No 269, 8-12 May 1989, p. 357-358.
22. Амиранашвили А.Г., Маградзе Г.Д. 8-ая Международная конференция по атмосферному электричеству. Упсала, Швеция, 13-16 июня 1988, Изв. АН СССР, сер. ФАО, т. 25, N 9, 1989, с. 1001-1006.
23. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тбилиси, "Мецниереба", 1991, 113 с.
24. Амиранашвили А.Г. Исследование грозо-градовых процессов в Грузии и их связей с аэрозольным загрязнением атмосферы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физ.-мат наук по специальности 04.00.23 – геофизика (физика атмосферы и гидросферы), Институт геофизики им. М.З. Нодия, Тбилиси, 2006, 53 с. [http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/4920/1/Amiranashvili\\_Avtoreferat\\_2006.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/4920/1/Amiranashvili_Avtoreferat_2006.pdf)
25. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Дореули Р.И., Хоргуани Ф.А., Богачук В.С. О распределении максимальной высоты радиоэха конвективных облаков и грозовой активности над территорией Кахетии. Тез. Докл. 4-го Всесоюз. Симп. по атмосферному электричеству, Нальчик, 7-11 октября 1990, с. 117.

26. Дореули Р.И., Амиранашвили А.Г., Хоргуани Ф.А. Исследование поля распределения комплексного показателя градоопасности и критерия грозоопасности над территорией Кахетии. Тез. Докл. 4-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Нальчик, 7-11 октября 1990, с. 118
27. Amiranashvili A., Gzirishvili T., Doreuli R., Khorguani F., Bogachuk V. On the distribution of maximum height of convective clouds radioecho and thunderstorm activity over Kakheti. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, St. Petersburg, Russia, 15-19 June, v.3, 1992, p. 741.
28. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Bibilashvili T., Chumburidze Z., Gzirishvili T., Doreuli R., Nodia A., Khorguani F., Kolesnikov Yu. Distribution of Convective Clouds and Lightning Discharges of the Earth Surface in Kakheti Region of Georgia. Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Reno, Nevada, USA, August 14-18, v.2, 2000, p. 1050-1052.
29. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kalaijeva L.L., Karauli N.D., Khunjua A.T., Nodia A.G., Vachnadze J.I. Characteristics of Air Conductivity in Dusheti. Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, v.1, 2003, p. 353-356.
30. Amiranashvili A.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Khunjua A.T., Khurodze T.V. Study of Long-Term Variations of the air Electrical Conductivity in Dusheti and their Connections with Some Meteorological- Geophysical Factors. Dep., Techinform, N 1249, 01.03.2006, Tbilisi, 2006, p. 1-8, (in Russian).
31. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Khunjua A., Nodia A. Statistical Structure of Air Electric Conductivity in Dusheti, Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 13-18 August 2007.
32. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Нехотина Л.М., Трофименко Л.Т. Характеристики грозовой активности Восточной Грузии по данным сети метеорологических станций УГКС ГССР. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 117.
33. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Трофименко Л.Т., Хеладзе Т.В. Данные о грозовой деятельности в различных районах Грузии. Тез. Докл. 4-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Нальчик, 7-11 октября 1990, с. 170.
34. Amiranashvili A., Gzirishvili T., Mukhraneli I., Trofimenko L., Khvedelidze Z., Kheladze T. Some data on thunderstorm activity in various region of Georgia. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, St. Petersburg, Russia, 15-19 June, v. 3, 1992, p.782.
35. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Пространственно-временные характеристики числа дней с грозами в Грузии. Материалы научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Ф.Ф.Давитая, Тбилиси, 17-19 сентября, 2001, с. 73.
36. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P., Chumburidze Z.A. Some Characteristics of a Thunderstorm Activity in Georgia. Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, v.1, 2003, p. 711-714.
37. Amiranashvili A.G., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P. Long-Term Variation of Days with Thunderstorm in the East Georgia. Trans. of Vakhushti Bagrationi Institute of Geography Acad. of Sc. of Georgia, v. 21, USSN 11512-1224, Tbilisi, 2003, p. 134-149, (in Georgian).
38. Amiranashvili A.G., Beritashvili B.Sh., Mkurnalidze I.P. Correlation Between Number of Thunder-Days and Duration of Thunderstorm Activity in Eastern Georgia. Proc. 14<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004, p. 2\_1\_214.1-2\_1\_214.4.
39. Бериташвили Б.Ш., Мкурналидзе И.П., Амиранашвили А.Г. Исследование пространственно-временных изменений числа дней с грозой на территории Грузии. Вопросы физики облаков. Облака, осадки и грозовое электричество. Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 2004, с. 155-168.
40. Amiranashvili A., Nodia A. Characteristics of Thunderstorm Activity in Dusheti. Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 13-18 August 2007.
41. Amiranashvili A., Varazanashvili O., Nodia A., Tsereteli N., Mkurnalidze I. Characteristics of Thunderstorm Activity in Georgia. Trans. of the Institute of Hydrometeorology, v. No 115, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 18 – 19 November, 2008, p. 284 – 290 (in Russian).
42. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia, Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), 2021-2056,

DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>.

43. Амиранашвили А., Дореули Р., Чумбуридзе З. Взаимосвязь гроз и града. Наука и техника, № 4-6, Тбилиси, 1999, с. 104-108, (на грузинском языке).
44. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Gambashidze R.A., Khunjua A.T., Nodia A.G. Preliminary Results of Investigations of Variations of Atmospheric Electric Parameter Peculiarities Over Tectonic Fractures and During Earthquakes. Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Versailles, France, 9-13 June, v.1, 2003, p. 403-406.
45. Amiranashvili A., Matiashvili T., Nodia A., Khunjua A., Chikhladze V. Connection of Soil Radon and Air Electrical Conductivity with the Earthquakes. Proc. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 60, Tbilisi, 2008, p. 195 – 201 (in Russian)
46. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Chumburidze Z.A. On the role of artificial iceforming reagents and radioactive intermixtures in the variation of convective clouds thunderstorm and hail activity. Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, v. 1, 1996, p. 267-270.
47. Amiranashvili A.G., Nodia A.G., Chiabrishvili N.G., Kirkitadze D.D., Okujava A.M., Chikhladze V.A., Bliadze T.G., Khunjua A.T. Evaluation of the Influence of Aerosol Air Pollution on the Changeability of the Parameters of Atmospheric Electricity Under the Conditions of Eastern Georgia. Dep., Techinform, N 1251, 01.03.2006, Tbilisi, 2006, p. 1-8, (in Russian).
48. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Khunjua A.T., Khurodze T.V. Study of Long-Term Variations of the Thunderstorm and Hail Processes in the Conditions of Eastern Georgia and their Connections with the Anthropogenic Pollution of Atmosphere. Dep., Techinform, N 1250, 01.03.2006, Tbilisi, 2006, p. 1-6, (in Russian).
49. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Bachiashvili L.L., Bibilashvili T.N., Supatashvili G.D. Influence of the Anthropogenic Pollution of the Atmosphere and Thunderstorms on the Precipitations Regime and their Chemical Composition in Alazani Valley Conditions. Proc. 14<sup>th</sup> International Conference on Clouds and Precipitation, Bologna, Italy, 18-23 July 2004, p. 2\_3\_216.1-2\_3\_216.2.
50. Amiranashvili A., Nodia A., Khurodze T., Kartvelishvili L., Chumburidze Z., Mkurnalidze I., Chikhradze N. Variability of Number of Hail and Thunderstorm Days in the Regions of Georgia with Active Influence on Atmospheric Processes. Bull. of the Georgian Acad. of Sc., 172, N3, 2005, p. 484-486.
51. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Nodia A., Kirkitadze D. Connection of Thunderstorm Processes Intensity with Aerosol Pollution of the Atmosphere. Proc. 13<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Beijing, China, 13-18 August 2007.
52. Amiranashvili A. Connection Between the Characteristics of Thunderstorm Activity and Air Pollution in Kakheti Region of Georgia. Proc. of IX Int. Symposium on Lightning Protection, Foz do Iguaçu, Brazil, 26-30 November 2007.
53. Amiranashvili A. Statistical Models of Connection of Lightning Activity with Aerosol Pollution of Atmosphere. Proc. of X Int. Symposium on Lightning Protection, Curitiba, Brazil, 9-13 November 2009, p.261-266.
54. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Nodia A. Influence of Aerosol Pollution of Atmosphere in Tbilisi on Air Electric Conductivity in Dusheti. Proc. of the 14th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 07-12, 2011, <http://www.icae2011.net.br/>.
55. Amiranashvili A. Connection of Lightning Activity with Air Electrical Conductivity in Dusheti. Proc. of the XIth Int. Symp. of Lightning Protection, SIPDA, Fortaleza, Brazil, October 3-7, 2011, <http://ws9.iee.usp.br/>.
56. 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 Sc., ISSN 1512-1135, v. LIX, 2005, 128 p.
57. Хведелидзе З.В., Чумбуридзе З.А., Амиранашвили А.Г. Влияние на грозовую активность Ингурского водохранилища. Деп. Техинформ, 1201-99, 17 мая.
58. 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, Proc.

- of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, ISSN 1512-1135, vol. 60, Tbilisi, 2008, p. 186 – 194 (in Russian).
59. Amiranashvili A., Bliadze T., Chankvetadze A., Chikhladze V., Melikadze G., Kirkitadze D., Nikiforov G., Nodia A. Comparative Characteristics of Light Ions Content in the Urban and Ecologically Clean Locality in Georgi. Proc. of the 14th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 07-12, 2011, <http://www.icae2011.net.br/>.
  60. ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., ჩიხლაძე ვ. ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში. მონოგრაფია, ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტომი 63, თბილისი, 2012, 160 გვ.
  61. Amiranashvili A. Some results of study of variations of light ions concentration and their connections with the ionizing radiation and sub-micron aerosol content in air under the conditions of Tbilisi city. Proc. of 15<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Norman, Oklahoma, USA., 15-20 June 2014, <http://icae2014.nwc.ou.edu/>
  62. 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).
  63. Amiranashvili A., Bliadze T., Chikhladze V., Machaidze Z., Melikadze G., Saakashvili N., Khatiashvili E., Tarkhan-Mouravi I., Sikharulidze Sh., Nakaidze T., Tavartkiladze M. New Data About the Aeroionization Characteristics of the Territory of National Botanical Garden of Georgia as the Factor of the Expansion of its Sanitation Properties for the Visitors. Journ. of Georgian Geophysical Soc., Iss. (B), Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol.16b, Tbilisi, 2013, p. 24-30.
  64. Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Блиадзе Т.Г., Тархан-Моурави И.Д., Чихладзе В.А. Содержание легких аэро-ионов в некоторых курортных и туристических зонах Боржоми и Тбилиси. Актуальные проблемы патологии, терапии и медицинской реабилитации. Сборник научных статей, ISBN 978-9941-0-6499-9, Тбилиси-Москва: ТБК-РАМ-ТН, 2014, с. 69-74.
  65. Amiranashvili A.G., Bolashvili N.R., Chikhladze V.A., Japaridze N.D., Khazaradze K.R., Khazaradze R.R., Lezhava Z.L., Tsikarishvili K.D. Some New Data about the Bioclimatic Characteristics of the Village of Mukhuri (Western Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, p. 107-115.
  66. Bliadze T., Chikhladze A., Japaridze N., Khazaradze K., Khazaradze R., Melikadze G., Varamashvili N., Vepkhvadze S. Some Bioclimatic Indices of the Health Resort-Tourist Complex of Bazaleti Lake (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, p. 116-123.
  67. 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, 2015, pp. 92-106.
  68. 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.
  69. 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.

**ატმოსფერული ელექტრობის, ელჭექის პროცესების და მათზე ანტროპოგენური ზემოქმედების კვლევა საქართველოში**

**ბერიტაშვილი ბ., ბლიაძე თ., მკურნალიძე ი., ტროფიმენკო ლ., ხორგუანი ფ., ხუროძე თ., ჭანკვეტაძე ა., ჭუმბურიძე ზ.**

**რეზიუმე**

წარმოდგენილია საქართველოში ატმოსფერული ელექტრობის, ელჭექის პროცესების და მათზე ანტროპოგენური ზემოქმედების შესახებ ვრცელი კვლევების მიმოხილვა. აღინიშნება, რომ ელჭექური პროცესების კვლევების განვითარების ახალი ეტაპი დაკავშირებულია საქართველოში (კახეთი) სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის მუშაობის აღდგენასთან. თანამედროვე მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორი, რომელიც უზრუნველყოფს ღრუბლიანობის რადიოლოკაციურ მონიტორინგს, საშუალებას მოგვცემს ელჭექის პროცესების შესახებ ახალი ინფორმაცია მივიღოთ.

**STUDY OF ATMOSPHERIC ELECTRICITY, THUNDERSTORM PROCESSES AND ANTHROPOGENIC ACTION ON THEM IN GEORGIA**

**Beritashvili B., Bliadze T., Mkurnalidze I., Trofimenko L., Khorguani F., Khurodze T., Chankvetadze A., Chumburidze Z.**

**Abstract**

The survey of the extensive studies of atmospheric electricity, thunderstorm processes and anthropogenic action on them in Georgia is described. It is noted that new development stage of studies of thunderstorm processes is connected with the renewal of the work of anti-hail service in Georgia (Kakheti). The contemporary meteorological radar, which ensures the radar monitoring of cloudiness, will make it possible to obtain new information about the thunderstorm processes.

**ИССЛЕДОВАНИЕ АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА, ГРОЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ И АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ В ГРУЗИИ**

**Бериташвили Б.Ш., Блиадзе Т.Г., Мкурналидзе И.П., Трофименко Л.Т., Хоргуани Ф.А., Хуродзе Т.В., Чанкветадзе А.Ш., Чумбуридзе З.А.**

**Реферат**

Представлен обзор обширных исследований атмосферного электричества, грозовых процессов и антропогенного воздействия на них в Грузии. Отмечается, что новый этап развития исследований грозовых процессов связан с возобновлением работы Противогорадовой службы в Грузии (Кახетия). Современный метеорологический радар, обеспечивающий радиолокационный мониторинг облачности, позволит получить новую информацию о грозовых процессах.

## ЭВОЛЮЦИЯ В ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРАДОВЫЕ ОБЛАКА

Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Чочишвили К.М.

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, darejan.kirkitadze@gmail.com*

В конце 50-х и начале 60-х годов на основе анализа полевых и лабораторных экспериментальных данных, а также результатов теоретических расчетов была разработана концепция воздействия на градовые процессы, которая в дальнейшем была положена в основу разработки средств и методов защиты сельскохозяйственных культур от градобитий

Со второй половины пятидесятых годов в Алазанской долине и на Цив-Гомборском хребте проводились опыты по воздействию на конвективные облака. Впервые в этих районах они были проведены в 1955 г., с применением метода наземного дымления, позволяющего генерировать аэрозоль кристаллизующего реагента йодистого серебра, Институтом геофизики совместно с Эльбрусской экспедицией

В 1956 – 1957 гг. в районе Гомборского хребта была проведена серия экспериментов по воздействию на конвективные облака с использованием метода наземного дымления йодистого серебра и йодистого свинца. Анализ результатов этих экспериментов позволил прийти к заключению, что метод наземного дымления, в то время широко распространенный в ряде стран мира, не может быть признан пригодным для решения практической задачи подавления градового процесса, т.к. не позволяет с необходимой надежностью и оперативностью в нужный момент времени и в требуемую часть градоопасного облака вводить кристаллизующие реагенты в соответствующих количествах [1-3].

Была создана экспериментальная установка для изучения льдообразующей активности аэрозолей [4], необходимая как для нахождения новых эффективных льдообразующих реагентов, так и для определения условий их применения на практике для воздействия на конвективные облака [5,6].

В 1972 – 1981 гг. проводились экспериментальные исследования влияния пересыщения водяного пара на льдообразующую активность ацетил-ацетата меди, а также модификации поверхности ядер различных веществ на изменения их льдообразующей активности. Теоретически была изучена зависимость вероятности образования зародышей твердой фазы на подложке от ряда энергетических характеристик и величины пересыщения; изучен механизм встраивания молекул в кристаллическую решетку, в частности, исследована закономерность распределения адсорбированных молекул вдоль грани кристалла льда. В результате проделанной работы найдена зависимость значения косинуса угла смачивания от пересыщения водяного пара и определен диапазон пересыщения, обеспечивающий сублимационную нуклеацию льда на подложке йодистого серебра. Рассмотрена и предложена схема гетерогенной нуклеации льда на подложке, представляющая собой субстрат с адсорбированными молекулами воды, и установлена зависимость работы образования зародыша льда от теплоты взаимодействия адсорбент-адсорбат.

Учет полученных результатов способствовал не только целенаправленному поиску новых активных льдообразующих веществ, но и разработке способов искусственной активации уже известных кристаллизующих реагентов



Совместно с Институтом органической химии АН СССР и Московского института инженеров сельскохозяйственного производства проделаны важные исследования, позволяющие изыскать новый класс химических веществ, обладающих значительной льдообразующей активностью. Таковым является класс внутрикомплексных, в частности, хелатных соединений. Испытание значительного числа представителей веществ этого класса позволило выявить ряд новых соединений, которые характеризуются высокой льдообразующей активностью и, вместе с тем, обладают достаточной термической устойчивостью, что позволяет использовать простые способы теплового и термомеханического диспергирования. Среди испытанных веществ высокой льдообразующей активностью как по порогу кристаллизующего действия, так и по выходу активных ядер кристаллизации, обладают ацетилацетонат меди, ванадил, молибдил, кобальт и другие металлы, а также медный хелат ацетонуксусного эфира.

Эксперименты в облачных камерах показали, что ацетилацетонат меди столь активен как льдообразователь, что может явиться эффективным заменителем как дефицитного йодистого серебра, так и токсичного йодистого свинца [7-9].

Изобретения, связанные с изысканием нового класса льдообразователей и высокоактивного льдообразующего реагента, запатентованы в восьми странах.

Ацетилацетонат меди, как показали специальные исследования, проведенные в облачной камере, обладает повышенной чувствительностью льдообразующей активности от пересыщения водяного пара.

Лабораторные эксперименты, проведенные совместно с ЛГМИ в облачной камере Института геофизики, показали, что льдообразующая активность ацетилацетоната меди, диспергируемого в потоке пересыщенного пара может увеличиться более, чем на порядок [10,11].

В 1999 году Карцивадзе А.И. посмертно вместе с группой ученых (Патрикеев В.В., Малкина А.Д.) за работу по исследованию свойств органических внутрикомплексных (хелатных) соединений вызывать активную кристаллизацию переохлажденных водных систем в атмосфере Российской Академией Естественных наук был выдан диплом на открытие [12].

К сожалению, в Грузии в постсоветский период работы по исследованию льдообразующих свойств различных реагентов и повышению их эффективности были приостановлены. В других странах эти работы активно продолжаются. В результате удалось резко повысить выход кристаллизующих частиц с единицы массы реагента при одновременном снижении содержания йодистого серебра в пиротехническом составе. Так, например, выход кристаллизующего реагента с одного используемого Противорадовой службой Грузии в 2015 году изделия SK-6, примерно в 4 раза превосходит такие ракеты, как "Алазань 2М", "Кристалл-1М", "Кристалл-2М", в 1.8 раза превосходит ракеты типа "Алазань 5/6/9"; соизмерима с выходом активных частиц у ракет типа "Небо", "Дарт", "Loza-2", "Loza-3", "Алан-2"; примерно в 1.6-4.2 раза ниже, чем у ракет типа "Облако", "АС", "Loza-6" [13-17].

## Литература

1. Аксенов М.Я., Вернидуб И.И., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Плауде Н.О., Шишминцев В.В. Исследование льдообразующих аэрозолей йодистого серебра, генерируемого при горении пиротехнических составов. Тр. Ин-та геофизики АН СССР, т. 20, Тбилиси, «Мецниереба», 1962, с. 197-207.
2. Аксенов М.Я., Вернидуб И.И., Гайворонский И.И., Карцивадзе А.И. и др. Получение льдообразующего аэрозоля йодистого свинца с помощью пиротехнических составов. Тр. Центральной аэрологической обсерватории, вып. 44, 1962, с. 63-69
3. Аксенов М.Я., Гайворонский И.И., Карцивадзе А.И., Плауде Н.О. и др. Разработка и исследование составов для воздействия на конвективные облака. Тр. Всесоюзного научного совещания по активным воздействиям на градовые процессы. Тбилиси, 1964, с. 341-346.

4. Джгмадзе О.С., Карцивадзе А.И. Облачная камера для исследования льдообразующей активности аэрозоля. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, вып. I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
5. Вернидуб И.И., Карцивадзе А.И., Кулигин А.С., Жихарев А.С. Льдообразующие свойства аэрозолей окислов металлов. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, вып. I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
6. Аксенов М.Я., Баханова Р.А., Бактирова Г.М., Карцивадзе А.И и др. Использование льдообразующих аэрозолей для воздействия на облака и результаты исследования льдообразующих реагентов. Тр. V Метеор. Съезда, т. 4, 1972.
7. Kartsivadze A., Melkina B., Patrikiev V., Sedunov A., Kravchenko I. On the Ice-nucleating Ability of Complex (chelate) Compounds. 19-th Int. Con. On Atmospheric Aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Abstr., Ireland, 1977.
8. Карцивадзе А.И., Малкина В.Д., Патрикеев В.В., Сидоров А.И., Кравченко И.П. О льдообразующей активности некоторых внутрикомплексных соединений. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 44, Тбилиси, «Мецниереба», 1978, с. 45-53.
9. Патрикеев В.В., Малкина А.Д., Сидоров А.И., Карцивадзе А.И., Кравченко И.П., Шишминцев В.В. Метод исследования и экспериментальная проверка эффективности органических льдообразующих реагентов. X Всес. конф. по актуальн. вопр. испар. и горения динамики дисперсных систем, Одесса, 1979.
10. Качурин Л.Г., Андросенко В.Я., Карцивадзе А.И, Окуджава А.М., Блиадзе Т.Г. Исследование льдообразующей активности некоторых реагентов при диспергировании их в сверхзвуковой струе перенасыщенного водного пара. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, «Мецниереба», 1984, с. 74-79.
11. Качурин Л.Г., Андросенко В.Я., Карцивадзе А.И, Бибилури Л.Ш., Блиадзе Т.Г., Григоров Н.О., Окуджава А.М. Льдообразующая активность струи перенасыщенного водяного пара. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, «Мецниереба», 1984, с. 80-84.
12. Карцивадзе А.И., Патрикеев В.В., Малкина А.Д. Диплом № 192 на открытие № А-220 “Свойство органических внутрикомплексных (хелатных) соединений вызывать активную кристаллизацию переохлажденных водных систем в атмосфере, «РАЕН», М., 1999.
13. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, “Печатный двор”, 2014, 500 с.
14. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противорадовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
15. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с.113-120.
16. 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, 2015, pp. 92-106.
17. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.

**სეტყვის ღრუბელზე ზემოქმედებისათვის საჭირო ყინულწარმომქმნელი  
რეაგენტების ეფექტურობის ევოლუცია**

**ბლიაძე თ., კირკიტაძე დ., ჩოჩიშვილი ქ.**

**რეზიუმე**

წარმოდგენილია ცნობები საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში წინა საუკუნეში ჩატარებული სეტყვის ღრუბლებზე ზემოქმედებისათვის საჭირო ყინულწარმომქმნელი რეაგენტების ეფექტურობის კვლევების შესახებ. სხვადასხვა ქვეყნებში აღინიშნება არსებითი პროგრესი ატმოსფერულ პროცესებზე ზემოქმედებისათვის გამოსადეგი თანამედროვე ყინულწარმომქმნელი რეაგენტების შექმნაში ადრე არსებულთან შედარებით.

**EVOLUTION IN THE EFFECTIVENESS OF THE ICE-FORMING REAGENTS FOR  
THE ACTION ON THE HAIL CLOUDS**

**Bliadze T., Kirkitadze D., Chochishvili K.**

**Abstract**

The information about works in Institute of Geophysics of Academy of Science of Georgia on the study of the effectiveness of ice-forming reagents for the action on the hail clouds in the last century is given. Essential progress in the creation in different countries of the contemporary ice-forming reagents for the action on the atmospheric processes in comparison with those existing earlier is noted.

**ЭВОЛЮЦИЯ В ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЬДООБРАЗУЮЩИХ РЕАГЕНТОВ ДЛЯ  
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРАДОВЫЕ ОБЛАКА**

**Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Чочишвили К.М.**

**Реферат**

Приводятся сведения о работах в Институте геофизики АН Грузии по исследованию в прошлом столетии эффективности льдообразующих реагентов для воздействия на градовые облака. Отмечается существенный прогресс в создании в разных странах современных льдообразующих реагентов для воздействия на атмосферные процессы по сравнению с существующими ранее.

## НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ

<sup>1</sup>Буачидзе Н.С., <sup>1</sup>Инцкирвели Л.Н., <sup>2</sup>Киркитадзе Д.Д., <sup>2</sup>Салуквадзе М.Т.,  
<sup>1</sup>Сурмава А.А., <sup>3</sup>Цицкишвили М.С., <sup>1</sup>Шавлиашвили Л.У.

<sup>1</sup>Институт гидрометеорологии Грузинского политехнического университета,  
[intskirvelebi2@yahoo.com](mailto:intskirvelebi2@yahoo.com)

<sup>2</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [darejan.kirkkitadze@gmail.com](mailto:darejan.kirkkitadze@gmail.com)

<sup>3</sup>Академия экологических наук Грузии, [eco\\_marat@rambler.ru](mailto:eco_marat@rambler.ru)

Экологическая безопасность является важнейшим требованием к технологиям активных воздействий на атмосферные процессы. Учитывая это, в Кахетинском регионе, где с 1967 по 1989 гг. проводились производственные работы по борьбе с градом [1,2], при непосредственной поддержке руководителя Противогодовой службы А.И. Карцивадзе с участием Института геофизики АН Грузии и Тбилисского государственного университета постоянно проводился мониторинг содержания в воздухе, атмосферных осадках, почве и продуктах питания содержащихся в противогодовых изделиях свинца и йода (льдообразующий реагент на основе йодистого свинца) [3-6]. В частности, в 1972-1989 гг. в Кахетии при противогодовых работах в среднем в год использовалось около 23000 ракет «Алазани-1/2М» (1972-1984 гг. реагент, содержащий PbI<sub>2</sub>, 1985-1989 гг. – реагент, содержащий AgI) [7,8]. Анализ обширного количества данных о влиянии этих работ на экологическую ситуацию в Кахетии, проводился как при жизни А.И. Карцивадзе [3-6], так и после его кончины [9-15].

Было установлено, что в Кахетинском регионе эмиссия свинца автотранспортом почти в 10 раз превышала его выбросы противогодовыми ракетами с 1967 по 1984 гг. при производственных работах по активным воздействиям на градовые процессы [7]. Таким образом, эмиссия свинца в процессе этих работ не являлась преобладающей и при загрязнении атмосферного воздуха, осадков, поверхностных вод, почвы, пищевых продуктов растительного происхождения [3-6, 9-15].

Содержание свинца в атмосферном воздухе несколько росло после проведения активных воздействий на градовые процессы, но находилось в пределах допустимой нормы [9].

Содержание свинца в атмосферных осадках Восточной Грузии составляло 9 мкг/л (диапазон изменения от 0.0 до 37.0 мкг/л), а йода – 12.1 мкг/л (диапазон изменения от 2.1 до 34.0 мкг/л). В результате искусственного воздействия на облака содержание свинца в осадках увеличивалась по сравнению с фоновым, но ни средняя, ни одноразовая ее концентрация не превосходила допустимую санитарную норму.

Содержание свинца и йода в поверхностных водах Восточной Грузии практически не отличались от их концентрации в осадках других регионов Грузии.

В начале воздействия содержание свинца и йода в атмосферных осадках приблизительно такое же, как в дни с воздействием. В пробах, которые взяты после 15 минут после начала воздействия, концентрации свинца и йода максимальны и по сравнению с фоновыми значениями увеличены 2.5 раза. С увеличением времени от начала воздействия,

концентрация свинца и йода быстро падала и примерно через час приближалась к фоновым значениям, характерных для осадков из облаков, подвергнутых искусственному воздействию.

Содержание свинца в зерновых культурах исследуемого региона менялось от следа до 2.0 мкг/г, и в среднем было равно 0.4 мкг/г. Аналогичное содержание свинца характерно и для зерновых культур Западной Грузии. Таким образом, зерновые культуры по содержанию свинца не отличались от зерновых культур других регионов Грузии, и в них концентрация свинца не превышала допустимую норму.

В винах Восточной, как и в целом всей Грузии, концентрация свинца была низкая (в среднем – 3.6 мкг/л, диапазон изменения от 0.0 и 11.5 мкг/л). Причиной низкого содержания свинца в винах Грузии могло быть как низкое его содержание в винограде, так и способность свинца сорбироваться на органоминеральные ультрадисперсные частицы сула.

Равное содержание свинца в пищевых продуктах растительного происхождения в Восточной и остальной части Грузии является логичным. Концентрации технического свинца, которые попадали в почву региона каждый год в результате воздействия, представляли только 0.01 – 0.02 % от содержания свинца в 10 см слое почвы. Поэтому почвы Кахетии по содержанию свинца не отличались от почв других регионов Грузии. Содержание в них свинца составляло 19 мг/кг, что ниже допустимой нормы.

Содержание свинца и йода в 10 см поверхностном слое почв Восточной Грузии, если место взятия проб почвы находилось более чем в 30 – 50 м от автомагистрали, не отличалось от общего фонового значения для других регионов Грузии. Загрязнение свинцом было повышенным в поверхностном слое почв, которые удалены от автомагистралей не более, чем 30 метров и этим показателем не отличается от других регионов Грузии. Следует считать, что увеличение концентрации свинца в этих объектах не было связано с активным воздействием на облака. Содержание реагентов засева в пробах почвы, взятых на защищаемой территории и под зданиями, построенными до проведения активных воздействий, не выявило изменений.

Несмотря на это, в Кахетии, как и во всех противорадовых службах бывшего СССР, было решено отказаться от реагента на основе йодистого свинца, так как дополнительное к эмиссии свинца автотранспортом загрязнение окружающей среды было нежелательным. С 1985 по 1989 гг. в Кахетии в противорадовых ракетах “Алазани” применялся реагент AgI [8].

После прекращения работ по активным воздействиям на атмосферные процессы в Грузии неоднократно ставился вопрос о возобновлении этих работ [2]. Наконец, в 2014 г. Правительством Грузии было принято решение о возрождении работ по активным воздействиям на опасные гидрометеорологические процессы, и в первую очередь было решено восстановить противорадовую службу в Кахетии. После целого ряда научно-организационных и практических мероприятий [16,17] 28 мая 2015 года Противорадовая служба в Кахетии с учетом новых реалий (современная радиолокационная техника, автоматическая дистанционная система управления пуском ракет и др.) приступила к работе в тестовом режиме [18,19].

Необходимо отметить, что за прошедшие с момента прекращения работы Противорадовой службы в Кахетии, технологии противорадовой защиты, в том числе и средства воздействия, были существенно модернизированы. В частности, в противорадовых ракетах стали применяться реагенты с малым содержанием йодистого серебра с одновременным увеличением их эффективности, что значительно повысило их экологическую безопасность [20-23]. Так, используемая в настоящее время в Кахетии противорадовая ракета SK-6 производства Македонии по эффективности льдообразующего реагента в 4 раза превосходит применяемые ранее одноступенчатые и двухступенчатые ракеты “Алазани М”. Помимо этого, повысилась методология радиолокационной индикации градоопасности облаков, что позволило резко сократить количество подвергнутых воздействию градоопасных и градовых зон по сравнению с прежними годами [20-25]. То есть, современные методологии обнаружения объектов воздействия и средства воздействия позволяют существенно сократить количество противорадовых изделий при активных воздействиях на градовые процессы, что, в свою очередь, также меньше влияет на экологию окружающей среды.

В качестве вредных веществ, негативно влияющих на окружающую среду при использовании противорадовых ракет, следует отметить вещества 2-го класса опасности: йодистое серебро (AgI), йод и йодистую кислоту. При этом, основным загрязнителем следует считать AgI. Предельно допустимая концентрация (ПДК) этого вещества составляет: в

атмосферном воздухе – 0.5 мкг/м<sup>3</sup>; в воде открытых водоемов – 0.05 мг/л; в почве – 2.82 мг/кг [20,26,27].

Максимальную объемную концентрацию загрязняющего вещества  $K_A$  (мкг/м<sup>3</sup>), вносимого в атмосферу в день с активными воздействиями, при равномерном распределении этого вещества над территорией засева можно рассчитать по формуле [19,26,27]:

$$K_A = 10^6 \cdot M/S \cdot H = 10^3 \cdot M/S$$

где  $M$  общая масса загрязняющего вещества, выделяемого при максимальном расходе ракет за один день активного воздействия (г);  $S$ - площадь, над которой осуществляется выброс веществ в атмосферу, включая территории защиты и предварительной защиты (м<sup>2</sup>);  $H$ - толщина слоя атмосферы, в котором производится распыление загрязняющих веществ, принятая равной 1000 м.

Расчет максимальной концентрации вещества  $K_B$ (мг/л), которое может накопиться на территории активных воздействий, в воде открытых водоемов за один сезон противорадовой защиты в предположении полного и равномерного осадения вносимого в атмосферу вещества на поверхность воды, можно произвести по формуле [20,27,28]:

$$K_B = M/S \cdot h_B = M/S$$

где  $M$  общая масса загрязняющего вещества, выделяемого при расходе ракет за один сезон активного воздействия (г);  $h_B$ - глубина водоема, принятая равной 1 м;  $S$ - площадь, над которой осуществляется выброс веществ в атмосферу, включая территории защиты и предварительной защиты (м<sup>2</sup>).

Максимальную концентрацию вредного вещества (мг/кг), которое может накопиться в почве за один сезон противорадовой защиты, в предположении полного и равномерного осадения загрязняющих веществ на поверхность почвы, предлагается рассчитывать по формуле [20,27,28]:

$$K_{II} = M/\rho \cdot S \cdot h_{II} = 2.5 \cdot M/S$$

где  $M$  общая масса загрязняющего вещества, выделяемого при расходе ракет за один сезон активного воздействия (г);  $\rho$ - удельная плотность почвы, принятая равной 2 кг/дм<sup>3</sup>;  $h_{II}$ - глубина пахотного слоя земли, принятая равной 0.2 м,  $S$ - площадь, над которой осуществляется выброс веществ в атмосферу, включая территории защиты и предварительной защиты (м<sup>2</sup>).

В Кахетии (площадь защищаемой территории ЗТ в 2015 г. 650000 га или 6500000000 м<sup>2</sup>) предполагается в сезон использовать не более 5000 современных противорадовых изделий с реагентом йодистого серебра массой 50 г. в каждом изделии [22,23].

В таблице представлены расчетные значения максимально ожидаемых концентраций AgI в воздухе, воде водоемов и почве в районе противорадовых работ в Кахетии при годовом расходе ракет от 1000 до 10000 штук для площади 600 тыс. га (меньшей общей площади ЗТ с учетом исключения территорий у ее границ).

Как показывают расчеты, даже при гипотетическом расходе противорадовых ракет в сезон в количестве 10000 штук, содержание загрязняющих веществ в открытых водоемах максимально составит 0.0000833 мг/л (в 600 раз ниже ПДК = 0.05 мг/л), в почве - 0.000208 мг/кг (в 13500 ниже нормы = 2.82 мг/кг). Что касается атмосферного воздуха, то даже если все 10000 изделий использовать в один день, кратковременное загрязнение воздуха составит 0.083 мкг/м<sup>3</sup> (в 6 раз ниже ПДК = 0.5 мкг/м<sup>3</sup>). Если предположить, что в почве и водоемах не будет происходить никакого распада и миграции йодистого серебра, для достижения уровня ПДК при годовом расходе ракет 10000 штук в этих средах соответственно понадобится 600 и более 13500 лет.

Расчетные значения максимально ожидаемых концентраций AgI в воздухе, воде водоемов и почве в Кахетии в районе противогорадовых работ.

К-во ракет в год, шт.	1000	2000	3000	4000	5000	10000
Общая масса реагента, кг	50	100	150	200	250	500
Площадь территории, тыс. га	600	600	600	600	600	600
Макс. конц. в день с возд. в воздухе при одновременном расходе годового количества ракет, мкг/м <sup>3</sup>	0.008	0.017	0.025	0.033	0.042	0.083
Макс. конц. в сезон в воде водоемов, мг/л	$8.33 \cdot 10^{-6}$	$1.67 \cdot 10^{-5}$	$2.50 \cdot 10^{-5}$	$3.33 \cdot 10^{-5}$	$4.17 \cdot 10^{-5}$	$8.33 \cdot 10^{-5}$
Макс. конц. в сезон в почве, мг/кг	$2.08 \cdot 10^{-5}$	$4.17 \cdot 10^{-5}$	$6.25 \cdot 10^{-5}$	$8.33 \cdot 10^{-5}$	$1.04 \cdot 10^{-4}$	$2.08 \cdot 10^{-4}$
Превышение уровня ПДК над макс. ожд. конц. в воздухе	60	30	20	15	12	6
Срок накопления в воде открытых водоемов до уровня ПДК, тыс. лет	6	3	2	1.5	1.2	0.6
Срок накопления в почве до уровня ПДК, тыс. лет	135	68	45	34	27	13.5

Отметим также, что результаты расчетных и экспериментальных исследований загрязнения природной среды при проведении противогорадовой защиты со взятием проб в реперных точках на защищаемой и прилегающей территориях в районах многолетних противогорадовых работ как в советские времена (старая технология противогорадовой защиты), так и в последние годы (современная технология противогорадовой защиты) не показали сколько-либо заметного негативного влияния работ по борьбе с градом на окружающую среду [20, 27].

Тем не менее, по нашему мнению, несмотря на оптимистичные расчетные оценки экологической безопасности применяемого в противогорадовых изделиях реагента, необходим инструментальный контроль содержания йодистого серебра в атмосферном воздухе, открытых водоемах и почве как в районах проведения противогорадовой защиты, так и на прилегающих территориях. Такие работы уже ведутся в гидрометеорологическом институте Грузинского технического университета, который имеет достаточный потенциал для проведения соответствующего химического анализа, а также квалифицированный персонал, обладающий большим опытом работы в области контроля загрязнения окружающей среды [29- 36]. Считаем необходимым продолжить этот экологический мониторинг и накопить данные, которые безусловно будут иметь большое практическое значение.

## Литература

1. Институт геофизики – 50 (под редакцией Б.К.Балавадзе). Тбилиси, «Мецниереба», 1983, с. 94-116.
2. Амиранашвили А.Г., Бахсолиани М.Г., Бегалишвили Н.А., Бериташвили Б.Ш., Рехвиашвили Р.Г., Цинцадзе Т.Н., Читанава Р.Б. О необходимости возобновления работ по искусственному регулированию атмосферных процессов в Грузии, Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 144 - 152.
3. Абесалашвили Л.Ш., Карцивадзе А.И., Карсанидзе И. К., Супаташвили Г.Д. Исследование химического состава атмосферных осадков в районе активного воздействия на облака. Тр. Института геофизики АН ГССР, т. 28, Тбилиси, «Мецниереба», 1972, с. 125-130.

4. Супаташвили Г.Д., Карцивадзе А.И., Абесалашвили Л.Ш., Карсанидзе И. К. Микроэлементы в атмосферных осадках Алазанской долины. Сообщения АН ГССР, 66, N1, Тбилиси, «Мецниереба», 1972, с.121-124.
5. Карцивадзе А.И., Супаташвили Г.Д., Асамбадзе Г.Д., Гурджия Ж.Г., Абесалашвили Л.Ш. Содержание свинца в пищевых продуктах растительного происхождения в районах активного воздействия на облака, Сообщ. АН ГССР, 117, № 3, Тбилиси, «Мецниереба», 1985.
6. Абесалашвили Л.Ш., Супаташвили Г.Д., Карцивадзе А.И. Микрохимический состав атмосферных осадков Алазанской долины. Тр. Тбилисского Государственного Университета, т. 287, Химия, Тбилиси, 1989.
7. სეტყვა და მასთან ბრძოლა. ჰიდრომეტეოროლოგებზე აქტიური ზემოქმედების სამსახურის 1967-1989 წწ. მუშაობის ძირითადი შედეგები. თბილისი, 1990, 15 გვ.
8. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Некоторые характеристики градовых процессов в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбზ კ ბ ც ბ, 2015, с. 77-100.
9. ახესალაშვილი ლ., ამირანაშვილი ა., სუპატაშვილი გ. ატმოსფეროს აეროზოლებში ზოგიერთი მიკროელემენტების შემცველობა კახეთის რეგიონისათვის. მასალების კრებული, თსუ-ს გეოგრაფია-გეოლოგიის ფაკულტეტის დაარსების 60 წლისთავისადმი მიძღვნილი მეოთხე რესპ. კონფ., თბილისი, 27–28 ოქტომბერი, 1994, თბილისი, 1994, გვ. 93–94.
10. Abesalashvili L.Sh., Amiranashvili A.G., Supatashvili G.D. Results of rain chemical content investigation in Alazani Valley, Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Clouds and Precipitation, Zurich, Switzerland, August 19-23, vol. 2, 1996, pp. 1066-1069.
11. Салуквадзе М.Т., Абесалашвили Л.Ш., Салуквадзе Т.Г. Химический состав атмосферных осадков из облаков различных синоптических ситуаций, подвергнутых и не подвергнутых искусственному воздействию. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, ISSN 1512 – 1135, т. LVIII, Тбилиси, 2004, с. 146 – 150.
12. Салуквадзе М.Т. Исследование влияния метеорологических, антропогенных и терригенных факторов на химический состав атмосферных осадков Восточной Грузии. Автореферат диссертации, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, Институт геофизики им. М. Нодия, Тбилиси, 2006, 49 с.
13. Salukvadze M., Khelaia E., Salukvadze T. Weather Modification and Ecological Problems, Journal of Georgian Geophysical Society. Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 12B, Tbilisi, 2008, pp. 49 – 52.
14. სალუქვაძე მ., სალუქვაძე თ. ატმოსფერულ ნალექებში ტყვიისა და იოდის კონცენტრაციების დამოკიდებულება გროვა საწვიმარ ღრუბლებზე ზემოქმედების დაწყების მომენტიდან გასულ დროზე. “მეტეოროლოგიის პრობლემები”, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-0902, ტ. 114, თბილისი, 2010, გვ. 76-79.
15. სალუქვაძე მ., სალუქვაძე თ. შიდამასიური განვითარების ერთუჯრედიანი ღრუბლებიდან მოსულ ნალექებში და მიწისპირა აეროზოლებში Pb-ის, I-ისა და Cu-ის შემცველობის დამოკიდებულება ამ ღრუბლებში შეტანილი ტყვიის იოდის რაოდენობაზე. “მეტეოროლოგიის პრობლემები”, ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-0902, ტ. 114, თბილისი, 2010, გვ. 80-84.
16. Амиранашвили А., Глonti Н., Дзодзуашвили У., Ломтадзе Дж., Чихладзе В. О возобновлении противоградовых работ в Грузии. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 208-212.
17. Амиранашвили А.Г., Глonti Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж.Д., Чихладзе В.А. О восстановлении службы борьбы с градом в Кахетинском регионе Грузии. Доклады Всероссийской открытой конференции по физике облаков и активным воздействиям на гидрометеорологические процессы, посвященной 80-летию Эльбрусской высокогорной



- комплексной экспедиции АН СССР, 7-9 октября 2014 г., часть 2, ФГБУ «Высокогорный Геофизический Институт», Нальчик, 2015, с. 132-139.
18. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghloni 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, 2015, pp. 92-106.
  19. Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти 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.
  20. Абшаев А.М., Абшаев М.Т., Барекова М.В., Малкарова А.М. Руководство по организации и проведению противорадовых работ. ISBN 978-5-905770-54-8, Нальчик, «Печатный двор», 2014, 500 с.
  21. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Чихладзе В.А. Противорадовые ракеты типа земля-воздух. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, том. 64, Тбилиси, 2013, с. 151-159.
  22. Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Саури И.П., Чихладзе В.А. Средства воздействия на атмосферные процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с. 113-120.
  23. Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашвили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 39-52.
  24. 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.
  25. 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.
  26. Безопасные уровни содержания вредных веществ в окружающей среде. Издательство НИИ общей и коммунальной гигиены им. А.Т. Сысина, АМН СССР, Свердловск, 1990.
  27. Малкарова А.М. Влияние противорадовых работ на экологию защищаемых территорий. Геоэкология, №3, 2008, с.115-122.
  28. Ракеты противорадовые. Методика оценки экологической чистоты. 000Д2. ВНИИП, «Дарг», 1996, 39 с.
  29. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Kharchilava J.F., Buachidze N.S., Intskirveli L.N. Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi in 1981-2003. Proc. 16<sup>th</sup> Int. Conf. on Nucleation & Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, pp. 678-681.
  30. ამინდორაშვილი ა., ბუდაღაშვილი ა., რობიტაშვილი გ., ინჭკირველი ლ., კუჭავა გ., ჟურული მ., სააკაძე ვ. ატმოსფერული ჰაერის სანიტარული მდგომარეობა საქართველოში – საქართველოს გარემოს ჰიგიენის ეროვნული პროგრამა. I ეროვნული კონფერენცია. საქ. შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტრო; ჯანმრთელობის დაცვის მსოფლიო ორგანიზაციის შრომათა კრებული, თბილისი, 28 მარტი, 2001, გვ. 107-129.
  31. ინჭკირველი ლ., კუჭავა გ., ჩაჩიბაია გ., მეფარიშვილი მ. დასავლეთ საქართველოს რეგიონში ზედაპირული წყლების ძირითადი გამაჭუჭყიანებლების თვისობრივი და რაოდენობრივი შეფასება. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ.104, თბილისი, 2001, გვ.174-179.

32. ინწკირველი ლ., კუჭავა გ., ჩხიკვაძე ლ. დასავლეთ საქართველოს მსხვილ სამრეწველო ცენტრებსა და მათ შემოგარენში ნიადაგის მძიმე ლითონებით გაჭუჭყიანების განსაზღვრა. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. ტ.104, თბილისი, 2001, გვ. 180-189.
33. ბეგალიშვილი ნ., ინწკირველი ლ., ლაზრივეი გ., რობიტაშვილი გ., სურმავა ა., რუხაძე ი., იმნაძე თ. გარემოს დაჭუჭყიანების ჰიდრომეტეოროლოგიური რისკ-ფაქტორების შეფასება ტოქსიკურ ნაერთთა გავრცელების მათემატიკური მოდელირების საფუძველზე. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები. ტ.108, თბილისი, 2002, გვ.151-164.
34. ბუაჩიძე ნ., ინწკირველი ლ., კუჭავა გ., მჭედლიშვილი მ. მდინარე მტკვრის ქიმიურ-ეკოლოგიური გამოკვლევა: არაორგანულ და მახინძურებელ ნივთიერებათა განსაზღვრა (თბილისის ფარგლებში). სოროსის საგანმანათლებლო ჟურნალი № 1, «ეკოლოგია», თბილისი, 2003, გვ. 33-43.
35. ბუაჩიძე ნ., ინწკირველი ლ., კუჭავა გ., შავლიაშვილი ლ. მდინარე მტკვრის წყლის ხარისხის განმსაზღვრელი კომპონენტების შემცველობის ცვლილება საქართველოს ტერიტორიაზე. ბაქოს მეათე საერთაშორისო კონფერენციის “ენერჯია, ეკოლოგია, ეკონომიკა” შრომები, ბაქო, 2009, გვ. 348-352.
36. ინწკირველი ლ., ბუაჩიძე ნ., არაბიძე მ., კუჭავა გ., ბაქრაძე ე., დვალიშვილი ნ., ტაბატაძე მ. მდინარე მტკვრის აუზის წყლების ხარისხის განსაზღვრა ინტეგრალური ქიმიური მაჩვენებლების გამოყენებით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები “ჰიდრომეტეოროლოგიის და ეკოლოგიის აქტუალური პრობლემები”, სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენციის მასალები, ტ.117, თბილისი, 2011, გვ. 128-130.

### კახეთში სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ზოგიერთი ეკოლოგიური ასპექტები

ბუაჩიძე ნ., ინწკირველი ლ., კირკიტაძე დ., სალუქვაძე მ., სურმავა ა.,  
ციციშვილი მ., შავლიაშვილი ლ.

#### რეზიუმე

განიხილება კახეთში სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების შედეგად შესაძლო ნეგატიური ეკოლოგიური შედეგების საკითხი. ნაჩვენებია, რომ ამ მიზნით მომავალში სეტყვასაწინააღმდეგო ნაკეთობების სავარაუდო რაოდენობის გამოყენებისას იოდოვანი ვერცხლით გარემოს დაბინძურების საშიშ დონეს არ უნდა მოველოდეთ. მიუხედავად სეტყვასაწინააღმდეგო ნაკეთობებში გამოყენებული რეაგენტის ეკოლოგიური უსაფრთხოების ოპტიმისტური შეფასებისა, ნავარაუდევია როგორც სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების ჩატარების რაიონებში, ასევე მიმდებარე ტერიტორიებზე ატმოსფერულ ჰაერში, ღია წყალსაცავებში და ნიადაგში იოდოვანი ვერცხლის შემცველობის რეგულარული ინსტრუმენტული კონტროლი.

## **SOME ECOLOGICAL ASPECTS OF ACTIVE ACTIONS ON THE HAIL PROCESSES IN KAKHETI**

**Buachidze N., Intskirveli L., Kirkitadze D., Salukvadze M., Surmava A., Tsitskishvili M., Shavliashvili L.**

### **Abstract**

The issue of possible negative ecological consequences of active actions on the hail processes in Kakheti is reviewed. It is shown that in future any dangerous level of environment pollution by iodide silver during utilization of certain quantity of anti-hail rockets is not expected. Nevertheless, in spite of the optimistic calculated estimations of ecological safety of the reagent used in the anti-hail rockets, it is proposed to carry out the regular instrument control of the content of iodide silver in atmospheric air, open reservoirs and soil both in the regions of conducting anti-hail protection and in the adjacent territories.

## **НЕКОТОРЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ГРАДОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В КАХЕТИИ**

**Буачидзе Н.С., Инцкирвели Л.Н., Киркитадзе Д.Д., Салуквадзе М.Т., Сурмава А.А., Цицкишвили М.С., Шавлиашвили Л.У.**

### **Реферат**

Рассматривается вопрос возможных негативных экологических последствий активных воздействий на градовые процессы в Кахетии. Показано, что при предполагаемом в будущем количестве используемых для этих целей противоградовых изделий опасного уровня загрязнения внешней среды йодистым серебром ожидать не следует. Тем не менее, несмотря на оптимистичные расчетные оценки экологической безопасности применяемого в противоградовых изделиях реагента, предлагается проводить регулярный инструментальный контроль содержания йодистого серебра в атмосферном воздухе, открытых водоемах и почве как в районах проведения противоградовой защиты, так и на прилегающих территориях.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ

<sup>1</sup>Варамашвили Н.Д., <sup>2</sup>Мирицхулава М.Д., <sup>3</sup>Трофименко Л.Т.,

<sup>1</sup>Чиабришвили Н.Г.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, [ldvarama@gmail.com](mailto:ldvarama@gmail.com)

<sup>2</sup>Общественный колледж «Мермиси»

<sup>3</sup>ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации—  
Мировой центр данных»

Исследовать процессы электризации облаков в природных условиях сложно из-за трудной доступности, недостаточной идентичности исследуемых объектов, малой повторяемости и невозпроизводимости условий эксперимента. Опыт теоретического и экспериментального исследования в области атмосферного электричества подтверждает сложности теоретических и полевых экспериментов для поставленной задачи.

Указанные трудности могут быть в значительной мере преодолены при использовании метода лабораторного моделирования. Моделирование природных процессов позволяет получать ряд необходимых сведений в контролируемых и воспроизводимых условиях с меньшими материальными затратами и при сокращении продолжительности цикла исследований и объема натурных экспериментов. Поэтому лабораторное моделирование достаточно широко применяется в исследованиях по физике облаков и туманов.

Разнообразие установок для изучения различных элементарных процессов электризации достаточно велико. Они создавались обычно для решения конкретных задач. Исследователи атмосферного электричества в течение многих лет в лабораторных условиях пытались получить числовые значения коэффициентов, определяющих элементарные взаимодействия, таких, как коэффициент столкновения, коэффициент слияния, величины передаваемого заряда – параметры контактной электризации частиц; коэффициенты диффузии и захвата ионов – параметры ионной диффузионной зарядки облачных частиц.

Экспериментальные работы по исследованию столкновений аэрозольных жидких частиц сводились к изучению вопроса о захвате капель и их слиянии при соударении. При анализе результатов этих работ, в частности того, что в них коэффициент коагуляции меньше теоретически рассчитанного, заставил некоторых авторов искать причину расхождения. Авторы пришли к выводу о том, что причина расхождения состоит в том, что столкновение двух свободно падающих частиц может закончиться не только коагуляцией, но и отскоком их друг от друга. Идея о возможности отскока столкнувшихся жидких частиц и возможности зарядки за счет разрыва временного контакта выдвинута Имянитовым.

В этом исследовании изучались как коллективные эффекты процессов электризации (общий заряд, возникающий в камере), так и спектры зарядов и размеров взаимодействующих частиц. Такой метод позволяет провести необходимые осреднения не в сопоставлении различных опытов, а в едином опыте, в котором сам эксперимент обеспечивает разумным образом то осреднение процессов элементарного взаимодействия, которое необходимо для переноса результатов эксперимента на реальное облако.

## **Требования к камере для проведения экспериментов по исследованию контактной электризации**

Для того, чтобы обеспечить воспроизводимость опытов, необходимо, чтобы камера могла сохранять заданный режим работы по температуре, влажности, микрофизическим и электрическим свойствам тумана в течение всего хода эксперимента. Необходимо, чтобы спектры размеров частиц тумана в каждом опыте принадлежали генеральной совокупности, полученной по всем опытам на данном режиме работы камеры. Для контроля вышеизложенных требований камера должна быть оснащена контрольной измерительной аппаратурой, позволяющей контролировать вертикальный профиль температуры, режим генерации тумана, влажность тумана, распределение тумана по камере, микрофизические характеристики тумана.

Вся аппаратура, установленная в камере, должна минимально искажать электрические поля, вызванные объемным зарядом аэрозоля.

### **Основные задачи лабораторных исследований**

Основной задачей лабораторных исследований является выявление характерных механизмов электризации облачных частиц, оценки параметров, характеризующих электризацию облачных частиц и поиск путей управления элементарной электризации.

В настоящей работе приводится обзор результатов опытов, проведенных по электризации искусственного жидко-капельного тумана в термобарокамере Института геофизики АН Грузии. В ряде экспериментов непосредственное участие принимал А.И. Карцивадзе.

Здесь выполнялись следующие исследования:

1. Определение фоновых электрических и микрофизических характеристик тумана в камере и их естественных временных вариаций;
2. Определение фоновых характеристик реагента, введенного в камеру при отсутствии тумана, и их временных изменений;
3. Определение изменений электрических характеристик тумана при введении в него различного количества реагентов того или иного вида.

Для оценки электрического состояния тумана и его изменения при различных воздействиях необходимо, чтобы измерялись: спектр размеров частиц тумана и реагента, концентрация частиц тумана, влажность тумана, напряженность электрического поля в тумане и спектр зарядов частиц тумана и реагента. Кроме того, необходимы эксперименты с исследованием процессов контактирования и передачи заряда отдельными частицами.

### **Схема оборудования камеры для проведения экспериментов**

Термобарокамера (ТБК) представляет собой вертикальный цилиндр с коническими днищами общей  $\sim 17$  м (высота цилиндрической части  $\sim 13$  м), диаметром  $\sim 4.6$  м и общим объемом  $\sim 240$  м<sup>3</sup>. Разрез камеры и схема размещения оборудования в ней представлены на рис. 1.

Туман в камере создавался путем парения. Пар пускался в камеру с 3 уровней. Пар подавался в камеру горячим, быстро охлаждался и заполнял всю камеру. В камере можно было получить охлаждение до  $-40^\circ\text{C}$ , но в наших опытах использовалось охлаждение до  $-20^\circ\text{C}$ .

Камера была оборудована четырьмя приборами для измерения напряженности электрического поля (ПНП), расположенными у нижнего основания цилиндрической части камеры, а также – боковой поверхности камеры на высотах 2.5, 6.0 и 9.5 м.

Прибор для измерения зарядов капель (ПЗК) располагался у нижнего основания камеры так, чтобы его заборная и регистрирующая части возвышались над плоскостью основания камеры на 30 см. Примерно на расстоянии одного метра от этой высокой части ПЗК располагался датчик нижнего прибора напряженности электрического поля, так что искажающее действие ПЗК было сведено к минимуму и не превышало пределов точности прибора ПНП.

Пробы микроструктуры и водности брались с трех уровней, соответствующим уровням расположения ПНП, через специальные отверстия в стенке камеры.

В самом верху камеры были расположены две трубы, через которые с потоком сжатого воздуха можно было подавать реагент, засыпанный в небольшие бункеры, которыми были снабжены трубы впуска реагента. Часть трубы с бункером была изолирована от Земли с помощью фторопластовых прокладок и соединена с Землей проводом, в который был включен микроамперметр. По измеряемому току можно было судить о зарядении реагента при пуске его в камеру.

Из электрических характеристик искусственного облака в термобарокамере (ТБК) измерялись:

- 1) напряженность электрического поля (Е), по значению которой можно было судить об объемном заряде в камере;
- 2) ток со сбрасывающего устройства (СУ), по которому можно было судить о суммарном заряде введенного в камеру аэрозоля;
- 3) спектр зарядов и размеров частиц аэрозольного облака в ТБК.

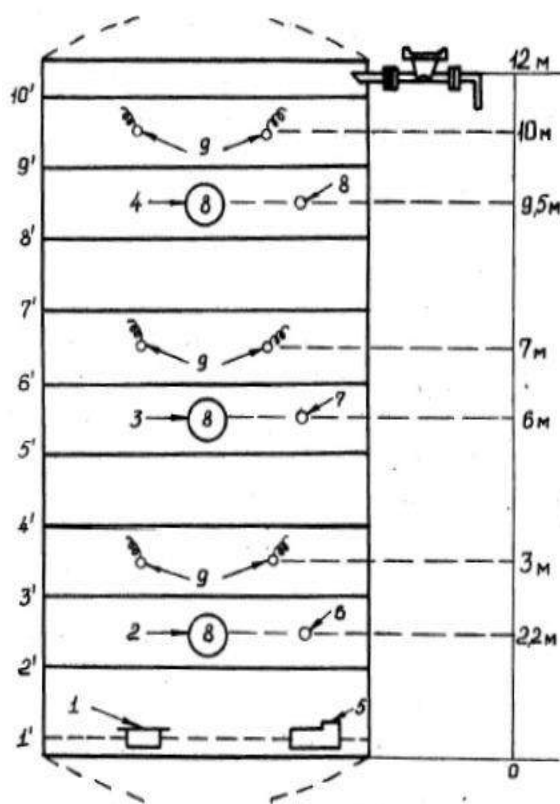


Рис.1

Схема размещения оборудования в термобарокамере (приборы ПНП - 1,6,7,8, прибор ПЗК - 5, люки для забора проб облачных частиц - 8, приборы «Диво-А» - 9.

#### *Измерение напряженности электрических полей*

Электрические поля в ТБК измерялись при помощи приборов для измерения напряженности поля ПНП. Он состоял из датчика (электростатического генератора тока (ЭГТ)), находящегося непосредственно внутри камеры и вторичного преобразователя, находящегося за камерой, диапазон измерений которого 0.1 – 2500 В/см. В результате градуировки выяснилось, что погрешность прибора составляет не более 20%.

### *Измерение токов со сбрасывающего устройства*

Измерение токов со сбрасывающего устройства производилось с целью определения заряда, введенного в камеру аэрозоля. При обработке результатов интегрировались токи за время пуска и определялся заряд, соответствующий заряду введенного в камеру аэрозоля. Погрешность измерения не превосходила 30%. Сравнения зарядов, измеренных описанным способом, с зарядами, определенными по измерениям напряженности электрического поля, показали совпадение результатов в пределах указанной погрешности.

### *Измерение зарядов частиц тумана*

Измерение зарядов частиц производилось с помощью прибора ПЗК. Принцип действия прибора основан на фотографировании треков аэрозольных частиц в электрическом поле. Прибор позволял определить по скорости падения ее стоксовский радиус, а по углу отклонения траекторий заряженной частицы в электрическом поле – ее заряд. Диапазон измерения радиусов аэрозольных частиц 2 – 50 мкм, зарядов 1 - 10<sup>5</sup> элементарных зарядов. Погрешность определения изменялась в зависимости от размера частиц. Для спектра размеров частиц, встречающихся в наших опытах, она не превышала 20%.

## **Методика проведения эксперимента**

При подготовке к измерениям проверялась работоспособность всей аппаратуры и проводилась ее градуировка согласно инструкциям по эксплуатации каждого применяемого средства измерений. Измерялась напряженность электрического поля и оценивалась величина объемного заряда в камере в отсутствие тумана (в течение 10 минут перед началом опытов). Вся измерительная аппаратура испытывалась на помехозащищенность, для чего при ее работе постепенно по очереди включалась вся аппаратура обслуживания камеры.

Основной задачей эксперимента было моделирование контактного механизма электризации облачных частиц. Для этого в камеру, заполненную туманом с исследованными заранее микрофизическими (спектры размеров и зарядов частиц) и электрическими (объемный заряд или напряженность электрического поля в камере) параметрами вводились частицы другого вещества в аэрозольном состоянии с заранее исследованными параметрами. Размеры вводимых частиц выбирались таким образом, чтобы спектры размеров частиц тумана и аэрозоля не перекрывались. Например, если средний размер частиц тумана ~7 – 10 мкм, то средний радиус введенных в него частиц выбирался ~40 – 50 мкм. Такое соотношение размеров обеспечивало возможность прохождения крупных частиц сквозь среду более мелких частиц и контактирование частиц аэрозоля с частицами тумана с последующим разделением в пространстве заряда, возникающего на частицах при разрыве контакта. Тяжелые частицы за время ~7 – 10 мин. выпадали на дно камеры, а туман существовал в камере без подпитки паром ~30 – 40 мин.

Все остальные механизмы электризации в условиях проведения опытов практически исключались. Начальное заряджение частиц тумана и введенного аэрозоля должно было быть минимальным, а так как было установлено, что оно зависит от режима пуска, то последний подбирался таким образом, чтобы начальные фоновые заряджения тумана и порошка были наименьшими.

Как сказано выше, в течение опыта заряды и размеры частиц измерялись с помощью ПЗК, общий объемный заряд в камере – с помощью системы ПНП, водность – приборами ДИВО.

Если спектры размеров и зарядов частиц тумана, а также его общий объемный заряд после прохождения сквозь туман тяжелых аэрозольных частиц окажутся теми же, что и в фоновых опытах, то это будет свидетельствовать о том, что взаимодействие между частицами радиусов  $R$  и  $r$  отсутствовало. О наличии столкновений, закончившихся отскоком, должно было свидетельствовать изменение зарядов частиц при сохранении спектра размеров. О коагуляции можно было судить по изменению спектра размеров частиц тумана. Таким образом, признаком реализации столкновений, отскоков и заряджения частиц тумана после прохождения через него частиц другого сорта являлась трансформация спектров  $r$  и  $q$  частиц. Интегральной

характеристикой являлся объемный заряд в камере и его изменения по высоте камеры и во времени.

Для обеспечения вышеприведенной схемы опытов проводились исследования:

- 1) микрофизических параметров (размеры, заряды) частиц тумана (фоновый туман) и воспроизводимости этих параметров при повторении опытов в одинаковых условиях;
- 2) микрофизических параметров частиц введенного аэрозольного облака;
- 3) микрофизических параметров частиц тумана, на который проведено воздействие частицами другого сорта;
- 4) объемных зарядов (или напряженности электрического поля) в камере, заполненной туманом, при введении порошка в камеру без тумана и при введении порошка в камеру, заполненную туманом.

При проведении эксперимента все приборы (за исключением ПЗК) включались в работу до пуска пара в камеру (за 3-5 мин.). Прибор ПЗК включался через 2-3 минуты после начала пуска пара. Приборы ПНП, ПЗК, ДИВО – работали непрерывно в течение всего эксперимента.

При подаче пара в камеру влажность на уровне верхнего датчика ДИВО во всех экспериментах приблизительно была равна  $5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ . Опыты проводились в диапазоне температур от  $+10$  до  $-20^\circ\text{C}$ . Пуск пара прекращался в момент достижения на уровне верхнего датчика «ДИВО» влажности  $5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ . После прекращения пуска пара измерения электрических и микрофизических характеристик тумана проводились в течение 30 минут.

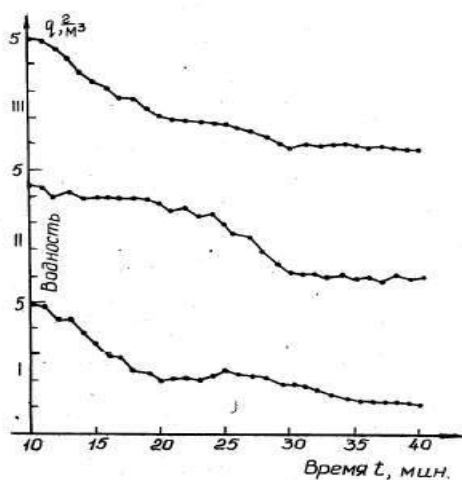


Рис.2

Изменение влажности во времени на трех различных уровнях ТБК

#### *Проведение измерений характеристик тумана в камере при вводе в него реагента*

Проводился медленный пуск пара в камеру, пока на верхнем датчике «ДИВО» наблюдалась влажность  $5 \text{ г} \cdot \text{м}^{-3}$ . Во время выравнивания тумана во всем объеме камеры, проводилась регистрация электрических и микрофизических характеристик тумана. Во время введения реагента в камеру регистрировался ток со сбрасывающего устройства. После введения в камеру реагента измерения проводились в течение  $\sim 20 - 30$  мин.

#### *Проведение измерений характеристик переохлажденного тумана при воздействии на него льдообразующим реагентом*

Камера выводилась на температурный режим  $-10^\circ\text{C}$ . Проводился ввод кристаллизующего реагента в верхнюю часть камеры (в отсутствие тумана). Во время ввода реагента проводились измерения напряженности электрического поля в камере. В камере создавался туман парения и проводились измерения фоновых электрических и микрофизических характеристик переохлажденного тумана. В камеру вводился аэрозоль кристаллизующего реагента и в проходящем свете проводились визуальные наблюдения процесса кристаллизации переохлажденного тумана. Одновременно с этим проводились измерения электрических и микрофизических характеристик тумана.



*Проведение опытов по вводу в туман жидкого аэрозоля с разными физико-химическими свойствами*

К средствам измерений в этом случае прибавлялся РН – метр и прибор для измерения электропроводности раствора. В камере создавался туман с водностью на уровне верхнего датчика «ДИВО»  $\sim 5 \text{ г} \cdot \text{см}^3$  при  $t \geq 0^\circ \text{C}$ . После стабилизации тумана в него вводился жидкий аэрозоль. Проводились стандартные измерения.

### Исследование фоновой электризации тумана в камере

Важным условием корректности опытов по изучению электризации тумана являлся контроль начального или фонового объемного заряда тумана и зарядов составляющих его капелек. Необходимо было, чтобы начальный заряд тумана и особенно его случайные изменения были существенно меньше зарядов, образующихся при контактной электризации, т.е. после прохождения через туман реагента.

Как показала практика, на начальный заряд тумана наиболее сильно влиял режим пуска пара. Экспериментально было установлено, что меньшей скорости заполнения камеры туманом соответствует меньший заряд тумана. Характерные изменения напряженности электрического поля, создаваемого в камере облаком тумана, приведены на рис.3.

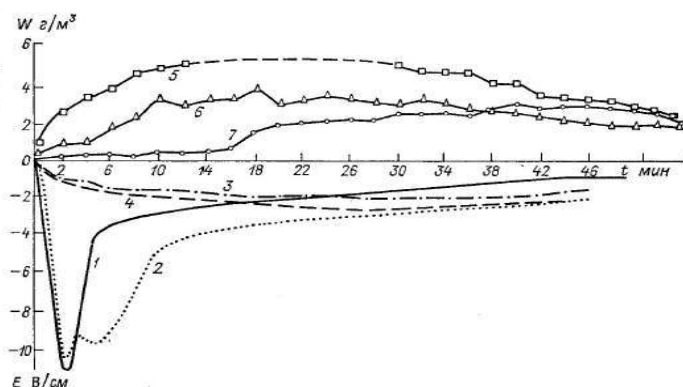


Рис.3

Характерные изменения напряженности электрического поля (E) и водности тумана (W) в ТБК.  
 1, 5 -  $E_3$  и  $W_3$  на верхнем уровне ТБК; 2, 6 -  $E_2, W_2$  на среднем уровне ТБК; 3, 7 -  $E_1$  и  $W_1$  на нижнем уровне ТБК; 4 -  $E_n$  у нижнего основания ТБК

Несмотря на довольно значительный разброс результатов фоновых опытов, удалось сделать их обобщение и построить среднюю кривую изменения электрического поля тумана в камере в период накачки пара и в период его диссипации (рис.4).

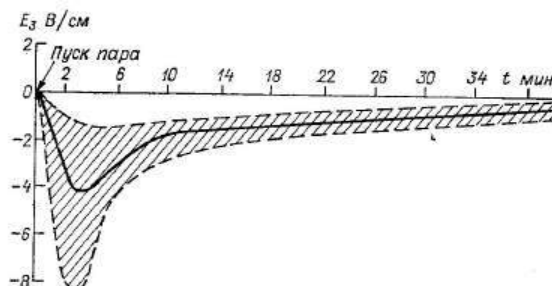


Рис. 4

Осредненное по времени изменение напряженности электрического поля тумана в камере на уровне верхнего датчика ПНП ( $E_3$ ).

Приведем следующие выводы относительно интегральных фоновых электрических характеристик тумана в камере:

- зарядение тумана происходило только во время его генерации, т.е. во время пуска пара в камеру, в течение опыта туман не подзаряжался;
- туман распределялся по камере неравномерно, лишь на 20-й минуте после окончания пуска пара характеристики тумана становились близкими на всех уровнях;
- характер изменения напряженности электрического поля тумана во времени во всех опытах подобен и зависит только от условий пуска пара.

### Исследование фоновых электрических характеристик электризующего аэрозоля

Необходимо, чтобы частицы вводимого аэрозоля были крупнее и тяжелее частиц среды и могли проходить сквозь туман. Вводимый аэрозоль должен быть монодисперсным, так как при наличии в нем мелкой фракции, сравнимой с частицами тумана, эффект контактной электризации выявить трудно из-за смешивания двух недостаточно стабильных фонов.

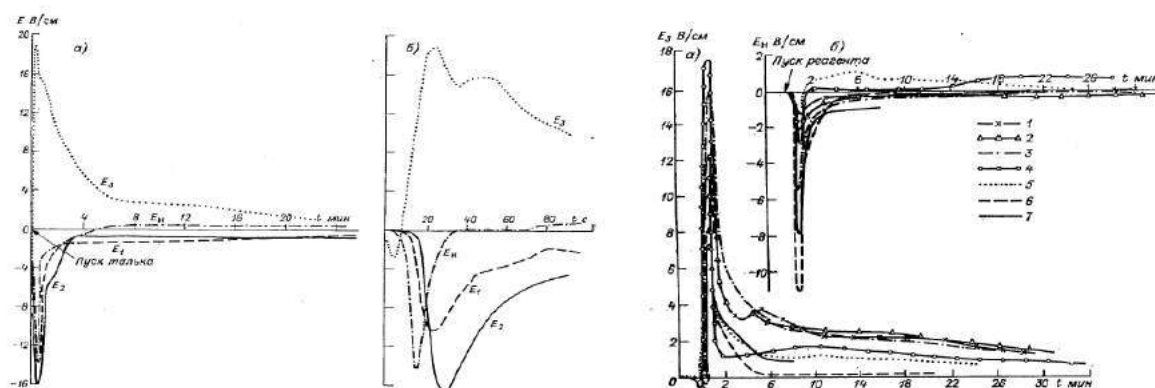


Рис.4 (слева)

Изменение напряженности электрического поля, создаваемого в ТБК облаком талька (а). Прохождение тяжелой фракции талька, представленное в другом временном масштабе (б).

Рис.5 (справа)

Изменение напряженности электрического поля, создаваемого в ТБК облаком талька в семи фоновых опытах (1-7), а – датчик  $E_3$ , б – датчик  $E_н$ .

Еще одним требованием к реагенту является его гидрофобность. Естественно если частицы обводняются, то контакты будут происходить между двумя водными поверхностями, что снижает величину разности электрохимических потенциалов между частицами, уменьшая эффект их контактного зарядения. Для более эффективного проявления контактной электризации желательно, чтобы реагент был диэлектриком.

Были исследованы следующие порошки: тальк ( $\bar{R} \sim 30 \text{ мкм}$ ,  $\sigma \sim 20 \text{ мкм}$ , гидрофобен, диэлектрик), корунд ( $\bar{R} \sim 40 \text{ мкм}$ ,  $\sigma \sim 20 \text{ мкм}$ , гидрофобен, диэлектрик), бариевое стекло ( $\bar{R} \sim 15 \text{ мкм}$ ,  $\sigma \sim 12 \text{ мкм}$ , гидрофобен, диэлектрик), микрокапсулированная мочеви́на ( $\bar{R} \sim 20 \text{ мкм}$ ,  $\sigma \sim 5 \text{ мкм}$ , гидрофобен, диэлектрик).

На рис. 6 – 8 представлены результаты измерений напряженности электрического поля при распылении в сухой чистой камере различных порошков.

Анализ всех опытов по изучению фоновой электризации талька привел к следующим выводам.

Облако талька двухзарядное. Зарядение происходит только во время распыления талька в камере.

Тяжелая фракция заряжена преимущественно отрицательно. Можно считать, что именно эта часть талька является электризующим реагентом.

Легкая фракция талька, заряженная преимущественно положительно, зависит преимущественно в верхней части камеры и медленно оседает в основном на стенки. Можно

считать, что мелкая часть реагента является в эксперименте пассивной дополнительной помехой.

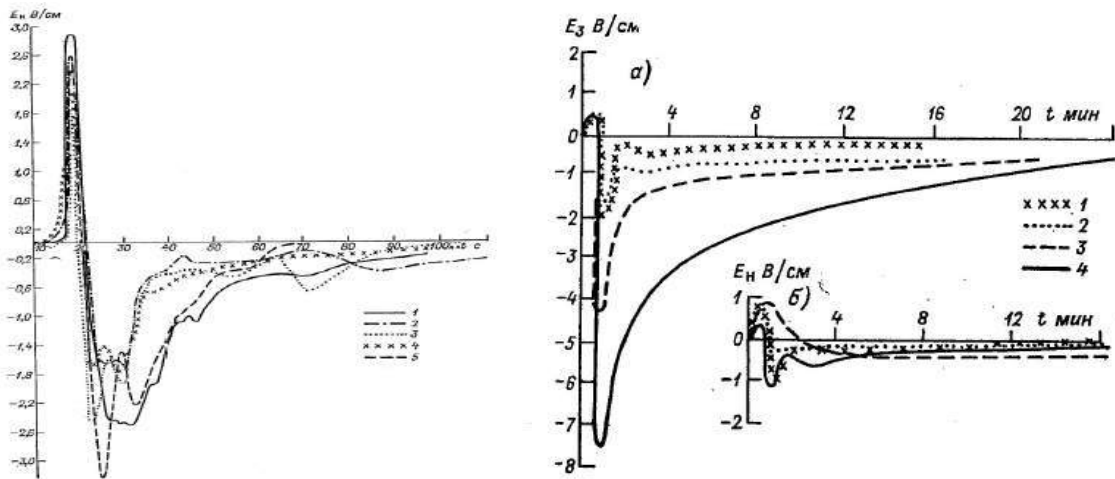


Рис.6 (слева)

Характер изменения во времени вертикальной составляющей напряженности электрического поля ( $E_n$ ) облака корунда в пяти фоновых опытах (1-5).

Рис.7 (справа)

Изменение напряженности электрического поля, наблюдаемое в камере при распылении  $200\text{см}^3$  бариевого стекла на уровне  $E_3$  (а) и уровне  $E_n$  (б) в четырех опытах (1-4).

На рис.6 представлены результаты измерений фоновой электризации корунда, измеренной нижним датчиком ПНП в пяти фоновых опытах. Видно, что общий характер поведения облака корунда, введенного в камеру, сохраняется, хотя амплитуды, как и в случае с тальком, изменяются в пределах от 1 до 1.5 В/см. Микрофизические параметры корунда определить не удалось, так как в ПЗК частицы корунда практически не попадают.

При введении порошка бариевого стекла в камеру проходит положительно заряженная тяжелая фракция и отрицательно заряженная более легкая фракция. Амплитуды напряженности электрического поля на уровне верхнего датчика различаются от опыта к опыту до 5 В/см, остаточный фон мелкой фракции на уровне верхнего датчика создавал поле напряженностью от -1 до 1.5 В/см. На рис.7 представлено несколько измерений верхним датчиком  $E_3$  и нижним датчиком  $E_n$  в фоновых опытах с бариевым стеклом. Виден довольно большой разброс данных.

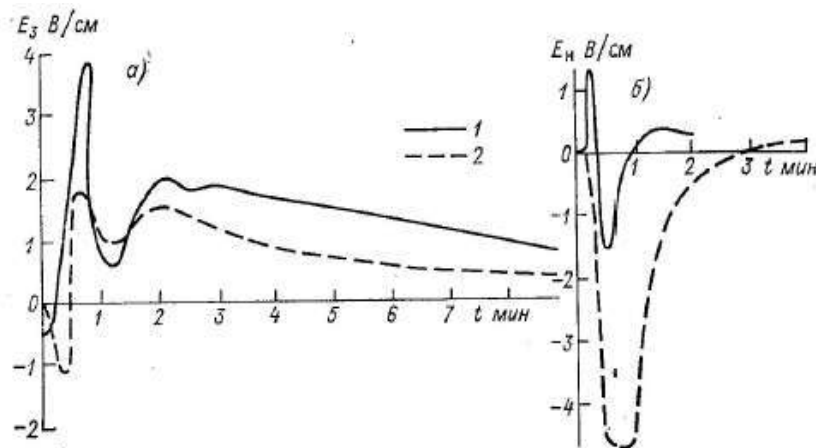


Рис.8

Изменение во времени напряженности электрического поля, зафиксированные датчиками  $E_3$  (а) и  $E_n$  (б) в двух фоновых опытах с микрокапсулированной мочевиной (1-2).

Облако микрокапсулированной мочевины оказалось также двухзарядным. Пример измерения электризации мочевины и изменения ее во времени по данным двух опытов приведен на рис. 8.

Из приведенного материала видно, что в любом опыте по электризации частиц приходится иметь дело с фоновой электризацией, представляющей шум, на фоне которого надо выделить полезный сигнал. Поэтому перед началом серии опытов по воздействию на туман необходимо проверять фоновые электрические характеристики реагента.

### Электризация искусственного тумана при воздействии на него электризирующими порошками

Рассмотрим результаты воздействия на туман тальком (рис.9), так как они представлены самым большим числом опытов. Из сравнения рис.5 с рис.9 можно легко заметить, что электризация талька проходит аналогично, как при сбросе талька в пустую камеру, так и при сбросе его в туман. На рис.9 видно и прохождение тяжелой отрицательной части талька и зависание легкой положительной, таких же, как и в фоновом опыте, но на 16-ой минуте вместо дальнейшего уменьшения положительной напряженности электрического поля (датчик  $E_3$ ) до уровня фона тумана во всех опытах наблюдается увеличение напряженности электрического поля. Это свидетельствует о том, что после оседания порошка в камере появляется дополнительный положительный объемный заряд, который является результатом взаимодействия частиц талька и тумана.

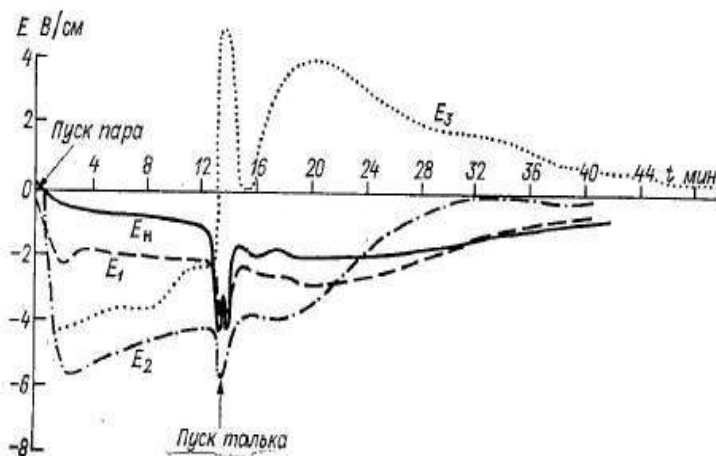


Рис.9

Характерное изменение во времени напряженности электрического поля тумана при введении в него частиц талька.

Для оценки экспериментальных результатов по воздействию на туман тальком во всех опытах и по всем датчикам напряженности электрического поля тумана была проведена экстраполяция от момента ввода электризирующего аэрозоля до конца опыта. Так как ход кривой напряженности фонового электрического поля тумана хорошо изучен, то ошибка этой экстраполяции не превышает естественного разброса в изменении электрического поля в различных опытах. На рис.10 приведены кривые  $\Delta E(t) \pm 3\sigma$ , где  $E$  — осредненный по всем опытам параметр  $\Delta E = E - E_{\text{тум}}$ . Изменение параметра  $\Delta E$  (кривая 1) не аналогично изменению напряженности электрического поля фона талька  $E$  (кривая 2). Это свидетельствует о том, что в камере появился дополнительный объемный заряд, вызванный взаимодействием частиц талька с частицами тумана.

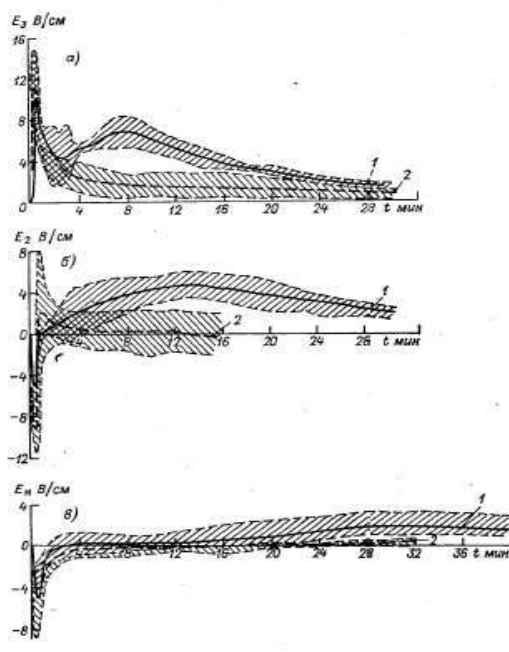


Рис.10

Изменение параметра  $\Delta E$  (1) и напряженности поля, создаваемого облаком талька (2).  
 а- верхний уровень измерений, б- средний, в- нижний. Заштрихованная область соответствует допуску  $\pm 3\sigma$ .

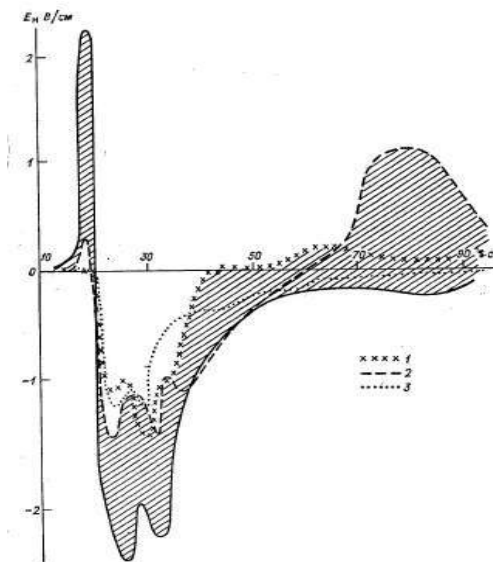


Рис.11

Изменения напряженности электрического поля тумана после прохождения сквозь него  $200 \text{ см}^3$  корунда в трех опытах (1 – 3), 4 – фоновая электризация облака корунда.  
 Заштрихованная область отражает электризацию тумана.

На рис.11 представлены для сравнения средняя кривая, характеризующая электризацию корунда при распыливании, полученная по результатам восьми фоновых опытов, и кривые напряженности электрического поля, зарегистрированные нижним датчиком ( $E_n$ ) во время трех опытов при прохождении корунда сквозь туман. Видно, что положительная электризация корунда уменьшается на 2-2.5 В/см, а отрицательная на 1 В/см. Надо полагать, что и тот и другой заряды передачи переданы частицам тумана.

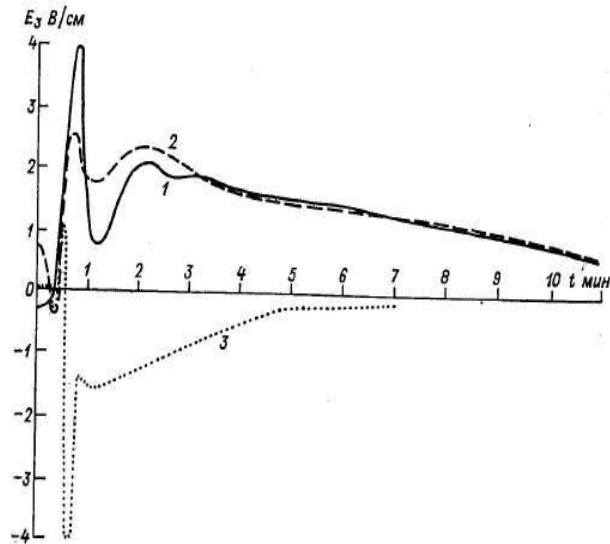


Рис.12

Изменение напряженности электрического поля облака микрокапсулированной мочевины в двух фоновых опытах. (1 – 2) изменение напряженности электрического поля тумана после прохождения через него частиц микрокапсулированной мочевины за вычетом фона тумана (3).

На рис.12 представлены результаты воздействия на туман  $200 \text{ см}^3$  микрокапсулированной мочевины (за вычетом фона тумана). Как и ранее, если бы не было подзарядки тумана, то кривые 1 и 2 совпали. Расхождение кривых показывает дополнительную электризацию тумана.

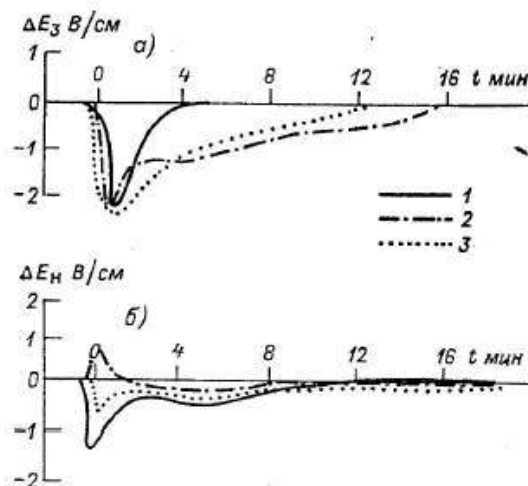


Рис.13

Изменение во времени характеристики  $\Delta E$ , измеренной датчиками,  $E_3$  (а) и  $E_n$  (б), при прохождении сквозь туман частиц бариевого стекла в трех опытах (1 – 3).

За счет контактирования с частицами бариевого стекла туман подзарядается отрицательно (рис.13). В связи с тем, что бариевое стекло имеет очень большую мелкодисперсную фракцию, которая зависает и оседает в камере вместе с туманом, эффект подзарядки тумана обнаруживался с трудом. Тем не менее, отрицательная подзарядка тумана просматривалась при сравнении фоновых кривых с кривыми хода напряженности электрического поля тумана после прохождения сквозь него тяжелой фракции частиц бариевого стекла.

Обобщенные сведения о результатах опытов по изменению электризации тумана за счет введения в него грубодисперсных аэрозолей приведены в табл.1.

Табл. 1

Обобщенные сведения об электризующих свойствах аэрозолей

Вещество	$V$ см <sup>3</sup>	$\overline{\Delta E}$ (В/см)	$\overline{K}$	$\overline{\nu}$	$f_{отс}$
Тальк	200	5	10	0,1	0,6
Корунд	200	1	—	—	—
Микрокапсулированная мочевиная	200	—3	4—5	0,04	0,2
Бариево стекло	200	—1	4	0,02	0,1

Примечание.  $V$  – общий объем введенного аэрозоля,  $\Delta E$  – среднее изменение напряженности электрического поля после прохождения через него частиц электризующего аэрозоля,  $\overline{K}$  – коэффициент передачи заряда при контактировании,  $\nu = \frac{N_{отс}}{N}$  – доля отскочивших капель по отношению к общему количеству капель, зарегистрированных в опыте,  $f_{отс}$  – коэффициент отскока.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности изменения электрического состояния тумана путем ввода в него частиц веществ с отличными от частиц тумана физико-химическими свойствами и о возможности создания в тумане (облаке) локальных заряженных областей. Причем, в зависимости от рода введенного вещества, можно подзарядить туман различным по знаку зарядом.

Подводя итог вышесказанному отметим, что был разработан новый метод исследования процессов электризации в лабораторных условиях, давший ряд материалов для понимания основных процессов электризации в облаках и основы для выбора материалов, способных привести к искусственной электризации облаков.

## Литература

1. Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., Окуджава А.М., Чиabriшвили Н.Ш., Нодия А.Г., Варамашвили Н.М., Мирцхулава М.К., Имянитов И.М., Чубарина К.В., Климин Н.Н., Морозов В.Н., Мордовина Л.С., Фабер О.А. Лабораторные опыты по электризации облачных элементов в результате взаимодействия разнородных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 49, Тбилиси, "Мецниереба", 1982.
2. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д. Лабораторные опыты по исследованию процесса заряжения капли во время ее падения в облачной среде. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 40-45.
3. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чхаидзе Г.П., Степаненко В.Д., Имянитов И.М. Электризация взаимодействующих дисперсных аэрозольных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 12-34.
4. Гзиришвили Т.Г., Маградзе Г.Д., Мирцхулава М.Д. Электризация свободно падающей капли с учетом эффекта коагуляции и наличия ионизированной среды. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 3-11.
5. Дьяконова И.Н., Имянитов И.М., Карцивадзе А.И., Климин Н.Н., Мордовина Л.С., Морозов В.Н., Фабер О.А., Чубарина Е.В. Лабораторное моделирование процессов контактной электризации облачных частиц, Л, Гидрометеоиздат, 1985, 88 с.

6. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Харчилава Д.Ф., Трофименко Л.Т., Нехотина Л.М., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д. Лабораторное моделирование процессов окисления атмосферного аэрозоля. Тез. Докл. Всесоюзн. Симп. По фотохимическим процессам земной атмосферы. Черногоровка, 14-16 октября 1986.
7. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Харчилава Д.Ф., Трофименко Л.Т., Нехотина Л.М., Нодия А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Мирцхулава М.Д. Заряжение частиц аэрозоля в результате окисления их озоном. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 65.
8. Амиранашвили А.Г., Нодия А.Г., Махарашвили А.З. Заряжение самолета ИЛ-14 в свободной атмосфере в зависимости от содержания аэрозолей. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 270.
9. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Мирцхулава М.Д., Дидебулидзе И.Н. Исследование эффекта электризации взаимодействующих частиц аэрозоля в зависимости от их размеров. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с.123.
10. Гзиришвили Т.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чиabriшвили Н.Г. Лабораторное исследование влияния дисперсности частиц  $\text{SiO}_2$  на заряджение теплых туманов. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 124.
11. Gzirishvili T.G., Amiranashvili A.G., Mirtskulava M.D., Nekhotina L.M., Nodia A.G., Trofimenko L.T. Experimental modeling of aerosol particle and hydrometeor electrization processes. Proc. 8<sup>th</sup> Int. Conf. on atmospheric electricity, Uppsala, Sweden, 13-16 June, 1988, p. 270-275.

## სადრუბლო გარემოს კონტაქტური ელექტრიზაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება

ვარამაშვილი ნ., მირცხულავა მ., ტროფიმენკო ლ., ჭიabriშვილი ნ.

### რეზიუმე

წარმოდგენილია სადრუბლო გარემოს კონტაქტური ელექტრიზაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირების შედეგები. ექსპერიმენტები ტარდებოდა საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის თერმობაროკამერაში წინა საუკუნეში. კერძოდ, დამუშავებული იყო ლაბორატორიულ პირობებში ელექტრიზაციის პროცესების კვლევის ახალი მეთოდი, რომელმაც მოგვცა რიგი მასალა ღრუბლებში ელექტრიზების ძირითადი პროცესების გაგებისთვის და საფუძვლები იმ მასალების შესარჩევად, რომლებმაც შეიძლება მიგვიყვანოს ღრუბლების ხელოვნურ ელექტრიზებამდე.



## **THE EXPERIMENTAL SIMULATION OF THE PROCESSES OF THE CONTACT ELECTRIZATION OF CLOUD MEDIUM**

**Varamashvili N., Mirtslhulava M., Trofimenko L., Chiabrishvili N.**

### **Abstract**

The work gives the results of the experimental simulation of the contact electrization processes in cloud medium. Experiments were conducted in the thermobaric chamber of Institute of Geophysics of the Academy of Science of Georgia in the last century. In particular, the new method of the study of the processes of electrization in laboratory conditions were developed, the given number of materials for understanding of the basic processes of electrization in clouds and basis for the selection of materials, capable to lead to artificial electrization of clouds.

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ КОНТАКТНОЙ ЭЛЕКТРИЗАЦИИ ОБЛАЧНОЙ СРЕДЫ**

**Варамашвили Н.Д., Мирцхулава М.Д., Трофименко Л.Т., Чиабришвили Н.Г.**

### **Реферат**

Представлены результаты экспериментального моделирования процессов контактной электризации облачной среды. Эксперименты проводились в термобарокамере Института геофизики АН Грузии в прошлом столетии. В частности, был разработан новый метод исследования процессов электризации в лабораторных условиях, давший ряд материалов для понимания основных процессов электризации в облаках и основы для выбора материалов, способных привести к искусственной электризации облаков.

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ им. М. НОДИА ЗА ПОСЛЕДНИЕ ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

**Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Чанкветадзе А.Ш., Чхаидзе Г.П.**

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, darejan.kirkitadze@gmail.com*

За последние три десятилетия в секторе физики атмосферы Института геофизики им. М.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.). В ряде этих исследований активное участие принимал А.И. Карцивадзе.

Так, было проведено теоретическое исследование влияния периодичности источника частиц на процесс их коагуляции; моделирование процессов, управляющих изменением дисперсности и состояния различных коагулирующих систем; исследование эволюции структуры субмикронных аэрозолей в различных природных регионах страны; численное моделирование распространения аэрозольных частиц от движущего источника в турбулентной атмосфере при постоянной скорости ветра; численное моделирование оптических характеристик водного аэрозоля [1-3].

По измерениям естественных трассеров: бериллия-7, радиоуглерода и озона проведена оценка вертикального обмена в атмосфере Закавказья [4,5].

Изучено пространственно-временное изменение концентрации твердых примесей в районе с крупным источником выбросов в условиях города Зестафони и условия формирования аэрозолей и их аккумуляции в городах [6,7].

Проведен анализ данных о распределении аэрозолей радиусом более 0.35 мкм над территорией Грузии. В частности получено, что в пределах нижнего пятикилометрового слоя атмосферы распределение аэрозолей по размерам имеет достаточно устойчивый характер и мало меняется с высотой и под влиянием облачности. Однако в дни с кучевыми облаками по сравнению с безоблачными днями масса аэрозолей в пятикилометровом слое атмосферы растет примерно в 1.4 раза, а в дни с облаками различных типов, включая кучевые - в 2.5 раза [8-10].

Результаты исследований многолетней динамики загрязнения приземного слоя воздуха в Тбилиси (весовая концентрация аэрозолей, окислы азота, двуокись серы, озон) представлены в [11,12].

Проведены работы по численному расчету спектральной плотности аэрозольной оптической толщи атмосферы по данным о суммарной интенсивности прямой солнечной радиации, моделированию переноса солнечного излучения в атмосфере с учетом аэрозольного рассеяния, определению аэрозольной оптической толщи атмосферы для различных длин волн [13,14].

Результаты исследований многолетних вариаций аэрозольной оптической толщи атмосферы для отдельных пунктов Грузии и в целом для территории Грузии были представлены в работах [15-20]. В частности было получено, что рост общего аэрозольного загрязнения атмосферы в Грузии с 1928 по 1990 гг. имеет экспоненциальный характер.

Установлены антропогенные, случайные и фоновые значения аэрозольной оптической толщи атмосферы (АОТ) для различных районов Грузии в период с 1928 по 1990 гг. Между

станциями (Тбилиси, Телави, Цалка, Анасеули, Сенаки, Сухуми) отмечается высокая линейная корреляция как по наблюдаемым значениям АОТ, так и по значениям их случайных составляющих. Временные ряды АОТ автокоррелированы и степень автокоррелированности для различных периодов времени различна. Внесены поправки в значения доверительных интервалов для среднегодовых величин АОТ с учетом автокорреляции.

Было установлено, что уровень загрязненности атмосферы аэрозолями оптически активного диапазона размеров над Кахетией мало отличается от этого уровня над Тбилиси. В Западной Грузии (Анасеули, Сенаки, Сухуми) уровень загрязненности атмосферы значительно ниже, чем в Кахетии и в районах, прилегающих к Тбилиси.

Выявлено, что внутригодовой ход АОТ, нормированного на его июльские значения, устойчив во времени. Имеется также полная устойчивость во времени соотношений между среднесезонными и среднегодовыми значениями АОТ.

Как показал анализ, по крайней мере для пятилетних периодов осреднения годовых данных аэрозольной оптической толщи атмосферы, устойчивым во времени является и относительный вертикальный профиль АОТ\* (нормированный на высоту 100 м) для малозагрязненных районов. Эмпирическая связь относительных значений АОТ\* с высотой над уровнем моря имеет вид:

$$\text{АОТ}^* = 1.0277 \cdot \exp(-0.000224 \cdot H), \text{ где } H \text{ в м}$$

Создана модель пространственно-временного распределения АОТ в Грузии и построены карты, на которых представлена динамика изменения АОТ над указанной территорией по пятилетним периодам с 1956 по 1990 гг. Оценен вклад локальных источников аэрозольного загрязнения атмосферы в значение АОТ, который, в частности, в период с 1981 по 1990 гг в Тбилиси и Телави составляет по 33%, Анасеули, Сенаки, Сухуми – 10 %. Показано, что в будние дни значения АОТ в Тбилиси и Кахетии выше, чем в выходные.

Проведен анализ изменчивости электропроводности приземного слоя воздуха в Душети в 1966-1990 гг и выявлена его обратная связь с АОТ в Тбилиси по среднегодовым и дневным данным. Получены соответствующие регрессионные модели.

Результаты самолетных исследований аэрозольного загрязнения нижнего пятикилометрового слоя тропосферы и Кахетией в 1973-1977 гг. в частности показали следующее. Более 70% массы аэрозолей размерами 0.2 – 4.0 мкм сосредоточена в нижнем трехкилометровом слое атмосферы. В безоблачные дни над Кахетией масса аэрозолей в вертикальном столбе воздуха высотой 5 км составляет 66 мг/м<sup>2</sup>, в дни с кучевыми облаками – 90 мг/м<sup>2</sup> и в дни с различной облачностью – 165 мг/м<sup>2</sup>. В Тбилиси доля АОТ для минеральных аэрозолей от общего его значения составляет около 23%, для сульфатов – 26% и для индустриальной пыли, нитратов и др. – 50%. Показано, что в городской местности аэрозоль более гигроскопичен, чем в сельской. В Кахетии, значимое превышение содержания аэрозолей в будние дни по сравнению с выходными наблюдается на высоте 1,0 км для частиц с размерами  $d > 0.7$  мкм,  $2.0 \leq d < 4.0$  и  $d \geq 4.0$  мкм. Вариации АОТ в Кахетии примерно на 49 % обусловлены содержанием радона в нижнем трехкилометровом слое атмосферы и всего на 10% твердыми аэрозолями размером выше 0.7 мкм.

В облаках, как и в свободной атмосфере, наблюдается прямая связь между уровнем ионизации воздуха (радон и космическое излучение) и содержанием ядер конденсации. Изменение интенсивности ионизации от 5.75 пар ионов см<sup>-3</sup>сек<sup>-1</sup> до 8.0 пар ионов см<sup>-3</sup>сек<sup>-1</sup> увеличивает содержание ядер конденсации в 1.56 раза. При этом доля интенсивности ионизации за счет радона и короткоживущих продуктов его распада невелика и не превышает 10 %.

Выявлена прямая корреляционная связь между АОТ и содержанием озона в тропосфере над Тбилиси, свидетельствующая о важной роли озона в образовании вторичных аэрозолей. Показано, что АОТ является достаточно репрезентативной характеристикой загрязненности приземного воздуха аэрозолями малых размеров (по крайней мере до диаметра 0.8 мкм) [15-20].

В последних исследованиях было показано, что динамика общего аэрозольного загрязнения в Грузии и на Северном Кавказе (Кисловодск) имеет сходный характер [21-23]. В работе [24] представлены некоторые результаты моделирования распределения аэрозольной

оптической толщи атмосферы (АОТ) над территорией Грузии в соответствие с ранее предложенной методологией комбинированного анализа спутниковых и наземных измерений АОТ в Тбилиси [25,26]. В частности получено, что в местах с повышенной облачностью наблюдаются повышенные значения АОТ. Несмотря на то, что в Тбилиси наблюдается сильное аэрозольное загрязнение атмосферы, значение АОТ в дни с облаками здесь немногим отличается от АОТ над другими городами (Кутаиси, Батуми) и даже меньше, чем в местах с повышенной облачностью. В безоблачные дни отмечается снижение значений АОТ с ростом расстояния от основного источника загрязнения воздуха города Тбилиси [24]. Это вполне удовлетворительно согласуется с полученными ранее результатами о распределении АОТ над территорией Грузии в безоблачную погоду [15,18-20].

Обсуждался вопрос о мониторинге аэрозольного загрязнения атмосферы в Грузии как составляющая часть мировой сети контроля загрязнений воздуха [27,28]. Затрагивались вопросы перспектив активных воздействий на атмосферные аэрозоли с целью очистки воздуха от них [29,30].

Разработана теоретическая модель гетерогенной нуклеации на модифицированных частицах аэрозоля. При этом использовано обобщенное уравнение гетерогенной нуклеации, учитывающее зависимость межфазовой удельной поверхностной энергии от перенасыщения водяного пара. Рассмотрены вопросы образования вторичных ледяных кристаллов, влияния размеров частиц на льдообразующую активность аэрозоля [31,32].

Разработана уточненная концепция взаимодействия аэрозолей с конвективными облаками с учетом электрических, ионизационных и др. процессов, протекающих в атмосфере и облаках. На основании концепции делается вывод, что это взаимодействие должно характеризоваться региональными особенностями, обусловленными как физическими условиями процессов образования облачности, так и физико-химическими свойствами аэрозольно-газового загрязнения воздуха. Показано, что мощные конвективные и грозовые облака способны вносить существенный вклад в прямые и косвенные радиационные эффекты [9,18,20,33].

Особое внимание было уделено изучению влияния ионизирующего излучения (радон, гамма-излучение, космические лучи) на образование вторичных аэрозолей в атмосфере по схеме газ  $\rightarrow$  частица. Получено, что все указанные типы ионизирующего излучения являются катализатором образования субмикронных аэрозолей из газов [18, 20, 34-37].

Проведен анализ данных мониторинга в 2009-2012 гг. в Тбилиси смогообразующих и сопутствующих им параметров атмосферы как в режиме постоянных измерений на двух стационарных базах наблюдения (территория термобарокамеры и лаборатория космических лучей Института геофизики), так и в режиме эпизодических маршрутных измерений на 20 пунктах в различных районах города (содержание в воздухе озона, субмикронных аэрозолей, радона, легких ионов; интенсивность солнечной радиации, дальность видимости, облачность, температура, влажность, ветер, давление; гамма-радиация почвы; интенсивность галактических космических лучей). Приводится 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. Представлены карты пространственного распределения озона, аэрозолей, легких ионов, радона и гамма-излучения почвы. Показано, что по данным стационарного пункта измерений (термобарокамера) можно оценить уровень загрязненности воздуха города Тбилиси в целом.

Выявлены особенности эффекта радионуклидного излучения в образовании вторичных аэрозолей в условиях города Тбилиси (Тбилисский тип смога). 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. Предполагается, что Тбилисский тип смога может иметь место также и в других городах с сильно загрязненной атмосферой [37-44].

В работе [45] приведены результаты исследования вариаций концентрации субмикронных аэрозолей диаметром  $\geq 0.1$  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 описывается 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.

Особое внимание уделялось исследованию влияния различных компонент фотохимического смога на здоровье людей [37, 46]. Так, в частности было получено, что при среднесуточной концентрации субмикронных аэрозолей более  $1000 \text{ см}^{-3}$  в Тбилиси на 11 % отмечался рост числа вызовов скорой медицинской помощи [47].

## Литература

1. Gorchakov G.I., Emilenko A.S., Kartsivadze A.I., Metreveli D.M., Sidorov V.N. Variation of Submicron Aerosol Structure. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Budapest, Hungary, 3-8 September, vol.1, 1984, p. 159-163.
2. Загайнов В.А., Жуланов Ю.В., Лушников А.А., Стулов Л.Д., Осидзе И.Г., Цицкишвили М.С., Карцивадзе А.И. Исследование эволюции атмосферного аэрозоля в различных природных регионах страны. Тез. докл. Всесоюзн. конф. по трансформации и дальнему переносу газовых и аэрозольных примесей в атмосфере и созданию моделей загрязненности, Вильнюс, Литва, 12-14 ноября 1986, с. 79.
3. Одишария М.А., Инджгия Р.Г. Численный расчет оптических характеристик водного аэрозоля. Тез. Докл. Межд. Симп. "Взаимосвязь региональных и глобальных процессов в атмосфере и гидросфере", Тбилиси, 15-18 ноября 1988, с. 86.
4. Бурчуладзе А.А., Пагава С.В., Тогонидзе Г.И., Повинец П., Харчилава Д.Ф., Цицкишвили М.С. Вертикальный обмен в атмосфере Закавказья по измерениям естественных трассеров: Бериллия-7, радиоуглерода и озона. Тез. докл. Всесоюзн. конф. по трансформации и дальнему переносу газовых и аэрозольных примесей в атмосфере и созданию моделей загрязненности, Вильнюс, Литва, 12-14 ноября 1986, с. 114-115.
5. Харчилава Д.Ф., Цицкишвили М.С. Годовой ход интенсивности вертикального обмена в атмосфере Центрального Закавказья по сезонным вариациям озона и космогенного бериллия. Атмосферный озон, Тр. 6-го Всесоюзн. Симп., Ленинград, 15-17 мая 1985, Л., Гидрометеоиздат, 1987, с. 295-298.
6. Ломая О.В., Зурашвили З.И. Результаты исследования пространственно-временных изменений концентрации твердых примесей в районе с крупным источником выбросов. Тез. докл. Всесоюзн. конф. по трансформации и дальнему переносу газовых и аэрозольных примесей в атмосфере и созданию моделей загрязненности, Вильнюс, Литва, 12-14 ноября 1986, с. 41-42.
7. Kharchilava D.F., Lomaia O.V., Bukia G.N. The Conditions of Aerosols Formation and Accumulation in Cities. Proc. 3th Int. Aerosol Conf., Kyoto, Japan, Pergamon, vol. 2, 24-27 September, 1990, p. 986-989.

8. Amiranashvili A.G., Gzirishvili T.G., Kartsivadze A.I., Nodia A.G. – Aircraft investigations of the distribution of aerosols in the lower troposphere. Proc. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Aerosols, Condensation and Ice Nuclei, Budapest, Hungary, 3-8 September, vol.1, 1984, p. 148-153 .
9. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тбилиси, «Мецниереба», 1991, 113 с.
10. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Chochishvili K., Kirkitadze D. The Distribution of Aerosols Over the Georgian Territory in the Lower Troposphere. Journal of Georgian Geophysical Society, ISSN 1512-1127, Jss. B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, Vol. 8 B, 2003, Tbilisi, 2004, p. 70-76.
11. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Gzirishvili T., Gunia G., Intskirveli L., Kharchilava J. Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi. Proc.15<sup>th</sup> Int. Conf. on Nucleation and Atmospheric Aerosols, Rolla, Missouri, USA, 2000, August, 6-11, AIP, Conference Proc., vol.535, Melville, New York, 2000, p. 793-795.
12. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Kharchilava J.F, Buachidze N.S., Intskirveli L.N. Variations of the Weight Concentrations of Dust, Nitrogen Oxides, Sulphur Dioxide and Ozone in the Surface Air in Tbilisi in 1981-2003. Proc. 16<sup>th</sup> International Conference on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, p. 678-681.
13. Amiranashvili V. Numerical Calculation of the Spectral Aerosol Optical Depth Using Data on Integral Irradiance of the Direct Solar Radiation. Abstr. IUGG 99, 19-30 July 1999, Birmingham UK, p. A.236.
14. Amiranashvili V. Modelling of Solar Radiation Transfer in the Atmosphere with Allowance to Aerosol Diffusion. J. Aerosol Sci., Vol. 30, Suppl 1, Pergamon Press, 1999, p. S625-S626.
15. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Tavartkiladze K. Dynamics of the aerosol pollution of the atmosphere in Georgia in 1956-1990. J. Aerosol Sci., Pergamon, vol.30, Suppl.1, 1999, p. S667-S668.
16. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Khurodze T., Tavartkiladze K., Tsitskishvili M. Some Characteristics of the Aerosol Pollution of the Atmosphere Over the Territory of Kakheti in the Warm Season. Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, p. 128-129.
17. Amiranashvili A.G., Amiranashvili V.A., Kirkitadze D.D., Tavartkiladze K.A. Some Results of Investigation of Variations of the Atmospheric Aerosol Optical Depth in Tbilisi. Proc. 16<sup>th</sup> Int. Conf. on Nucleation&Atmospheric Aerosols, Kyoto, Japan, 26-30 July 2004, p. 416-419.
18. 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.
19. თავართქილაძე ვ., 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, ISBN 99928-885-4.7, მონოგრაფია, 2006, 177 გვ.
20. Амиранашвили А.Г. Исследование грозо-градовых процессов в Грузии и их связей с аэрозольным загрязнением атмосферы. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физ.-мат наук по специальности 04.00.23 – геофизика(физика атмосферы и гидросферы), Институт геофизики им. М.З. Нодиа, Тбилиси, 2006, 53 с. [http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/4920/1/Amiranashvili\\_Avtoreferat\\_2006.pdf](http://dspace.gela.org.ge/bitstream/123456789/4920/1/Amiranashvili_Avtoreferat_2006.pdf)
21. Амиранашвили А., Кириленко А., Картунова З., Поволоцкая Н., Сеник И., Таварткиладзе К. Изменчивость аэрозольного загрязнения атмосферы в Цалке и Кисловодске в 1941-1990 гг. Proc. of Int. Conf. “Modern Problems of Geography”, Dedicated to the 80<sup>th</sup> Anniversary Since the Foundation of Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Collected Papers New Series, N 5(84), ISSN 2233-3347, Tbilisi, 2013, p. 178-181.

- 22.Амиранашвили А.Г., Таварткиладзе К.А, Кириленко А.А., Картунова З.В., Поволоцкая Н.П., Сеник И.А. Динамика аэрозольного загрязнения атмосферы в Тбилиси и Кисловодске. Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013, Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 212 - 215.
- 23.Амиранашвили А.Г., Таварткиладзе К.А., Кириленко А.А., Картунова З.В., Поволоцкая Н.П., Сеник И.А. Динамика общего аэрозольного загрязнения атмосферы в Кисловодске и некоторых районах Грузии в 1941-1990 гг. Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября 2014, Москва, 2014, с. 10.
- 24.Stankevich S., Titarenko O., Amiranashvili A., Chargazia Kh. Determination of Atmospheric Aerosol Optical Depth over Territory of Georgia during Different Regimes of Cloudiness Using the Satellite and Ground-Based Measurements Data. Bulletin of the Georgian National Academy of sciences, vol. 9, No. 3, 2015, p. 91-95.
- 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. 14<sup>th</sup> 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, Iss. B, Physics of Atmosphere, Ocean, and Space Plasma, vol. 17b, 2014, p. 26-37.
- 27.ამირანაშვილი ა., ამირანაშვილი ვ., თავართქილაძე კ., ლაულაინენი ნ. ატმოსფეროს აეროზოლური დაჭუჭყიანების მონიტორინგი საქართველოში. ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512–0902, ტომი 108, თბილისი, 2002, გვ. 19–23.
- 28.ციციშვილი 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 2014, Москва, 2014, с. 86.
- 29.ციციშვილი 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.
- 30.Амиранашвили А.Г., Цицишвили М.С. Аэрозольная экспресс очистка атмосферы. Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября 2014, Москва, 2014, с. 98.
- 31.Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М. Гетерогенная нуклеация льда. Тбилиси, ”Мецниереба”,1984, 140 с.
- 32.Gzirishvili T.G., Khorguani V.G. About Secondary Ice Crystal Production. Proc. 10-th Int. Conf. Cloud Phys. Bad-Nomburg, FRG, 1988, p. 254-256.
- 33.Amiranashvili A. Scheme of the interaction of atmospheric aerosols and convective clouds. IUGG 2003 Abstract, Sapporo, Japan, June 30-July 11, 2003, M02b/D-041.
- 34.Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Киркитадзе Д.Д., Чиabriшвили Н.Г., Чочишвили К.М. К вопросу об образовании вторичных аэрозолей в атмосфере. Тр. Института геофизики АН Грузии, ISSN 1512-1135, т. 58, Тбилиси, 2004, с.119-126 .
- 35.Amiranashvili A.G. On the Role of Cosmic and Radioactive Radiation on the Formation of the Secondary Aerosols in Atmosphere. Int. Conference “Near-Earth Astronomy 2007” Abstract, Terskol, Russia, 3-7 September 2007.

36. Amiranashvili, A.G., Amiranashvili, V.A., Bakradze, T.S., Chikhladze, V.A., Glonti, N.Ya., Kharchilava, J.F., Tuskia, I.I. On the influence of cosmic rays on the secondary aerosols formation in the atmosphere. 7th Int. Conference "Problems of Geocosmos", Abstract, 26 - 30 May, 2008, St. Petersburg, Russia.
37. ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., ჩიხლაძე ვ. ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში. მონოგრაფია, ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტომი 63, თბილისი, 2012, 160 გვ.
38. Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Никофоров Г.В., Нодия А.Г., Харчилава Д.Ф., Чанкветадзе А.Ш., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхаидзе 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. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с. 189-196.
39. Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Никофоров Г.В., Нодия А.Г., Чанкветадзе А.Ш., Чихладзе В.А. Приземный радон как катализатор загрязнения воздуха в Тбилиси вторичными аэрозолями. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, ISSN 1512-1135, том. 62, Тбилиси, 2010, с. 197-206.
40. Amiranashvili A. Negative Correlation Between of Light Ions Content and Radon Concentration: Particularity of Tbilisi City Air Pollution, or Norm for the Urbanized Locality? Proc. of the 14th Int. Conf. on Atmospheric Electricity, Rio de Janeiro, Brazil, August 07-12, 2011, <http://www.icae2011.net.br/>.
41. Amiranashvili A. The feedback effect of intensity of ionizing radiation with the light ions content in atmosphere. Paradox (the Tbilisi type of a smog), or usual phenomenon for the strongly pollution cities? Proc. of Int. Conf. "Environment and Global Warming", Dedicated to the 100<sup>th</sup> Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, pp. 95-100.
42. Amiranashvili A. Tbilisi Type of Smog as Attribute of Feedback Effect Between the Air Ionization Intensity and Small Ions Concentration. Proc. of 7th Asia-Pacific Int. Conf. on Lightning, Chengdu, China, November 1-4, 2011, <http://www.apl2011.net/>.
43. Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Чанкветадзе А.Ш. Субмикронные аэрозоли в атмосфере Тбилиси. Межд. научно-техн. конф. «Проблемы гидрометеорологии и экологии», посвящ. 60-летию со дня основания института и 100-летию со дня рожд. его первого директора В.П. Ломинадзе, Тбилиси, 28-30 мая 2013. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 95-99.
44. Амиранашвили А.Г. Тбилисский тип смога и его особенности. Международная конференция «Аэрозоль и оптика атмосферы» (к столетию Г.В. Розенберга), Тезисы докладов, 21-24 октября 2014, Москва, 2014, с. 67.
45. Amiranashvili A., Chagazia 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.
46. 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. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с. 177–188.
47. 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 2014, Москва, 2014, с. 68.



**მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფერული აეროზოლების  
გამოკვლევის ზოგიერთი შედეგი**

**კირკიტაძე დ., ნიკიფოროვი გ., ჭანკვეტაძე ა., ჩხაიძე გ.**

**რეზიუმე**

წარმოდგენილია ვრცელი მასალა უკანასკნელი სამი ათწლეულის განმავლობაში მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფერული აეროზოლების გამოკვლევის შესახებ. ბოლო წლებში განსაკუთრებული ყურადღება ექცეოდა ადამიანის ჯანმრთელობაზე ფოტოქიმიური სმოგის სხვადასხვა კომპონენტის გავლენის კვლევას. კერძოდ დადგინდა, რომ თუ სუბმიკრონული აეროზოლების საშუალო დღიური კონცენტრაცია  $1000 \text{ cm}^{-3}$  აღემატებოდა, მაშინ თბილისში სასწრაფო სამედიცინო დახმარების გამოძახების რაოდენობა 11%-ით მატულობდა.

**SOME RESULTS OF STUDIES OF ATMOSPHERIC AEROSOLS IN M. NODIA  
INSTITUTE OF GEOPHYSICS IN THE RECENT THREE DECADES**

**Kirkidatze D., Nikiforov G., Chankvetadze A., Chkhaidze G.**

**Abstract**

The work presents a survey of extensive material about studies of atmospheric aerosols by M. Nodia Institute of Geophysics in the recent three decades. In the recent years special attention was paid to the study of the effect of different components of photochemical smog on the public health. In particular, it was established that in the mean diurnal concentration of sub-micron aerosols in Tbilisi was more than  $1000 \text{ cm}^{-3}$  the number of calls for ambulance increased by 11 %.

**НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ АТМОСФЕРНЫХ  
АЭРОЗОЛЕЙ В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА ЗА ПОСЛЕДНИЕ  
ТРИ ДЕСЯТИЛЕТИЯ**

**Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Чанкветадзе А.Ш., Чхаидзе Г.П.**

**Реферат**

Представлен обзор обширного материала об исследованиях атмосферных аэрозолей в Институте геофизики им. М. Нодиа за последние три десятилетия. В последние годы особое внимание уделялось исследованию влияния различных компонент фотохимического смога на здоровье людей. В частности, было установлено, что при среднедневной концентрации субмикронных аэрозолей более  $1000 \text{ cm}^{-3}$  в Тбилиси на 11 % отмечался рост числа вызовов скорой медицинской помощи.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА И ТАЯНИЯ ГРАДИН, ЗАМЕРЗАНИЯ КАПЕЛЬ, ГЕТЕРОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ЛЬДА

<sup>1</sup>Гвелесиани А.И., <sup>1</sup>Орджоникидзе А.А., <sup>2</sup>Хуродзе Т.В.

<sup>1</sup>Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.

И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, anzor\_gvelesiani@yahoo.com

<sup>2</sup>Институт прикладной математики им. Н. Мусхелишвили Грузинского технического университета

Кроме широкомасштабных натуральных и теоретических исследований в непосредственной связи с разработкой проблемы воздействия на облака и, в частности, на градовые процессы, под руководством и непосредственным участием А.И. Карцивадзе проводились исследования элементарных процессов эволюции облачных частиц в естественных условиях и при искусственном воздействии.

Были проведены обширные исследования структуры и физических свойств естественных градин, что позволило получить новые сведения, необходимые для развития теории образования и роста градин. Была развита теория таяния градин с учетом действительной толщины воды на их поверхности, позволяющая количественно интерпретировать явление сплющивания градин в теплой части атмосферы. Одновременно были проведены эксперименты по моделированию процесса таяния градин. Теоретически и экспериментально исследована кинетика и гидродинамика отрыва жидких пленок воды с поверхности ледяных частиц различной формы и столкновения капель воды с ними с учетом сопровождающих эти процессы фазовых переходов при наличии и отсутствии внешнего электрического поля [1-4].

Исследования, проведенные в 1962 – 1972 гг. были посвящены экспериментальному изучению влияния электрических полей на процессы кристаллизации капель чистой воды, водных растворов электролитов и капель, содержащих суспензии различных веществ, а также на процесс образования и роста кристаллов льда на частичках различных веществ.

Результаты опытов по исследованию замерзания капель водных растворов различных солей во внешнем постоянном электрическом поле показывают, что с возрастанием их концентрации до величины порядка  $10^{-1}$  моль/л степень повышения температуры замерзания ( $\Delta T$ ) увеличивается, достигает своего максимума, а при дальнейшем повышении концентрации резко снижается до нулевого значения. Снятые кинограммы процессов замерзания тех же растворов в сосудах показали, что при изменении направления внешнего поля всякий раз твердая фаза зарождается именно в той части раствора, где повышена концентрация катионов.

Сопоставление координационных чисел анионов и катионов этих солей, их радиусов и величин изменения под действием ионов, потенциальных барьеров, разделяющих соседние положения равновесия молекул воды с величиной  $\Delta T$ , выявляют тесную корреляционную связь между ними [5-13].

Экспериментально было показано, что процесс льдообразования определяется величиной и направлением электрического поля заряженного кристалла-затравки. Объясняется это тем, что направленные электрические силы влияют на расположение молекул воды вблизи поверхности твердого тела и приводит к возникновению льдоподобных структурных образований, способствующих повышению вероятности кристаллизации воды.

Эксперименты позволили выявить, что при неизменной концентрации водяного пара и температуры окружающей среды, отрицательный потенциал стимулирует образование

преимущественно игольчатых форм ледяных кристаллов, тогда как положительный способствует образованию ледяных отложений неправильной формы. С ростом отрицательного потенциала увеличивается и скорость роста игольчатого кристалла льда [14-20].

Выявлено, что учет электрического поля в процессах дискретного захвата ледяной поверхностью переохлажденных капель приводит к существенно отличным результатам по сравнению с ранее известным. В момент столкновения деформированная капля обволакивается ледяной коркой (дендритная кристаллизация). В зависимости от значения внешних параметров (переохлаждение, электрическое поле, высота падения) образуются различные формы ледяных отложений, что будет определять характер упаковки примерзающих капель к поверхности градины и, в конечном счете, плотность последней.

Создан измерительный комплекс для исследования электризации облачных элементов, позволяющий изучить механизмы контактного и ионного заряжения

Лабораторные эксперименты, проведенные за тот же промежуток времени, имели своей целью моделирование процессов электризации искусственной облачной среды и способов воздействия на эти процессы. Опыты, проведенные в термобарокамере Института геофизики показали, что путем введения твердых частиц в искусственную облачную среду, состоящую из жидкого водного аэрозоля, можно изменить её электрическое состояние. Для порошкообразных реагентов удалось получить некоторые количественные характеристики воздействия, позволившие оценить коэффициенты передачи заряда при контактировании твердых и жидких частиц с последующим разрушением контакта, коэффициент отскока и др.

После ввода в эксплуатацию экспериментального комплекса по физике облаков, с 1975 года сотрудниками Института геофизики были выполнены работы по её оснащению необходимыми установками и измерительной аппаратурой. В частности были разработаны и изготовлены установки для исследования процесса роста и таяния градин, которые отличаются от известных экспериментальных установок такого назначения тем, что весь процесс роста и таяния градин изучается в условиях, когда она свободно взвешена на воздушном потоке или в затопленной струе облачной среды, чем достигается максимальное приближение к естественным условиям. С использованием этих установок выполнены исследования указанных процессов и получены новые результаты [4, 21-25]

Измерены скорости роста градин при различной влажности и температуре искусственной облачной среды. Изучены физические характеристики и определены условия строения слоистой структуры при мокром, сухом и смешанном режимах роста градин. Для нейтральной и заряженной облачной среды при сухом и мокром режимах роста измерены коэффициенты захвата облачных частиц градинами. При заряджении получено более высокое значение коэффициента захвата по сравнению с процессом в нейтральной среде [26-30].

Разработано и смонтировано стробоскопическое устройство для измерения аэродинамических характеристик градин различных форм и размеров. Уточнены установившиеся скорости свободного падения и другие аэродинамические характеристики падающих градин, что позволило получить исходные данные для теоретических расчетов процесса роста и таяния градин различных форм, плотности и размеров [31].

В ряде работ развивается оригинальная схема исследования механизма стимулирования льдообразование на частицах атмосферного аэрозоля. Разработана теоретическая модель гетерогенной нуклеации на модифицированных частицах аэрозоля. При этом использовано обобщенное уравнение гетерогенной нуклеации, учитывающее зависимость межфазовой удельной поверхностной энергии от перенасыщения водяного пара [20].

Лабораторное моделирование окисления частиц аэрозоля растительного происхождения в озонированной среде показало, что процесс окисления протекает в соответствии с кинетической реакцией первого порядка и резко изменяются их электрические характеристики.

Окисленные частицы аэрозоля антропогенного (сажа) и растительного (ликоподий) происхождения инициируют появление ледяных кристаллов в переохлажденном тумане уже при температуре  $-6^{\circ}$  -  $-8^{\circ}\text{C}$  с величиной выхода, равной  $10^{11}$  и  $10^8$  соответственно.

С помощью сканирующего дифференциального калориметра изучено структурирование и фазовые превращения в слое воды, адсорбированной на окисленных озоном частицах аэрозоля сажи. На основе полученных результатов развивается эмпирическая модель

механизма стимулирования гетерогенной нуклеации льда. В частности, было показано, что в озонированной среде аэрозоли неактивных веществ приобретают существенную льдообразующую активность. Сопоставление результатов лабораторного эксперимента с данными полевых наблюдений, указывающих на низкое содержание озона в градовых условиях и высокого его содержания при интенсивных грозах, не сопровождающихся градом, позволило выдвинуто гипотезу, согласно которой отсутствие града при интенсивных грозах должно быть вызвано самозасевом градоопасных облаков естественными льдообразующими аэрозолями, активированными атмосферным озоном, обильно возникающим в облаках при грозовых разрядах. Указанная гипотеза нашло свое последовательное развитие и место в схеме взаимодействия конвективной облачности с малыми примесями в атмосфере [14,20,32-35].

Лабораторные эксперименты по исследованию спектра размеров и концентрации ледяных кристаллов, возникающих на частицах реагентов, а также опыты по изучению процесса роста градин в искусственно кристаллизующей облачной среде, позволили получить обоснованные нормы расхода льдообразующих реагентов, необходимых для дальнейшего усовершенствования методики воздействия на градовые процессы [20,24,25,32,34].

### Литература

1. Гвелесиани А.И., Карцивадзе А.И., Махарашвили П.И., Окуджава А.М. Опыты по изучению процесса таяния градин. Тр. Всесоюзного Научного Совецания по активным воздействиям на градовые процессы. Тбилиси, 1964, с. 150-156.
2. Карцивадзе А.И. Таяние градин в потоке теплого водного аэрозоля. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, вып. I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
3. Gvelesiani A., Kartsivadze A. On the melting of spherical Hailstons. Proc. of the Int. Conf. on Cloud Physics, Toronto, Canada, 1968.
4. Kartsivadze A., Okujava A., Lapinskas V., Chikhladze V. The Modeling of Hailstone Growth and Melting Processes. Proc. Of the Int. Cloud Physics Conf. Boulder, Colorado, 1976.
5. Гвелесиани А.И., Карцивадзе А.И., Махарашвили П.И., Окуджава А.М. К вопросу замерзания капель водных растворов солей. Сообщ. АН ГССР, том XXXVI, III, Тбилиси, «Мецниереба», 1964.
6. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. О замерзании капель водных растворов солей. Сообщ. АН ГССР, том XXXVI, III, Тбилиси, «Мецниереба», 1964.
7. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. Установка для изучения элементарных процессов эволюции облачных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, физ. облаков, 25, I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
8. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. О замерзании водных растворов солей в электрическом поле. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 25, вып. I, Тбилиси, «Мецниереба», 1967.
9. Gabarashvili T., Kartsivadze A. Influence of electric Charge Upon ice Forming activity of artifcal Nuclei. Proc. Of the Int. Conf. on condensation and ice nuclei. Prague, Viena, 1967.
10. Gabarashvili T., Kartsivadze A. Influence of electric fields upon processes of ice nucleus formation. Proc. of the Int. Conf. on Cloud Physics, Toronto, Canada, 1968.
11. Карцивадзе А.И., Габарашвили Т.Г., Гвелесиани А.И. Лабораторные исследования эволюции облачных элементов. Тр. VIII всесоюзн. конф. по физ. обл. и акт. возд., Ленинград, 1970.
12. Габарашвили Т.Г., Карцивадзе А.И. О механизме роста заряженных кристаллов льда в паре. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 2, Тбилиси, «Мецниереба», 1972, с. 229-232.
13. Карцивадзе А.И. К расчету температуры замерзания водных растворов солей. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 32, Тбилиси, «Мецниереба», 1973.
14. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И., Чочишвили К.М., Бибилури Л.Ш. О возможной роли озона в образовании ледяных зародышей. II Всесоюз. сим. по соврем. пробл. атм. озона, Тбилиси, 1978.

15. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И. Некоторые результаты исследования процесса гетерогенного фазового перехода. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
16. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И. К вопросу определения критических значений перенасыщения в случае гетерогенной нуклеации. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
17. Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., С., Кокрашвили Т.Г. Влияние пересыщения пара на процесс гетерогенной нуклеации. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 47, Тбилиси, «Мецниереба», 1980, с. 18-30.
18. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Андросенко В.Я., Бибилури Л.Ш., Блиадзе Т.Г., Григоров Н.О., Окуджава А.М. Льдообразующая активность струи пересыщенного водяного пара. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, «Мецниереба», 1984, с. 75-80.
19. Качурин Л.Г., Карцивадзе А.И., Андросенко В.Я., Григоров Н.О., Окуджава А.М., Блиадзе Т.Г. Исследование льдообразующей активности некоторых реагентов при диспергировании их в сверхзвуковой струе пересыщенного водяного пара. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, Тбилиси, «Мецниереба», 1984, с. 74-79.
20. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М. Гетерогенная нуклеация льда. Тбилиси, «Мецниереба», 1984, 140 с.
21. Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Чихладзе В.А. Установка для исследования роста и таяния градин и некоторые предварительные результаты опытов, проведённых в ней. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР т. XL, Тбилиси, «Мецниереба», 1977, с. 13-21
22. Карцивадзе А.И., Лапинскас В.А., Лукин Ю.М., Окуджава А.М., Савостин П.С., Унгиадзе Н.М., Центрадзе М.В., Шавердов Г.Ш. Лабораторный комплекс для моделирования физических процессов образования облаков и осадков. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. XL, Тбилиси, «Мецниереба», 1977, с. 5-12.
23. Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Зеделашвили Т.Г. Экспериментальный комплекс института геофизики АН ГССР для моделирования процессов, протекающих в облаках. Всесоюз. конф. по физ. обл. и акт. возд. на них, Обнинск, 1979.
24. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. Laboratory modelling of the transformation of microphysical and electrical properties of artificial water fogs. Proc. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, p. 333-335
25. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations. Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, p. 54-55.
26. Блиадзе Т.Г., Окуджава А.М., Салиашвили Т.Н. Влияние электрических зарядов капель на скорость роста свободно взвешенных моделей градин. Тез. док. симп. КАПГ «Взаимосвязь региональных и глобальных процессов в атмосфере и гидросфере», Тбилиси, «Мецниереба», 1988.
27. Блиадзе Т.Г. Скорость роста градин при различной влажности и температуре искусственной облачной среды, Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 219–222.
28. Блиадзе Т.Г. Физические характеристики градин при различных режимах их роста. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 223–229.
29. Блиадзе Т.Г. Связь скорости роста размеров и массы градин с температурой и влажностью моделируемой облачной среды. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 178-185.
30. Блиадзе Т.Г. Исследование интегрального коэффициента захвата облачных частиц градинами при различных условиях их роста. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 186-195.
31. Блиадзе Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М., Салуквадзе Т.Г. К вопросу об исследовании аэродинамических характеристик свободно падающих градин, Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 44, Тбилиси, «Мецниереба», 1978, с. 112-118.

32. Gzirishvili T.G. An Aerosol Ice-Forming Activation Mechanism. J. Rech. Atmos., 19, No (2-3), 1985, p. 309-314.
33. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г. Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии. Результаты исследований по международным геофизическим проектам, МГК, М., 1988, 114 с.
34. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере. Тбилиси, «Мецნიერება», 1991, 113 с.
35. 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.

**სეტყვის ზრდისა და დნობის, წვეთების გაყინვისა და ყინულის ჰეტეროგენური ნუკლეაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება**

**გველესიანი ა., ორჯონიკიძე ა., ხუროძე თ.**

**რეზიუმე**

წარმოდგენილია საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტში სეტყვის მარცვლების ზრდის და ლღვობის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირების, წვეთების გაყინვის და ყინულის ჰეტეროგენული ნუკლეაციის დარგში ჩატარებული ნამუშევრების მნიშვნელოვანი რაოდენობის მიმოხილვა.

**EXPERIMENTAL SIMULATION OF THE PROCESSES OF GROWTH AND THAWING OF HAIL STONES, FREEZING OF DROPS, HETEROGENEOUS NUCLEATION OF ICE**

**Gvelesiani A., Orjonikidze A., Khurodze T.**

**Abstract**

The work gives a survey of significant number of works on the experimental simulation of the processes of growth and thaw of hail stones, freezing of drops and heterogeneous nucleation of ice, conducted at Institute of Geophysics of the Academy of Science of Georgia.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РОСТА И ТАЯНИЯ ГРАДИН, ЗАМЕРЗАНИЯ КАПЕЛЬ, ГЕТЕРОГЕННОЙ НУКЛЕАЦИИ ЛЬДА**

**Гвелесиани А.И., Орджоникидзе А.А., Хуродзе Т.В.**

**Реферат**

Представлен обзор значительного количества работ по экспериментальному моделированию процессов роста и таяния градин, замерзания капель и гетерогенной нуклеации льда, проводимых в Институте геофизики АН Грузии.

---

---

## ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА В ИНСТИТУТЕ ГЕОФИЗИКИ им. М. НОДИА

<sup>3</sup>Апхаидзе А.А., <sup>2</sup>Балавадзе А.Ш., <sup>1</sup>Никифоров Г.В.,  
<sup>1</sup>Харчилава Дж.Ф., <sup>1</sup>Чаидзе Г.П.

<sup>1</sup>*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, nikiforov\_48@bk.ru*

<sup>2</sup>*Министерство образования и науки Грузии*

<sup>3</sup>*Тбилисский авиационный университет*

Озон в атмосфере является весьма важной ее малой газовой составляющей, во многом определяющей климат Земли, а также эволюцию биосферы. С начала семидесятых годов прошлого столетия в Институте геофизики АН Грузии начаты исследования связи содержания озона в атмосфере с другими атмосферными процессами. Эти исследования проводились в сотрудничестве с Московским государственным университетом им. М. И. Ломоносова (А. Х. Хргиан) и Центральной аэрологической обсерваторией (А.С. Бритаев). Несколько позднее к этим исследованиям активно подключился А.И. Карцивадзе [1-3].

Исследования, проведенные на первом этапе работ, позволили показать, что с прохождением холодных фронтов общее содержание озона (ОСО) в атмосфере возрастает, а при прохождении теплых фронтальных разделов отмечается обратная картина. Изучение влияния барических полей на ОСО в атмосфере позволило выявить, что с высотными циклонами и ложбинами связано его повышение, а при антициклонных условиях высотных барических гребнях отмечается уменьшение ОСО. Установлено, что слева от оси струйного течения ОСО в атмосфере повышается, а справа – убывает. Наиболее резко это наблюдается, если струя направлена вдоль параллели. В случае меридиального расположения оси указанных струй эффект выражен слабее. Найдено, что нисходящим движениям, охватывающим нижнюю часть стратосферы и верхнюю часть тропосферы, соответствует повышение ОСО, а восходящим – его понижение. Во внутримассовых условиях, в период, предшествующий развитию грозных явлений, отмечается усиление ОСО [1,2,4].

На втором этапе работ озонметрические исследования в Институте геофизики были направлены на изучение связи содержания озона в атмосфере с грозово-градовыми явлениями. Эти исследования показали, что за 1-6 часов до начала грозово-градовых процессов отмечается повышение ОСО, что может служить прогностическим признаком этих явлений. В дни с массовыми градовыми явлениями концентрация озона в атмосфере оказывается значительно ниже, чем в дни с интенсивными грозами, но без града, и в дни с хорошей погодой [2].

Сопоставление данных радиолокационных измерений с данными озонметрических измерений показало, что изменение концентрации приземного озона (КПО) вблизи от конвективных облаков происходило синфазно с изменением высоты радиоэха от них [2,5-13].

На стадии развития конвективных облаков в приземном слое атмосферы, вблизи от их основания, отмечается резкое убывание концентрации озона, а на стадии выпадения конвективных осадков и их диссипации, концентрация озона в приземном слое воздуха резко возрастает. Указанные эффекты объясняются связью концентрации приземного озона с вертикальными движениями в атмосфере. Установлена связь концентрации приземного озона с температурной стратификацией атмосферы, в частности с наличием или отсутствием температурных инверсий [2,4,11].

Лабораторные опыты, проведенные в термобарокамере Института геофизики АН Грузии, показали, что в озонированной среде аэрозоли инактивных веществ приобретают существенную льдообразующую активность [2,15].

Сопоставление результатов лабораторного эксперимента с данными полевых наблюдений, указывающих на низкое содержание озона в градовых условиях и высокого его содержания при интенсивных грозах, не сопровождающихся градом, позволило выдвинуть гипотезу, согласно которой отсутствие града при интенсивных грозах должно быть вызвано интенсивным самозасевом градоопасных облаков естественными льдообразующими аэрозолями, активированными атмосферным озоном, обильно возникающим в облаках при грозовых разрядах [2,6,16,17].

С помощью самолета-лаборатории проведено исследование распределения озона в развивающихся конвективных и слоистых облаках, а также в свободной атмосфере. Это исследование позволило установить, что в развивающихся облаках содержание озона значительно больше, чем в свободной атмосфере, а в слоистых облаках всегда ниже, чем в свободной атмосфере [2,18].

Были подробно изучены долговременные вариации общего содержания озона (ОСО) в Грузии, построены карты распределения ОСО над ее территорией и прилегающими регионами (Одесса, Самара, Ашхабад, Алма-Ата), отмечено наличие отрицательных трендов ОСО как для среднесезонных, так и среднегодовых значений [17,19,20].

Отмечалась важность мониторинга ОСО озона в Грузии как важной составляющей мировой сети озонметрических измерений [21,22]. Начато изучение вариаций общего содержания озона в аспекте солнечно-земных связей [23].

На основании данных оптических и электрохимических озонзондирований атмосферы были получены профили вертикального распределения озона над различными районами Грузии. В частности было установлено, что грозовые процессы, струйные течения и вторжение воздушных масс создают слоистую структуру вертикального профиля озона. Важным фактором переноса озона из одного слоя атмосферы в другой является турбулентность [2,24-26].

Значительная часть исследований была посвящена изучению особенностей вариаций концентрации приземного озона (КПО) в зависимости от места измерения и метеорологических параметров. На примере Тбилиси и Руиспири было подробно изучено влияние метеорологических факторов (температура и влажность воздуха, скорость ветра и др.) на содержание КПО в городской и сельской местности, проведен подробный статистический анализ данных о КПО для этих пунктов измерения. Исследована статистическая структура изменчивости средних годовых, полугодовых и месячных значений концентрации приземного озона (КПО) в Тбилиси в 1984-2012 гг. Выделены тренды (полиномы четвертой степени) и случайные составляющие временных рядов среднегодовых и полугодовых значений КПО. Проведен анализ ежегодных скоростей изменения средних годовых и полугодовых значений КПО в указанный период времени. Изучены особенности изменчивости среднемесячных значений КПО по семилетним периодам времени [2, 27-42].

Измерения КПО в местности с геологическими разломами показали повышенное содержание озона над разломами. Это, видимо, указывает на наличие литосферного озона, поступающего в атмосферу через геологические разломы из недр Земли [2].

Ряд работ был посвящен исследованиям связей КПО с атмосферными аэрозолями, условиям образования фотохимического смога в Тбилиси, роли озона как индикатора загрязнения воздуха [2, 43-45].

Ранние комплексные исследования влияния загрязнений атмосферы и концентрации приземного озона на рост различных заболеваний и смертности, в том числе по поводу сердечно-сосудистых заболеваний [2,46-48], явились основой для крупномасштабных исследований процессов образования фотохимического смога и озона в Тбилиси и их влияния на здоровье людей, которые были проведены в рамках проекта GNSF/ST/5-437 [45,49].



Изучено влияние содержания приземного озона на смертность. Показано, что в условиях города Тбилиси концентрация приземного озона  $50 \text{ мкг/м}^3$  и выше очень негативно влияет на здоровье людей и приводит к росту смертности [45,50].

Представлен общий статистический анализ значений всех измеренных параметров вне зависимости от условий погоды. В частности, в 2009-2011 гг. концентрация приземного озона менялась от 0 до  $166 \text{ мкг/м}^3$ , суммарная концентрация легких ионов – от 215 до  $3397 \text{ см}^{-3}$ , содержание радона в воздухе – от 0.4 до  $19.6 \text{ Бк/м}^3$ , концентрация субмикронных аэрозолей – от 110 до  $95480 \text{ см}^{-3}$ .

Изучена изменчивость за последние 30 лет концентрации приземного озона, солнечной радиации, дальности видимости и аэрозольной оптической толщи атмосферы. Так, например, изменчивость концентрации приземного озона в 1984-2011 гг. происходила в соответствии с полиномом четвертой степени. В общем, с 1984 по 1997-1998 гг. происходил рост концентрации озона, затем – до 2006-2007 гг., уменьшение и в 2008-2011 гг. – вновь рост. Интенсивность прямой и суммарной солнечной радиации в 2010-2011 гг. практически не отличается от тех же данных для 1980-1992 гг.

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.

Представлены карты пространственного распределения озона, аэрозолей, легких ионов, радона и гамма-излучения почвы. Показано, что по данным стационарного пункта измерений можно оценить уровень загрязненности воздуха города Тбилиси в целом. Разработана ультракраткосрочная (2-5 часов) и краткосрочная (12 часов) статистические модели прогнозирования смогового озона, оправдываемость которых составляет 64-78 %.

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

По данным 1984-2010 гг. выявилось, что повышенные концентрации приземного озона (а также сопутствующих ему вредных для здоровья людей компонентов смога) в среднем увеличивают среднегодовую смертность населения г. Тбилиси на 1680 человек. Это составляет 14.1 % от среднегодовой смертности населения города, что в 3 раза выше, чем для тех же параметров в развитых странах. Установлено, что в последние годы по сравнению с восьмидесятью годами прошлого столетия, население г. Тбилиси стало более чувствительным к загрязнению воздуха (негативные эффекты для здоровья людей и случаи летального исхода происходят при более низких концентрациях приземного озона) [45,50].

Как известно, озон в определенных дозах проявляет бактерицидное действие и таким образом является полезной примесью в воздухе, однако выше определенной критической концентраций он опасен как для людей, так и для окружающей среды. Особенно чувствительны к озону люди, страдающие сердечно-сосудистыми заболеваниями. В современных загрязненных урбанизированных районах больших городов часто наблюдаются закритические концентрации озона. В Институте геофизики была проведена серия экспериментов с целью найти способ воздействия на озон высоких концентраций. Для воздействия использовались воды разной минерализаций и паро-водяная смесь. На основании проведенных предложена предварительная методика воздействия на высокие концентрации озона с целью ее уменьшения, которую необходимо испытать в естественных условиях [45,51].

В последние годы рассмотрена методология определения распределения содержания озона в нижней тропосфере над территорией Грузии по данным спутниковых и наземных измерений в Тбилиси. Приведены схематические картины 2D и 3D распределений содержания озона в 2.5-километровом слое атмосферы, над территорией Грузии и сопредельных стран [52-54].

## Литература

1. Институт геофизики – 50 (под редакцией Б.К.Балавадзе). Тбилиси, “Мецниереба”, 1983, с. 94-116.
2. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г. Исследование вариаций атмосферного озона в Грузии. Результаты исследований по международным геофизическим проектам, Москва, МГК, 1988, 114 с.
3. Kartsivadze A., Kharchilava D., Gzirishvili T., Britaev A., Mukhraneli I. On the Connection Between the Ozone Content in the Atmosphere and Thunderstorm-Hail Phenomena. Joint Simp. On Atmospheric ozon (IAOC/CACCP), Dresden, GDR, 1972.
4. Харчилава Д.Ф., Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Мухранели И.А., Нодия А.Г., Балавадзе А.Ш., Мургулия Н.К., Бритаев А.С., Плессинг П., Герсдорф М. Результаты исследования атмосферного озона в Грузии. Матер. Докл. Рабочего Совещания по исследованию атмосферного озона, Тбилиси, “Мецниереба” 1982, с. 6-32.
5. Карцивадзе А.И., Бритаев А.С., Харчилава Д.Ф. О связи между концентрацией приземного озона и высотой радиоэха от конвективных облаков. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР т. XL, Тбилиси, “Мецниереба”, 1977.
6. Kartsivadze A.I., Kharchilava D. Th., Britaev A.S., Gzirishvili T.G., Nodia A.G., Amiranashvili A.G. On the connection of ozone content with the life cycle of thunderstorms. IAGA/IAMAP, Journ. Atm. Res., Seattle, Aug. 22 – Sept. 6, 1977, MA248.
7. Харчилава Дж.Ф., Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г. О некоторой связи между содержанием озона в атмосфере и грозо-градовыми явлениями в условиях Восточной Грузии. Труды Всесоюзного совещания по озону, 1980, с. 230 – 234.
8. Карцивадзе А.И., Харчилава Дж.Ф. Об изменчивости содержания озона при грозовой ситуации. Труды Всесоюзного совещания по озону, 1980, с. 234 – 239
9. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Трофименко Л.Т., Харчилава Д.Ф. Исследование взаимосвязей между грозовыми процессами и содержанием озона в условиях Восточной Грузии. Атмосферный озон. Тр. Всесоюзн. конф. по атмосферному озону, Суздаль, октябрь 1988, М., М.О. Гидрометеоиздата, 1990, с. 215-218.
10. Kharchilava J. Surface Ozone Concentration Variation Under Thunder clouds. Journ. of Geophysics and the Georgian Geophysical Society, Iss. V., Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, vol. 14B, ISSN 1512-1127, Tbilisi, 2010, p. 154-157.
11. Харчилава Дж.Ф., Кекенадзе Е. Исследование изменений концентрации приземного озона в перифериях грозового облака. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с.174-176.
12. 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.
13. Харчилава Дж.Ф., Чихладзе В.А. Изменение концентрации приземного озона в селе Руиспири в грозовые и градовые дни. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 196-201.
14. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А. Влияние озона на температуру и влажность воздуха в приземном слое атмосферы, Материалы научной конференции , посвященной 90-летию со дня рождения Ф.Ф. Давитая, Тбилиси, 17-19 сентября, 2001, с. 64-65.
15. Гзиришвили Т.Г., Карцивадзе А.И., Окуджава А.М. Гетерогенная нуклеация льда. Тбилиси, “Мецниереба” 1984, 140 с.
16. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г. Аэрозоли и ледяные кристаллы в атмосфере, Тбилиси, «Мецниереба», Тб., 1991, 113 с.
17. 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.

18. Карцивадзе А.И., Харчилава Д.Ф., Апхаидзе А.А., Балавадзе А.Ш., Мухранели И.А. Некоторые данные о содержании озона в слоистых и развивающихся конвективных облаках. II Всесоюз. сим. по соврем. пробл. атм. озона, Тбилиси, 1978.
19. 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.
20. 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, p. 53-55.
21. Amiranashvili A.G. National Report on ongoing and planned ozone research and monitoring and on calibration and archiving of measurements in Georgia. Report of the 5<sup>th</sup> meeting of the ozone research managers of the parties to the Vienna Convention for the protection of the ozone layer, Geneva, March 25-27, 2002, 12, p. 83-85.
22. Amiranashvili A.G. National Report on Existing and Planned Activities Relating to Ozone Research and the Monitoring, Calibration and Archiving of Measurements; and on UV-B Monitoring and Initiatives Aimed at the Prevention of UV-B and Sun-Related Injuries in Georgia. Report of the 6<sup>th</sup> meeting of the ozone research managers of the parties to the Vienna Convention for the protection of the ozone layer, Vienna, Austria, September 19-21, 2005, 48, p. 129-133.
23. Чхетия А.М., Харчилава Дж.Ф. К вопросу исследования вариации общего содержания озона в аспекте проблемы Солнечно-земных связей. Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодиа АН Грузии, ISSN 1512-1135, т. 58, Тбилиси, 2004, с. 215-223.
24. 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.
25. 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.
26. 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, ISBN 99928-885-4.7, მონოგრაფია, 2006, 177 გვ.
27. Харчилава Д.Ф., Карцивадзе А.И., Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Джинчарадзе А.Х., Мухранели И.А., Цицкишвили М.С. О некоторых причинах возмущения плотности приземного озона в городской и сельской местности. Атмосферный озон, Тр. 6-го Всесоюзн. Симп., Ленинград, 15-17 мая 1985, Л., Гидрометеиздат, 1987, с. 288-294.
28. Харчилава Д.Ф., Ломая О.В., Амиранашвили А.Г., Пичхая Т.Е. Вариации приземного озона в условиях Тбилиси. Сб. научн. тр. "Фотохимические процессы земной атмосферы", М., Наука, 1990, с. 227-231.
29. Харчилава Д.Ф., Амиранашвили А.Г., Чихладзе В.А. Некоторые результаты исследований концентрации приземного озона в Руиспири и Тбилиси в 2002 году, Сб. докл. 3-ей Межд. конф "Состояние и охрана воздушного бассейна и водно-минеральных ресурсов курортно-рекреационных регионов", Кисловодск, 21-24 апреля 2003, с. 37-38.
30. Чихладзе В.А. Результаты исследований вариаций концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 гг. Тр. Ин-та геофизики АН Грузии, т. 58, Тбилиси, 2004, с. 182-186.
31. Amiranashvili A., Amiranashvili V., Chikhladze V., Kharchilava J., Kartvelishvili L. The statistical analysis of average seasonal, semi-annual and annual values of surface ozone concentration in Tbilisi in 1984-2003. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B.

- Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 12B, Tbilisi, 2008, p. 45–48.
32. Харчилава Дж.Ф. Исследование изменчивости концентрации приземного озона при разных погодных условиях в двух различных – экологически чистой и загрязненной точках г. Тбилиси. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 263-269.
  33. Харчилава Дж.Ф. Изменчивость концентрации приземного озона в городских и сельских условиях в зависимости от сезона и погодных условий. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 270-276.
  34. Чихладзе В.А. Анализ изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2003 гг. Тр. Ин-та геофизики, т. 60, 2008, Тбилиси, 2008, с. 295 - 305.
  35. Amiranashvili A., Kharchilava J., Chikhladze V. Statistical Characteristics of Surface Ozone Concentration in Ruispiri in 2006-2009. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue V. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, p. 55–64.
  36. Харчилава Дж.Ф., Кекенадзе Э., Багашвили Н. Суточная и годовая изменчивость концентрации приземного озона в селе Руиспири в условиях различной погоды. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 61, Тбилиси, 2009, с. 195-200.
  37. Харчилава Дж.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М. Анализ корреляционных связей концентрации приземного озона (КПО) в 15 часов со средними значениям КПО различного временного осреднения по дневным данным. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 61, Тбилиси, 2009, с. 201-207.
  38. Чихладзе В.А., Хазарадзе К.Р., Челидзе Л.Т. Вариации повторяемости среднечасовых концентраций приземного озона (КПО) в Тбилиси. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 61, Тбилиси, 2009, с.208-215.
  39. Чихладзе В.А. Изменчивость среднечасовых и часовых значений концентрации приземного озона в Тбилиси в 1980-2003 гг. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с.160 – 168.
  40. Харчилава Д.Ф., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхаидзе Г.П. Особенности изменчивости концентрации приземного озона в Тбилиси в 1984-2012 гг. Тр. Института Гидрометеорологии Грузинского Технического Университета Грузии, ISSN 1512 – 0902, т.119, Тбилиси, 2013, с. 100-103.
  41. Харчилава Дж., Багашвили Н., Чихладзе В. Исследование вариаций концентрации приземного озона в экологически чистой среде. Международная конференция “Актуальные проблемы геофизики”. Материалы научной конференции, посвященной 80 – летию со дня основания Института геофизики. Тбилиси, 2014, с. 187-192.
  42. Kharchilava J., Chikhladze V., Chargazia Kh. Changeability of surface ozone concentration in Tbilisi in last 30 year. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, p. 23-29.
  43. Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Киркитадзе Д.Д., Никофоров Г.В., Нодиа А.Г., Харчилава Д.Ф., Чанкветадзе А.Ш., Чихладзе В.А., Чочишвили К.М., Чхаидзе 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, Тбилиси, 2010, с. 189-196.
  44. 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 100<sup>th</sup> Birthday Anniversary of Academician F. Davitaya, Collected Papers New Series, N 3(82), ISSN 2333-3347, Tbilisi, 2011, p. 123-127.
  45. ამირანაშვილი ა., ბლიადე თ., ჩიხლაძე ვ. ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში. მონოგრაფია, ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდია გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტომი 63, თბილისი, 2012, 160 გვ.

46. 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. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Ecology and Environmental Management in Caucasus, Tbilisi, Georgia, October 6-7, 2001, p. 80-82.
47. Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Харчилава Д.Ф., Таварткиладзе К.А.,Торшелидзе Т.И., Габедова 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.
48. Амиранашвили А., Чихладзе В., Киркитадзе Д., Тархнишвили Л., Амиранашвили Г., Чихладзе А. Радиационные риск-факторы и безопасность населения, Тбилиси, 2005, 32 с., <http://dspace.nplg.gov.ge/handle/1234/18488>
49. Амиранашвили А.Г., Чихладзе В.А., Блиадзе Т.Г. 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, Тбилиси, 2010, с. 177–188.
50. 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, p. 31-38.
51. Амиранашвили А.Г., Блиадзе Т.Г., Чихладзе В.А. 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.
52. 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 4<sup>th</sup> Ukrainian Conference on Space Research, Uzhgorod, September, 8-12, 2014, Abstracts, Kyiv, 2014, p. 161.
53. 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, p. 26-37.
54. 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, p. 54-58.

**მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფერული ოზონის კვლევების  
შესახებ**

**აფხაიძე ა., ბალავაძე ა., ნიკიფოროვი გ., ხარჩილავა ჯ., ჩხაიძე გ.**

**რეზიუმე**

მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფერული ოზონის კვლევები (ოზონის მთლიანი შემცველობა, მისი ვერტიკალური განაწილება, მიწისპირა ოზონის კონცენტრაცია) ტარდება ოთხ ათწლეულზე უფრო მეტ ხანს. წარმოდგენილია ამ კვლევების მიმოხილვა.

**ON THE STUDIES OF ATMOSPHERIC OZONE IN M. NODIA INSTITUTE OF  
GEOPHYSICS**

**Apkhaidze A., Balavadze A., Nikiforov G., Kharchilava J., Chkhaidze G.**

**Abstract**

Studies of atmospheric ozone (total ozone content, its vertical distribution, surface ozone concentration) have been conducted for more than four decades at M. Nodia Institute of Geophysics. The review of these investigations is presented.

**ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ АТМОСФЕРНОГО ОЗОНА В ИНСТИТУТЕ  
ГЕОФИЗИКИ ИМ. М. НОДИА**

**Апхаидзе А.А., Балавадзе А.Ш., Никифоров Г.В., Харчилава Дж.Ф., Чхаидзе Г.П.**

**Реферат**

Исследования атмосферного озона (общее содержание озона, его вертикальное распределение, концентрация приземного озона) в Институте геофизики им. М. Нодиа проводятся более четырех десятилетий. Представлен обзор этих исследований.

მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დახურული  
კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა

<sup>1</sup>კერესელიძე ზ., <sup>2</sup>შერგილაშვილი გ.

*ი.ჯავახიშვილის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მნოდიას  
გეოფიზიკის ინსტიტუტი  
²შპს ორიონი სტუდია*

**შესავალი.** ნებისმიერი ჰიდროტექნიკური ნაგებობის პროექტი აუცილებლად უნდა შეიცავდეს ობიექტის ექსპლოატაციის სპეციფიკითა და ბუნებრივი გარემო პირობების ცვლილებით გამოწვეული ნეგატიური ჰიდროდინამიკური ეფექტების სრულფასოვან ანალიზს. ცხადია, რომ ამ თვალსაზრისით არ შეიძლება გამოწვევის ყოფილიყო ვერეს ხეობაში რეალიზებული ჩქაროსნული საავტომობილო მაგისტრალის პროექტი. ამ მშენებლობამ მოითხოვა ხეობის ქვედა ნაწილში მდინარის ბუნებრივი ღია კალაპოტის ცვლილება ხელოვნური დახურული კალაპოტით, რომელიც წარმოადგენს ადრე არსებული ორი გვირაბისა და შვიდი ახალი ერთობლიობას საერთო სიგრძით 2100 მ. ყველა გვირაბი წარმოადგენდა გოფირებული ფოლადისა მილებისა და დარკინაბეტონის ნახევარწრიული თაღების კომბინაციას. ამის შედეგად შეიცვალა ვერეს ბუნებრივი კალაპოტის გეომეტრია და დროთა განმავლობაში წყალმოვარდნების პროცესში ჩამოყალიბებული პოტენციური განივი კვეთი. პროექტის დასრულების შემდეგ დახურული კალაპოტი წარმოადგენდა კომბინირებულ ნაგებობას. კერძოდ, განხრციელდა ძველი გვირაბების მოდერნიზაცია მათი გადაბმით ახალ გვირაბებზე. ამის შედეგად თამარაშვილის მაგისტრალის ქვეშ გამავალი გვირაბის სიგრძემ, საწყისი 108 მეტრის მაგიერ, შეადგინა  $\approx 360$  მ. ასევე, გმირთა მოედნის ქვეშ მტკვრისაკენ გამავალი 700 მეტრი საწყისი სიგრძის მქონე გვირაბი დაგრძელდა  $\approx 500$  მეტრით.

მდინარეებისა და სხვადასხვა დანიშნულების მქონე ჰიდროტექნიკური ობიექტების მსგავსად, ვერეს დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური პარამეტრების შეფასებისათვის და წყლის ხარჯის დასადგენად საჭიროა გამოვიყენოთ წყალგამტარის კალაპოტის აპროქსიმაცია წრიული კვეთის მქონე მილით. ასეთი მეთოდი იძლევა ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპის გამოყენების საშუალებას, რაც განსაკუთრებით მოსახერხებელია რადიალური სიმეტრიის მიახლოებაში. ცნობილია, რომ მილის დიამეტრის ზრდასთან ერთად ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპი შეიძლება დაირღვეს. მაგრამ, თეორიულად შეუძლებელია წრიული მილის

დიამეტრის (რადიუსის) კრიტიკული ზომის დადგენა, რადგანაც უცნობია რაოდენობრივი ცვლილების თვისობრივში გადასვლის ზუსტი ჰიდროდინამიკური კრიტერიუმი. თუმცა, ფიზიკური მოსაზრებით, აშკარაა, რომ მილის დიამეტრის ზრდასთან დაკავშირებული ცთომილება შეიძლება გამოწვეული იყოს რამდენიმე მიზეზით. პირველ რიგში, ეს შეიძლება გამოიწვიოს კრიტიკულ მნიშვნელობაზე გაცილებით უფრო დაბალმა წყლის ხარჯმა, ანუ მილის არასრულმა დატვირთვამ. ასეთ შემთხვევაში მილის განივი კვეთის მხოლოდ ქვედა ნაწილში ყალიბდება სასაზღვრო ფენა, რომლის პარამეტრები (სისქე, წყლის სიჩქარის განაწილების პროფილი) ნაკლებად შეესაბამება მილის კვეთის მთელი პერიმეტრის შესაბამისი მრუდი ზედაპირის გარსდენას. ამიტომ, რადიალური სიმეტრია დაირღვევა და მილში დინება დაემსგავსება დინებას ბრტყელი ფუძის მქონე არხში. ეს ეფექტი აუცილებლად არის დაკავშირებული ლამინარული დინების ტურბულენტურში გადასვლის მომენტის მახასიათებელი განუზომელი კრიტერიუმის, რეინოლდსის რიცხვის, სიდიდის ცვლილებასთან. სწორედ ეს რიცხვი წარმოადგენს ჰიდროდინამიკური მსგავსების მთავარ პარამეტრს. თუმცა, მილის არასრული დატვირთვის შემთხვევაში, წყლის ხარჯი იმდენად დაბალი შეიძლება იყოს, რომ ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპის დარღვევა საგრძნობი არც აღმოჩნდეს. პრაქტიკაში ხშირად არსებობს წყლის ხარჯის მართვის შესაძლებლობა, მაგალითად, მარეგულირებელი წყალსაცავის საშუალებით, რაც რეალურად ტურბულენტობის დონის რეგულაციის საშუალებას იძლევა. ასეთ შემთხვევაში ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპი შეიძლება არც კი დაირღვეს. მაგრამ, მდინარე ვერეს დახურული კალაპოტი წარმოადგენდა არარეგულირებად ჰიდროტექნიკურ ობიექტს. ამიტომ, დახურული კალაპოტის კონსტრუქციის სპეციფიკასთან დაკავშირებული ჰიდრაულიკური რისკების შეფასება მკაცრი თვისობრივ-რაოდენობრივი ანალიზის საშუალებით, სრულიად ბუნებრივი მოთხოვნა იყო. მით უმეტეს, რომ, ვერეს წყალშემკრები აუზის ჰიდროლოგიურ პარამეტრებზე მრავალწლიანი დაკვირვებების მონაცემებიდან გამომდინარე, არსებობდა ძლიერი წყალმოვარდნის პერმანენტური მოლოდინი. ამ შემთხვევაში რთული წარმოსადგენი არ უნდა ყოფილიყო, რომ დახურულ კალაპოტს ექსტრემალურ პირობებში გარდაუვლად მოუწევდა მუშაობა სრული დატვირთვით. ამავე დროს ცნობილია, რომ განვითარებული ტურბულენტობის რეჟიმში მილის სრული დატვირთვა სულაც არ ნიშნავს მის მაქსიმალურ გამტარუნარიანობას. სწორედ ამის დადასტურებას ემსახურება 2015 წლის 13 ივნისის კატასტროფული წყალმოვარდნის ჩვენს მიერ წარმოდგენილი ანალიზი.

**ვერეს დახურული კალაპოტის კონსტრუქციული თავისებურება.** ასეთი ტიპის დახურული კალაპოტის ძირითად მზიდ კონსტრუქციას წარმოადგენს თალი, რომლის მახასიათებელ თავისებურებას წარმოადგენს საყრდენებზე, ვერტიკალურის გარდა, თარაზული განმბჯენი ძალების გადაცემა და ძირითადად კუმშვაზე მუშაობა. კალაპოტის აგებისას



გამოიყენება შემდეგი ტექნოლოგია: გოფირებული ფოლადის მონაკვეთები ეყრდნობა რკინაბეტონის საძირკველს, მონტაჟდება რკინაბეტონის პორტალები. შემდეგ კალაპოტი ზემოდან, საკმაოდ რთული ტექნოლოგიით, იტკეპნება სპეციალური გრუნტით. ამრიგად, სამონტაჟო სამუშაოების დამთავრების შემდეგ მკუმშავ ძალებს მთლიანად იღებს გრუნტი და გოფირებული ფოლადი მხოლოდ ლოკალური დამცველი ყალიბის ფუნქციას ასრულებს. ამ ტიპის თაღოვანი გვირაბები და ხიდები, თავისი ტექნიკურ-ეკონომიკური მონაცემებით, არ ჩამოუვარდება ანალოგიური გაბარიტების ქვის, რკინაბეტონისა და ლითონის ხიდებსა და გვირაბებს. ამიტომ, მშენებლობის დაბალი ღირებულების, ნაკლები შრომატევადობის, ტექნოლოგიის სიმარტივისა და სამშენებლო-სამონტაჟო სამუშაოების წარმოების შედარებით მცირე დროის გამო, კონსტრუქციები, რომლებშიც გამოყენებულია გოფირებული ფოლადი, ნაკლებად მდიდარი ქვეყნებისათვის ზოგადად მისაღებია. გარდა ამისა, გოფირებული ფოლადის თაღოვანი გვირაბებსა და ხიდებს გააჩნიათ გარკვეული უპირატესობა სეისმურად საშუალოდ აქტიურ რაიონებში, რაც განპირობებულია მათი უნარით მყისიერად არ ჩამოზღვავდნენ და საკმაოდ ნელა ჩაიშალონ (ჩაწვეს) ძლიერი და ხანგრძლივად მომქმედი მიწისქვეშა ბიძგების შემთხვევაში. სამშენებლო პრაქტიკაში რღვევის ასეთი ფორმა ხშირად გადამწყვეტ როლს თამაშობს კონსტრუქციების შერჩევისას, რადგანაც თითქმის გამორიცხავს ფატალურ შედეგს. მაგრამ, მკვეთრად უარყოფითად უნდა შეფასდეს ის ფაქტი, რომ 7-8 ბალიანი მიწისძვრის შემდეგ გოფირებული ფოლადის თაღოვანი გვირაბებისა და ხიდების აღდგენა პრაქტიკულად შეუძლებელია. ამიტომ, მიუხედავად იმისა, რომ მსგავსი ტექნოლოგიით სხვადასხვა ნაგებობები საკმაოდ დიდი რაოდენობით არის აშენებული მთელს მსოფლიოში, მათი სიგრძე ჩვეულებრივ მცირეა. როგორც წესი, მათ იყენებენ მდინარეებისა და ხევების გადაკვეთისათვის და არა ბუნებრივი კალაპოტების საკმაოდ დიდ დისტანციაზე გვირაბებში მოსაქცევად.

**ვერეს დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობისა და გამტარუნარიანობის მოდელირება.** როგორც უკანასკნელმა კატასტროფულმა წყალმოვარდნამ აჩვენა, ვერეს დახურული კალაპოტის კონსტრუქცია ტექნიკურად საკმარისად სრულყოფილი არ აღმოჩნდა ექსტრემალური დატვირთვის შემთხვევაში. კერძოდ, ასეთი ხარვეზი, დიდი ალბათობით, გამოიწვია კალაპოტის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კრიტიკულმა გაზრდამ. ამ ნეგატიური ეფექტის არსში გარკვევისათვის მოვახდინოთ მდინარის კალაპოტის აპროქსიმაცია წრიული კვეთის მქონე მილით, რაც იძლევა ექსტრემალურ პირობებში წყლის ხარჯის ცვლილების შეფასების საშუალებას.

გამოვიყენოთ ლამინარული დინების მიახლოება და მილის სიმეტრიის ღერძი გავაიგივოთ დინების ცენტრალურ დენის წირთან. ბრტყელ-პარალელური, ან ცენტრალური სიმეტრიის მქონე, ლამინარული დინების შემთხვევაში ნებისმიერი დენის წირის გასწვრივ სამართლიანია ბერნულის განტოლება, რომელიც ამყარებს ანალიზურ კავშირს დინების დინამიკურ და სტატიკურ პარამეტრებს შორის. ეს განტოლება მნიშვნელოვნად მარტივდება მუდმივი ჰიდროსტატიკური წნევის შემთხვევაში [1]

$$p + \frac{\rho v^2}{2} = const , \quad (1)$$

სადაც  $p$  - წნევაა,  $\rho$  - წყლის სიმკვრივე.  $v$  - წყლის დინების მყისიერი სიჩქარე.

ლამინარული დინების მიახლოებაში საკმარისად მკაცრად სამართლიანია წყლის ხარჯის განმსაზღვრელი ხაგენ-პუაზეილის ფორმულა

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8\eta L} , \quad (2)$$

სადაც  $R$  - მილის რადიუსია,  $\eta$  - წყლის დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტი.  $L$ -სიგრძე. წყლის ხარჯის გარდა, საჭიროების შემთხვევაში ამ ფორმულიდან შესაძლებელია მილის განივ კვეთაში დინების მყისიერი სიჩქარის განაწილების პროფილის განსაზღვრა.

რადგანაც ლამინარულ მიახლოებაში სითხის დინების სტრუქტურა რეგულარულია (ფენოვანი), ერთი დენის წირიდან მეორეზე გადასვლა, ან დინების საწყისი პირობების ცვლილება, ნიშნავს (1) ტოლობაში მუდმივის სიდიდის ცვლილებას. აქედან გამომდინარეობს, რომ  $\Delta p \sim \Delta \frac{\rho v^2}{2}$ , რაც საკმარისად კორექტულია ლამინარული სტრუქტურის ნაწილობრივ აღრევის შემთხვევაშიც, რასაც ადგილი აქვს ტურბულენტური დინების განვითარების საწყის ეტაპზე. თუმცა, ტურბულენტური დინების დროს სითხის მყისი სიჩქარე უნდა შეიცვლოს საშუალო ჰიდროდინამიკური სიჩქარით.

ტურბულენტური დინებისათვის მილში წყლის ხარჯის მკაცრად განმსაზღვრელი ფორმულა არ არსებობს. ამიტომ, მიახლოებითი რაოდენობრივი შეფასებებისათვის გამოიყენება ფორმულა, რომელშიც მონაწილეობს ტურბულენტური დინების საშუალო სიჩქარე  $\bar{u}$

$$Q = \pi R^2 \bar{u} . \quad (3)$$

ერთგვაროვანი ლამინარული დინების დროს წნევათა სხვაობა მილის ერთეულოვან სიგრძეზე (წნევის გრადიენტი) მუდმივია:  $\Delta P/L$ . ეს პარამეტრი პირდაპირ უკავშირდება მხებ ძაბვას, რომელიც მოქმედებს ლამინარული სტრუქტურის შემადგენელ პარალელურად მოძრავი სითხის ფენებს შორის. ბლანტი სითხის ლამინარული დინების დროს მხები ძაბვა მაქსიმუმს აღწევს მილის კედელზე და გამოიხატება გამოსახულებით:  $\tau_0 = \frac{P_1 - P_2}{L} \frac{R}{2}$ . მხები ძაბვის ეს ფორმულა, ტურბულენტური დინების შემთხვევაში, ხაგენ-პუაზეილის ფორმულის მსგავსად, ტრანსფორმაციას განიცდის, რადგანაც ტურბულენტურ სითხეში წნევათა სხვაობის ცვლილება მილის რადიუსის გარდა, დაკავშირებულია ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტთან  $\lambda$  [1,2]

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

ამ ფორმულიდან გამოდინარეობს, რომ ტურბულენტური დინების დროს მხები ძაბვა მილის შიდა ზედაპირზე დამოკიდებულია სითხის საშუალო სიჩქარის კვადრატზე

$$\tau_0 = \frac{\lambda}{8} \rho \bar{u}^2 . \quad (5)$$

(4) ფორმულის საშუალებით შეიძლება აგრეთვე ხაგენ-პუაზეილის (2) ფორმულის მოდიფიკაცია ტურბულენტური დინებისათვის

$$Q = \frac{2\pi R^3 \lambda}{\nu} \bar{u}^2 , \quad (6)$$

სადაც  $\nu = \eta/\rho$ - სითხის (წყლის) სიბლანტის კინემატიკური კოეფიციენტი.

ერთი შეხედვით, (6) ფორმულის პრაქტიკული ღირებულება, (3)-თან შედარებით, უფრო მაღალია, რადგანაც ის მილის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის ცხადი სახით წარმოჩინების საშუალებას იძლევა. მაგრამ, რაოდენობრივი შეფასებებისათვის (6) გამოსახულების არაკორექტულმა გამოყენებამ შეიძლება მცდარ დასკვნამდე მიგვიყვანოს. კერძოდ, ქვემოთ მოყვანილი იქნება გამოსახულება (9), როგორც (6)-ის გამარტივებული ვარიანტი. ეს ფორმულა, თითქოს და, საკმაოდ შესაფერისია ექსტრემალურ პირობებში მილის გამტარუნარიანობის შეფასებისათვის. მაგრამ, ასეთი მოსაზრების სანდოობის დასადგენად საჭიროდ მიგვაჩნია ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის განმსაზღვრელი ცალკეული ფაქტორების მოკლე ფიზიკური ანალიზი.

მილში სითხის დინების ნებისმიერი რეჟიმის დროს რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობა განისაზღვრება მილის განივი კვეთის დიამეტრის საშუალებით:  $Re = \frac{\bar{u}D}{\nu}$ . ლამინარული დინების შემთხვევაში მილის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა ემორჩილება ბლაზიუსის კანონს:  $\lambda \approx 0.32 (Re)^{-1/4}$ . ასეთი დამოკიდებულება ზოგადად სამართლიანია ტურბულენტური დინების დროსაც. თუმცა, ამ შემთხვევაში შეიძლება წარმოჩინდეს დამატებითი ფიზიკური ფაქტორი, რომელს მოქმედების ეფექტურობა დამოკიდებულია მილის შიდა ზედაპირის სიგლუვის ხარისხზე. ამიტომ, გარსდენადი ზედაპირის ხაოიანობას განსაკუთრებული მნიშვნელობა ენიჭება, როგორც მილის წინააღმდეგობის განმსაზღვრელ ერთერთ მნიშვნელოვან ფაქტორს. საზოგადოდ, გარსდენადი ზედაპირების ხაოიანობის ნეგატიური ეფექტის რაოდენობრივი შეფასება წარმოადგენს ექსპერიმენტალური ჰიდროდინამიკის საგანს. კერძოდ, მილის შიდა ზედაპირის ხაოიანობის პრობლემა საკმარისი სისრულით არის გამოკვლეული როგორც თეორიულად, ასევე პრაქტიკულად [1,2]. მაგალითად, მილების შიდა ზედაპირის ხაოიანობა შესაძლებელია განაპირობოს როგორც მასალის სპეციფიკამ, ასევე სიგლუვის ხარისხმა. შიდა ზედაპირის უხეში დამუშავების გარდა, ხაოიანობა შეიძლება გამოიწვიოს აგრეთვე სითხის მიერ ტრანსპორტირებული მყარი სუბსტანციის დალექვამ მილის კედლებზე, რომელიც შეიძლება გააძლიეროს მილის არასწორხაზოვნმა გეომეტრიამ. 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 მილის შემთხვევაში ეს პარამეტრი მილის რადიუსის ტოლია. ნებისმიერი სხვა ფორმის კვეთის მქონე წყალსადინარის შემთხვევაში მისი მახასიათებელი ხაზოვანი ზომა იქნება ე.წ. ჰიდრავლიკური რადიუსი:  $R_h$ . პრაქტიკაში არსებობს სხვადასხვა ტიპის ხაოიანობა. მაგალითად, ხაოიანობის განსაკუთრებით გავრცელებულ ფორმას წარმოადგენს ქვიშის არაერთგვაროვანი ნალექი მილის კედლებზე. ასეთი ტიპის ხაოიანობა შესაძლებელია დროთა განმავლობაში წარმოიქმნას თავდაპირველად საკმაოდ გლუვი მილის ექსპლუატაციის პროცესში. საზოგადოდ, ნებისმიერ ჰიდროტექნიკურ ობიექტზე, პრაქტიკულად ყველგან, მეტ-ნაკლებად მოქმედებს ხელოვნური ხაოიანობის ფაქტორი, გამოწვეული გარსდენადი ზედაპირების სიგლუვის დაბალი ხარისხით. ასეთმა ტექნიკურმა დეფექტმა, ნალექთან კომბინაციაში, შეიძლება გამოიწვიოს, მაგალითად, მილების შიდა ზედაპირის ტალღისებურობა. ამ ტიპის ხაოიანობის ფაქტორის ნეგატიურ ეფექტს ცხადად წარმოაჩენს ამონარიდი გ.შლიხტინგის კლასიკური მონოგრაფიიდან [1, გვ. 564] “ მიუხედავად იმისა, რომ ქვიშა ითვლებოდა ყველაზე უფრო მისაღებად სხვადასხვა ტიპის ხაოიანობის მოდელირებისათვის, ზოგ შემთხვევაში შეუძლებელი აღმოჩნდა ტექნიკური ხაოიანობის შედარება ქვიშოვან ხაოიანობასთან, რომელიც გამოიყენებოდა ლაბორატორიული ექსპერიმენტების დროს. კერძოდ, ქალაქ ეკერტალის წყალმომარაგების მილებში აღმოჩენილი იქნა სპეციფიკური ხაოიანობა, რომელმაც გამოიწვია მილის წინააღმდეგობის განსაკუთრებული ზრდა. ამ ხაოიანობის მიზეზით 500 მმ დიამეტრის მქონე მილებში წყლის ხარჯი 50% მეტად შემცირდა. როგორც გამოკვლევამ აჩვენა, თავდაპირველად გლუვი მილების შიდა კედლებზე წარმოიქმნა ტალღისებური დანალექი ფენა, რომლის რგოლები განლაგებული იყო დინების პერპენდიკულარული მიმართულებით. ამ რგოლების სიმაღლე იყო:  $k = 0.5$  მმ, ანუ გეომეტრიულმა ხაოიანობამ შეადგინა:  $k/R = 10^{-3}$ . ასეთივე ეფექტის მისაღებად, ანუ, ქვიშისებური ხაოიანობის შემთხვევაში, წყლის ხარჯის 50%-ით შემცირებისათვის აუცილებელი წინააღმდეგობის უზრუნველსაყოფად, საკმარისი იყო გეომეტრიული ხაოიანობის ზომა ყოფილიყო ინტერვალში:  $1/40 \leq k/R \leq 1/20$ . ეს შემთხვევა გვიჩვენებს რომ, ტალღისებური ხაოიანობა იწვევს მილის წინააღმდეგობის გაცილებით უფრო დიდ ზრდას, ვიდრე იგივე სიმაღლის მქონე ქვიშისებური ხაოიანობა”. საინჟინერო პრაქტიკაში ფარდობითი ხაოიანობა მერყეობს 0.2%-7% ინტერვალში. ამიტომ, რადგანაც ვერეს დახურული კალაპოტის ექვივალენტური მილის დიამეტრია:  $D \approx 8 * 10^3$  მმ, მისი გვირაბებისათვის შესაძლებელია კრიტიკული ყოფილიყო  $\approx 20$  მმ აბსოლუტური ზომის (სიმაღლის) ხაოიანობა. მაგრამ, ასეთი მახასიათებელი ზომა გაცილებით უფრო ნაკლებია, ვიდრე გვირაბების კონსტრუქციაში გამოყენებული ფოლადის ზედაპირის გოფრირების სიმაღლე:  $k=150$  მმ. ამიტომ, ასეთი პარამეტრების მქონე გოფრირებული ზედაპირი, როგორც თვისობრივად, ასევე რაოდენობრივად, წარმოადგენს ხელოვნური ხაოიანობის თვალსაჩინო მაგალითს.

საზოგადოდ, მილის შიდა ზედაპირის ხაოიანობის ნეგატიური ეფექტის რაოდენობრივი შეფასებისათვის უნდა არსებობდეს დინებისა და მილის პარამეტრების ხაოიანობასთან დამაკავშირებელი ფორმულა. ასეთი კავშირის ანალიზურად განსაზღვრა საკმარისად რთული აღმოჩნდა. ამიტომ, ამ პრობლემის გადაწყვეტა მოხერხდა მხოლოდ ემპირიულ დონეზე, ლაბორატორიული მოდელების გზით, რაშიც განსაკუთრებული წვლილი მიუძღვის ქართველ ფიზიკოს-ექსპერიმენტატორს ი. ნიკურაძეს. მის მიერ ჩატარებულმა, კლასიკურად მიჩნეულმა, ექსპერიმენტებმა დაადასტურეს, რომ ლამინარული დინების რეჟიმში (ხაგენ-პუაზეილის დინება) გარსდენად ზედაპირზე აუცილებლად წარმოიქმნება ლამინარული სასაზღვრო ფენა. ასეთ შემთხვევაში ხაოიანობა პრაქტიკულად არ ახდენს გავლენას დინებაზე. ეს ნიშნავს, რომ ხაოიანი მილის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა ისეთივეა, როგორც გლუვის. ცნობილია, რომ გარკვეული სისქის ლამინარული სასაზღვრო ფენა ყალიბდება აგრეთვე ტურბულენტური დინების შემთხვევაშიც. ამიტომ, ზოგჯერ, ხაოიანი მილი შეიძლება ტურბულენტური დინებისათვისაც ჰიდრაულიკურად გლუვი აღმოჩნდეს. ამისათვის საკმარისია, რომ მილის შიდა ზედაპირზე წარმოქმნილი ლამინარული სასაზღვრო ფენის სისქე აღემატებოდეს ხაოიანობის სიმაღლეს. ტურბულენტური დინების შემთხვევაში ლამინარული სასაზღვრო ფენის სისქე დამოკიდებულია სითხის კინემატიკურ სიბლანტეზე და ზედაპირული წინააღმდეგობის ძაბვასთან დაკავშირებულ პარამეტრზე, ე.წ. დინამიკურ სიჩქარეზე:  $v_*$ . ამიტომ, ამ შემთხვევაში, ჩვეულებრივ რეინოლდსის რიცხვთან ერთად, აგრეთვე შემოდის ხაოიანობის ეფექტის განმსაზღვრელი მეორე უგანზომილებო პარამეტრი:  $Re_* = \frac{kV_*}{\nu} \sim \frac{k}{\delta_l}$ . დადგენილია, რომ არსებობს რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობათა გარკვეული დიაპაზონი, რომლისთვისაც ტურბულენტური დინების შემთხვევაშიც კი ხაოიანი მილი ისევე იქცევა, როგორც ჰიდრაულიკურად გლუვი. როგორც აღვნიშნეთ, ამ დროს მილის წინააღმდეგობა  $\lambda$  არის მხოლოდ  $Re_e$ -ს ფუნქცია. დაწყებული რეინოლდსის რიცხვის რაღაც მნიშვნელობიდან, რომელიც მცირდება გეომეტრიული ხაოიანობის ზრდისას, ხაოიანი მილის წინააღმდეგობა იზრდება. ამ დროს ტურბულენტობის ხარისხი მალდება და, შესაბამისად, ყალიბდება დინების ახალი რეჟიმი, რომლის პირობებში ლამინარული სასაზღვრო ფენა მხოლოდ ნაწილობრივ ფარავს ხაოებს მილის ზედაპირზე. ამის გამო  $\lambda$  დამოკიდებული ხდება როგორც  $Re_e$ -ზე, ასევე  $Re_*$ -ზე. ამ პროცესის განვითარების შედეგად, საბოლოოდ,  $\lambda$  გახდება მხოლოდ  $Re_*$ -ს ფუნქცია, რომელიც ასახავს ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის არაწრფივ (კვადრატულ) დამოკიდებულებას გეომეტრიულ ხაოიანობაზე. ამრიგად, ხაოიან მილებში შესაძლებელია დამყარდეს დინების სამი რეჟიმი:

1.  $\lambda = \lambda(Re_e)$ . დინება ხაოიანობის გამოვლინების გარეშე, ანუ როცა ხაოიანობის სიმაღლე ლამინარული სასაზღვრო ფენის სისქეზე ნაკლებია ( $\frac{k}{\delta_l} < 1$ ). ამ რეჟიმის რაოდენობრივი კრიტერიუმია:  $0 \ll Re_* = \frac{kV_*}{\nu} \leq 5$ ;

2.  $\lambda = \lambda(R_e, R_{e*})$ . დინების გარდამავალი რეჟიმი ( $\frac{k}{\delta_l} \approx 1$ ). კრიტერიუმი:  $5 \leq R_{e*} \leq 70$ ;

3.  $\lambda = \lambda(R_{e*})$ . ხაოიანობის სრული გამოვლინების რეჟიმი ( $\frac{k}{\delta_l} > 1$ ). ამ შემთხვევაში ხაოიანობის ყველა ელემენტი გამოდის ლამინარული სასაზღვრო ფენიდან და მილის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა კვადრატული კანონით იცვლება

$$\lambda = \frac{1}{(2 \cdot \lg \frac{R}{k} + 1.74)^2} . \quad (7)$$

სწორედ ეს ნახევრად ემპირიული ფორმულით განისაზღვრული დამოკიდებულება წარმოადგენს ჰიდრაულიკის ერთერთ ქვაკუთხედს.

იმ შემთხვევაში, თუ მილი მრუდწირულია, მასში აღიძვრებიან ცენტრიდანული ძალები, რომლებიც იწვევენ ლამინარული დინების დესტაბილიზაციას. ამ ეფექტის ძალა, მისი კვეთის რადიუსის გარდა, დამოკიდებულია აგრეთვე მილის სიმრუდის რადიუსზე. კერძოდ, არსებობს რადიუსის კრიტიკული სიდიდე, რომლის შემდეგ მილში მოძრავ სითხეში ლოკალურად შეიძლება განვითარდეს სპეციფიკური ტიპის არამდგრადობა. ეს ნიშნავს, რომ მილის მრუდწირულ უბანზე წარმოიქმნება მსხვილმაშტაბოვანი გრიგალური სტრუქტურები, რაც წყალში უკუდინების არსებობას ნიშნავს. ამ ეფექტს გამოსახავს შესაბამისი ნახევრად ემპირიული ფორმულა [1,2]

$$\frac{\lambda_r}{\lambda_0} = 1 + 0.075 R_e^{1/4} \left(\frac{R}{r}\right)^{1/2} , \quad (8)$$

სადაც  $\lambda_0$  – გლუვი სწორხაზოვანი მილის წინააღმდეგობის კოეფიციენტი,  $r$  – მრუდწირული უბნის სიმრუდის რადიუსი.

ამრიგად, თუ მილი ხაოიანია, ხოლო მისი მრუდწირული უბანის სიმრუდე საკმარისად დიდია, დინების ტურბულენტურ რეჟიმში ერთდროულად იმუშავებს მილის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის ზრდის ხელშემწყობი ორივე ფაქტორი. კერძოდ, მათი არსებობა ვერეს უკნასკნელი წყალმოვარდნის შემთხვევაში ჩვენში ეჭვს არ იწვევს. მათთან ერთად, ვერეს დახურულ კალაპოტში დამატებით მოქმედებდა წყლის ხარჯის შემამცირებელი კიდევ ერთი ფაქტორი, განსაკუთრებით ძლიერი ტურბულენტური ფონი.

ვერეს დახურული კალაპოტის პირველი გვირაბის სიმრუდე, მისი რეკონსტრუქციის შემდეგ, ვიზუალურად აშკარად გაიზარდა. მაგრამ, ჩვენთვის ეს სიდიდე, ჩქაროსნულ გზის უბნის პროექტთან არწვდომის გამო, ზუსტად უცნობია. ასეთი ვითარების გამო დასაშვებად მიგვაჩნია პირველი გვირაბის ჰიდრაულიკურ წინააღმდეგობაში სიმრუდის ეფექტის წვლილის მიახლოებითი შეფასება მშენებლობის მარეგლამენტირებელი ნორმატიული ნესების მოთხოვნათა საშუალებით. კერძოდ, არსებობს ნებისმიერი ჰიდროტექნიკური გვირაბებისათვის დასაშვები სიმრუდის ზღვრული მნიშვნელობა, რომელიც, გვირაბის პარამეტრების გარდა, დამოკიდებულია აგრეთვე წყლის დინების სიჩქარეზე. მაგალითად, საბჭოთა პერიოდში მოქმედი სამშენებლო ნორმების

აქტუალიზირებული რედაქციის მიხედვით, როცა:  $V_{max} \approx 10$  მ/წმ, დასაშვებია მაქსიმალური ფარდობითი მრუდწირულობა:  $\frac{R}{r} \approx 0.17$ . ამასთან, გვირაბის მრუდწირული სექტორის კუთხური ზომა არ უნდა აღემატებოდეს  $60^\circ$  [4]. გამოვიყენოთ ეს შეზღუდვა და გავითვალისწინოთ, რომ როცა ლამინარული დინების მდგრადობა თეორიულ ზღვარს აღწევს ( $R_e \sim 10^5$ ), უკვე ამიტომ სწორხაზოვანი მილის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა  $\lambda_0$  მნიშვნელოვნად იზრდება ( $\approx 70\%$ ) იგივე მილში მაქსიმალურად მდგრად ( $R_e \sim 10^3$ ) ლამინარულ დინებასთან შედარებით [1,2]. მაგრამ, ექსტრემალურ პირობებში ვერეს დახურული კალაპოტის მახასიათებელი რეინოლდსის რიცხვის სიდიდე ( $R_e \approx 2 * 10^7$ ) გაცილებით აღემატება სიდიდეს, რომელიც შეესაბამება ლამინარული დინების თეორიულ ზღვარს. ამრიგად, შეფასება უნდა ჩატარდეს გლუვი სწორხაზოვანი მილის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტის მაქსიმუმისათვის. სწორედ ამ სიდიდესთან მიმართებაში (8) ფორმულიდან გამოდის, რომ, როცა  $\frac{R}{r} \approx 0.17$ , დახურული კალაპოტის მაპროექტირებული მილის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი თითქმის 3-ჯერ უნდა გაიზარდოს მხოლოდ პირველი გვირაბის სიმრუდის გამო. მდგრადობის თეორიის თანახმად ეს ჰიდრაულიკური ეფექტი შეიძლება უფრო ძლიერი იყოს [5,7].

შემდგომი ანალიზისათვის გამოვიყენოთ მდინარე ვერეს დაკვირვების რეტროსპექტიული მონაცემები, რომლებიც მოპოვებული იყო ი.ჯავახიშვილის უნივერსიტეტის ჰიდროლოგიურ სადგურში 1962 წლიდან. კერძოდ, განსაზღვრულია წყლის ხარჯი ბოლო ნახევარი საუკუნის პერიოდში მომხდარი ვერეს ყველა სერიოზული წყალმოვარდნის დროს. თუმცა, ინტენსივობის თვალსაზრისით დღემდე ექსტრემალურად ითვლება 1960 წლის 4 ივლისის წყალდიდობა, როცა პირდაპირი ჰიდროლოგიური დაკვირვება ვერეს ხეობაში ჯერ კიდევ არ სწარმოებდა. მიღებულია შეფასება, რომ წყლის მაქსიმალური ხარჯი აღნიშნული წყალმოვარდნის დროს დაახლოებით 2.5 საათის განმავლობაში შეადგენდა:  $Q_{max} \approx 320$  მ<sup>3</sup>/წმ. თუ დავუშვებთ, რომ თამარაშვილის მაგისტრალის ქვეშ გამავალი გვირაბი (მიწისქვეშა ხიდი), რომლის კვეთის ფართობი:  $S \approx 50$  მ<sup>2</sup>, ამ წყალმოვარდნის დროს პრაქტიკულად სრულად იყო დატვირთული, (3) ფორმულიდან მივიღებთ:  $V_{max} \approx 6$  მ/წმ. შემდგომში, არსებული მონაცემებით,  $Q \geq 100$  მ<sup>3</sup> წყლის ხარჯის მქონე წყალმოვარდნა ვერეს ხეობაში კიდევ მრავალჯერ დაფიქსირდა. ცხადია, რომ, თუ ამ წყალმოვარდნის პარამეტრებს გამოვიყენებთ რომელიმე სხვა წყალმოვარდნის მოდელური ანალიზისათვის, საჭირო იქნება გარკვეული რაოდენობრივი საფუძველის არსებობა.

ბუნებრივია, რომ მდინარის კალაპოტში კატასტროფული წყალმოვარდნის შედეგად გაზრდილი წყლის ხარჯის ცვლილების მკაცრი რაოდენობრივი საზღვრის დადგენა შეუძლებელია დინების მყისერი სიჩქარის გარეშე. თუმცა, ამ პარამეტრის ცოდნის განსაკუთრებული აუცილებლობა არ არსებობს, რადგანაც უწყვეტი დაკვირვების პირობებში შესაძლებელია მყისი სიჩქარის ცვლილება საშუალო სიჩქარით. მრავალწლიანი დაკვირვებათა მონაცემების საფუძველზე დადგინდა, რომ ვერეს საშუალო წლიური

ხარჯი შეადგენს:  $\bar{Q} \approx 1 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ , ხოლო დინების საშუალო სიჩქარე მდინარის ხეობის ქვედა მონაკვეთზე:  $\bar{u} \approx 3.5 \text{ მ}/\text{წმ}$ . 1960 წლის წყალმოვარდნის დროს დინების მაქსიმალური სიჩქარის ჰიპოთეტიური სიდიდიდან და შემდგომში მომხდარი წყალმოვარდნების შესაბამისი მაქსიმალური წყლის ხარჯიდან გამომდინარე, შეიძლება დავუშვათ, რომ ექსტრემალურ პირობებში ვერეს დინების სიჩქარე იცვლება ინტერვალში:  $6 \text{ მ}/\text{წმ} \leq V_{max} < 10 \text{ მ}/\text{წმ}$ . ყველა ამ შემთხვევაში, როგორც წესი, მდინარის ბუნებრივი კალაპოტი ფართოვდებოდა და ვერეს ჭალა მეტ-ნაკლებად იტბორებოდა. ეს მოვლენა, რომელიც საკმარისად ხშირად მეორდებოდა სხვადასხვა მასშტაბით, მნიშვნელოვნად იყო გამოწვეული ვერეს კალაპოტის დაბალი სიმაღლით. ამიტომ, ასეთი კალაპოტიდან გადმოდინების შემდეგ, მნიშვნელოვნად იზრდებოდა წყლის ზედაპირის სარკე, რაც პირდაპირ კავშირში არ იყო გმირთა მოედნის ქვეშ გამავალი უკანასკნელი გვირაბის გამტარუნარიანობასთან.

რადგანაც 2015 წლის 13 ივნისის წყალმოვარდნის ზუსტი ჰიდროლოგიური პარამეტრები არ გაგვაჩნია, შეგვიძლია დავუშვათ, რომ უკანასკნელი კატასტროფული წყალმოვარდნა 1960 წლის 4 ივლისის მოვლენის თანაზომადი იყო ინტენსივობის თვალსაზრისით. რეტრო შემთხვევაში ღვარცოფის მიერ ჩამოტანილი მასის მოცულობა, ირიბი შეფასებების თანახმად, სავარაუდოდ, უნდა ყოფილიყო:  $W = Q_{max} * T \approx 2.88 * 10^6 \text{ მ}^3$ . მიუხედავად იმისა, რომ ამ წყალმოვარდნის ასეთი მასშტაბი ჩვენ გადაჭარბებულად მიგვაჩნია, აღნიშნული სავარაუდო მოცულობა შეიძლება საორიენტაციო სიდიდედ მივიჩნიოთ იმ შემთხვევაში, თუ გადაწყდება მდინარე ვერეს ხეობაში მარეგულირებელი რეზერვუარის მშენებლობა. თუმცა, თუ ვერე დაუბრუნდება ბუნებრივ კალაპოტს, ხოლო მისი ჭალა სრულიად განთავისუფლდება ურბანისტული დატვირთვისაგან, მარეგულირებელი წყალსაცავის შექმნის გადაუდებელი საჭიროება ალბათ არ იარსებებს. ამ მოსაზრების განმამტკიცებელი მთავარი არგუმენტია ფაქტი, რომ ადრე გაკეთებულ გვირაბებს საკმარისი გამტარუნარიანობა გაჩნდათ 2015 წლამდე მომდარი ყველა მასშტაბური წყალმოვარდნის შემთხვევაში. ამიტომ, გვაქვს საფუძველი ვივარაუდოთ, რომ ძველი გვირაბებისაგან განსხვავებით, ვერეს დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა, როგორც სჩანს, სათანადოდ არ იყო შეფასებული. უნდა აღინიშნოს, რომ რთული ჰიდროდინამიკური დინების მათემატიკური მოდელირება, როგორც წესი, მოითხოვს გარკვეულ გამამარტივებელ ფიზიკურ დაშვებებს. მრავალ პარამეტრზე დამოკიდებულ ამოცანაში ასეთი დაშვებების კორექტულობა განაპირობებს თეორიული შეფასებების სანდოობას. ასეთი განცხადების საფუძვლიანობის დასადასტურებლად განვიხილოთ მოდელი, რომელიც თვისობრივად თითქოს და, სრულიად ესადაგება ექსტრემალური პარამეტრების მქონე დინებას. კერძოდ, ჰიპოთეტიური წყალმოვარდნის შემთხვევაში მაქსიმალური წყლის ხარჯის შესაბამისად (6) ფორმულის საფუძველზე დავადგინოთ ვერეს დახურული კალაპოტის მაპროექსიმირებელი მილის რადიუსის ცვლილება. ამისათვის განვიხილოთ დინების ორი რეჟიმი: ექსტრემალური და საშუალო პარამეტრების მქონე. როგორც ავღნიშნეთ,



წყალმოვარდნის დროს დინების სიჩქარის ზრდის გამო გარდაუვალად ხდებოდა ვერეს ბუნებრივი კალაპოტის განივი კვეთის ფართის გაზრდა. ამ ეფექტის რაოდენობრივი შეფასებისათვის შემოვიტანოთ ვერეს კალაპოტის განივი კვეთის ცვლილების ფორმ-ფაქტორი, რომელიც გამოვიყენოთ (6) ფორმულის გასამარტივებლად. თუ დავუშვებთ, რომ ექსტრემალური პირობები გავლენას არ ახდენენ მილის ჰიდრავლიკურ წინააღმდეგობაზე და წყლის სიბლანტის კინემატიკურ კოეფიციენტის მუდმივობის გამო, წყალმოვარდნით გამოწვეული წყლის ხარჯის ფარდობითი ცვლილებას განსაზღვრავს გამოსახულება

$$\frac{Q_{max}}{\bar{Q}} \approx \left(\frac{R_{max}}{\bar{R}}\right)^3 \frac{V_{max}^2}{\bar{V}^2} \approx \alpha \frac{V_{max}^2}{\bar{V}^2}. \quad (9)$$

(9) ფორმულის თანახმად, დამხმარე პარამეტრი,  $\alpha$  ფორმ-ფაქტორი (მოცულობათა აბსტრაქტული ფარდობა), წარმოადგენს წარმოსახვითი საშუალო და ექსტრემალური დინების შესაბამისი მაპროქსიმირებელი მილების რადიუსების არაწრფივ ფარდობას. ეს განუზომელი პარამეტრი დამოკიდებულია მხოლოდ ორი ჰიდროლოგიური მახასიათებლის, წყლის ხარჯისა და დინების სიჩქარის, ფარდობით ცვლილებაზე. მაგალითად, 1960 წლის 4 ივლისის წყალმოვარდნისათვის:  $\frac{Q_{max}}{\bar{Q}} \approx 300$ . ამ ექსტრემალური მოვლენის დროს დინების მაქსიმალური სიჩქარე სავარაუდოდ იცვლებოდა ინტერვალში:  $6 \text{ მ/წმ} \leq V_{max} \leq 10 \text{ მ/წმ}$ . მრავალწლიანი დაკვირვებებით, ვერეს დინების საშუალო სიჩქარე:  $\bar{V} = 3.5 \text{ მ/წმ}$ . ამრიგად, მოდელური შეფასებებისათვის გვექნება დინების სიჩქარის ფარდობითი ცვლილების ინტერვალი:  $1.7 \leq \frac{V_{max}}{\bar{V}} \leq 2.85$ . შესაბამისად, (9) ფორმულის მიხედვით, ვერეს კალაპოტის მაპროქსიმირებელი მილის განივი კვეთის ფორმ-ფაქტორის ცვლილების შუალედი იქნება:  $37 < \alpha < 104$ . ვერეს დინების მრავალწლიანი საშუალო სიჩქარეს შეესაბამება საშუალო წყლის ხარჯი:  $\bar{Q} \approx 1 \frac{\text{მ}^3}{\text{წმ}}$ . აქედან გამომდინარე, ვერეს კალაპოტის მაპროქსიმირებელი მილის საშუალო რადიუსი:  $\bar{R} \approx 0.3$  ფარდობითი სიჩქარის ცვლილების ზედა ზღვრული სიდიდეა:  $\frac{V_{max}}{\bar{V}} = 2.85$ . (9) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ ამ დროს მაქსიმალური წყლის ხარჯისათვის ( $Q_{max} \approx 300 \text{ მ}^3/\text{წმ}$ ) ვერეს ბუნებრივი კალაპოტის მაპროქსიმირებელი მილის რადიუსი საკმარისია იყოს:  $R_{1max} \approx 0.98 \text{ მ}$ . ქვედა ზღვრული სიდიდისათვის, ანუ როცა  $\frac{V_{max}}{\bar{V}} = 1.7$ , შესაბამისად გვექნება:  $R_{2max} \approx 1,9 \text{ მ}$ . ამრიგად, თუ დავუშვებთ, რომ 2015 წლის 13 ივნისის წყალმოვარდნის დროს წყლის ხარჯი:  $Q_{max} \approx 300 \text{ მ}^3/\text{წმ}$  ტოლი იყო, (9) ფორმულის თანახმად ვერეს დახურული კალაპოტის კვეთის ფართი სრულიად საკმარისი უნდა ყოფილიყო ღვარცოფული ნაკადის გასატარებლად. თუმცა, ამ კატასტროფული მოვლენის განვითარების სურათიდან გამომდინარე, აშკარაა, რომ ასეთი დასკვნა მცდარია, ხოლო განხილული მოდელი-რეალური მოვლენის არაადექვატური. გამოდის, რომ ის დაშვებები, რომლებიც საფუძვლად უდევს ამ მოდელს, ფიზიკურად

გაუმართლებელია. ამიტომ, განვიხილოთ მეორე, უფრო კორექტული მოდელი, რომელიც, ჩვენი შეხედულებით, პირველ მოდელთან შედარებით გაცილებით უფრო ახლოს არის რეალობასთან. კერძოდ, ამ მოდელში ცხადი სახით მონაწილეობს ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობა, რომლის სიდიდე პირდაპირ არის დამოკიდებული დახურული კალაპოტის დატვირთვის დონეზე. ვერეს ნორმალური დინების დროს, ანუ ნაკლებად დატვირთული დახურული კალაპოტის შემთხვევაში, დინება მის გვირაბებში ბრტყელი ზედაპირის გარსდენის მსგავსია. ასეთი დინების დროს დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის გამომწვევი მთავარი ფაქტორია ბეტონის იატაკის ( და არა კედლების) ხაოიანობა. ეს ნიშნავს, რომ ნორმალური დინების შემთხვევაში დასაშვებია გვირაბის კედლების გოფირებული ზედაპირის ნეგატიური ეფექტის უგულვებლყოფა. ამიტომ, შეიძლება ითქვას, რომ ჩვეულებრივ პირობებში გოფირების ფაქტორს არ შეეძლო მნიშვნელოვანი გავლენა მოეხდენა გვირაბებში წყლის დინების სტრუქტურაზე. მაგრამ, სავარაუდოდ, დიამეტრალურად განსხვავებული ვითარება უნდა შეიქმნილიყო ექსტრემალურ პირობებში, როცა ვერეს დახურული კალაპოტი მაქსიმალურად სრულად დაიტვირთებოდა. ამიტომ, (6) ფორმულის მაგივრად, მეორე მოდელისათვის გამოვიყენოთ (3) ფორმულა, თანაც მხედველობაში მივიღოთ გოფირებული ზედაპირის ხაოიანობა და და დახურული კალაპოტის მაპროქსიმირებელი მილის მრუდწირული გეომეტრია. ადიტიურობის პრინციპიდან გამომდინარე სავარაუდოა, რომ ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის ეფექტის ჯამური გამოვლინება დახურულ კალაპოტში სადაც მაინც მოხდებოდა, შესაძლოა არაერთგზის. ამიტომ, მეორე მოდელის მიხედვით, მაპროქსიმირებელი მილის სრული ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტი წარმოადგენს ჯამს:  $\lambda = \lambda_r + \lambda_k$ . ჯამური ეფექტის თვალსაზრისით განსაკუთრებით ალბათურად მიგვაჩნია დახურული კალაპოტის პირველი გვირაბი. სწორედ აქ უნდა მოხდარიყო ყველა ცალკეული ნეგატიური ფაქტორის სუპერპოზიცია დინების ექსტრემალური რეჟიმისათვის დამახასიათებელი განსაკუთრებით ძლიერი ტურბულენტობის ფონზე. ყოველივე ამას არ შეიძლება არ მოეხდინა გავლენა დახურული კალაპოტის გამტარუნარიანობაზე. შეიძლება სწორედ ამიტომ გახდა გარდაუვალი ღვარცოფული ნაკადის შეგუბება მაგალითად, მეორე და უკანასკნელი გვირაბების წინ, რასაც კატასტროფული შედეგები მოჰყვა.

ამრიგად, მეორე მოდელის ანალიზურ ბაზისს წარმოადგენს წლის ხარჯის (3) ფორმულა, რომელშიც დინების საშუალო სიჩქარე წრფივად შედის. ამ პარამეტრის განსასაზღვრა შესაძლებელია შემდეგი გამოსახულების საშუალებით [6]

$$\bar{u} = \sqrt{\frac{4R\Delta p}{\lambda \rho l}} \quad , \quad (10)$$

სადაც-  $\lambda = \lambda_r + \lambda_k$ .

ზემოთ მიღებული შეფასების თანახმად, ვერეს დინების ექსტრემალურ რეჟიმში სიმრუდით გამოწვეული დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის

კოეფიციენტის ფარდობითი ცვლილება:  $\frac{\lambda_r}{\lambda_0} \approx 3$ . როგორც ავლინმნეთ, ეს სიდიდე შეესაბამება, მაგალითად, პირველი გვირგვინის სიმრუდის ზღვრულად დასაშვებ სიდიდეს.  $\lambda_0$  წარმოადგენს გლუვი სწორხაზოვანი მილის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის კოეფიციენტს, რომელიც განისაზღვრება ი. ნიკურადის ცნობილი ნახევრად ემპირიული ფორმულით

$$\lambda_0 = 0.0032 + \frac{0.221}{R_e^{0.237}}. \quad (11)$$

რადგანაც ვერეს დახურული კალაპოტის მახასიათებელი რეინოლდსის რიცხვი:  $R_e \approx 2 * 10^7$ , (11)-დან გვექნება:  $\lambda_0 \approx 0.73 * 10^{-2}$ , ანუ, (8) ფორმულის თანახმად:  $\lambda_r \approx 0.022$ .

მრგვალი მილის შიდა ზედაპირის ხაოიანობით გამოწვეული წინააღმდეგობისათვის არსებობს ფორმულა [6]

$$\lambda_k = \frac{1.3}{\ln^2\left(\frac{R}{k}\right)}. \quad (12)$$

რადგანაც ვერეს დახურული კალაპოტის გოფირებული სექციის გეომეტრიული ხაოიანობა:  $\frac{R}{k} \approx 26.6$  ( $R \approx 4\text{მ}$ ,  $k \approx 0.15\text{მ}$ ), (12)-იდან მივიღებთ:  $\lambda_k \approx 0.12$ . ამრიგად, მივიღებთ ვერეს დახურული კალაპოტის შემდეგ სრულ მოდელურ კოეფიციენტს:  $\lambda \approx 0.14$ . ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის ეფექტის სავარაუდო რაოდენობრივი შედეგის განსაზღვრავად დავუშვათ, რომ წყლის ხარჯი ერთნაირია ორ, განსხვავებული  $R_1$  და  $R_2$  რადიუსების მქონე, გლუვი სწორხაზოვანი და მრუდწირულ ხაოიან მილებში. იმ შემთხვევაში, თუ წნევის გრადიენტი ორივე მილში ერთნაირია, რისი დაშვებაც ფიზიკურად კორექტულია, (3) ფორმულიდან, (10) გამოსახულების გათვალისწინებით, მივიღებთ

$$\frac{Q_1}{Q_2} = 1 = \frac{R_1^2}{R_2^2} \sqrt{\frac{R_1 \lambda}{R_2 \lambda_0}} = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^{2.5} \left(\frac{\lambda}{\lambda_0}\right)^{1/2}. \quad (13)$$

(13) გამოსახულებიდან, წინააღმდეგობის ჯამური კოეფიციენტის ზემოთ განსაზღვრული სიდიდისათვის, მივიღებთ მრუდწირული ხაოიანი და სწორხაზოვანი გლუვი მილების რადიუსების შემდეგ ფარდობას:  $\frac{R_2}{R_1} \approx 1.8$ . ამრიგად, წყლის ერთნაირი ხარჯის უზრუნველსაყოფად ხაოიანი მრუდწირული მილის კვეთის ფართი მნიშვნელოვნად უნდა აღემატებოდეს გლუვი მილის კვეთის ფართს:  $S_2 \approx 3.24 S_1$ . ეს ნიშნავს, რომ ერთნაირი კვეთის ფართის მქონე გლუვი და ხაოიანი მრუდწირული მილების გამტარუნარიანობა, ანუ პოტენციალური (მაქსიმალური) წყლის ხარჯი, მნიშვნელოვნად განსხვავებულია. კერძოდ, ამ მოდელის ფარგლებში ექსტრემალურ პირობებში წყლის ხარჯი სწორხაზოვანი გლუვი მილში დაახლოებით სამჯერ მეტი შეიძლება ყოფილიყო, ვიდრე ხაოიან მრუდწირულ მილში. ეს ნიშნავს, რომ თუ ასეთი ორი მილი ერთმანეთზეა გადაბმული, პირველის სრული დატვირთვა გარდაუვლად გამოიწვევს მეორე მილის ნაწილობრივ ჩაკეტვას.

ზემოთ მიღებული შეფასებები შეიძლება შეიცავდნენ გარკვეულ რაოდენობრივ ცდომილებას, რადგანაც, როგორც აღვნიშნეთ, ვერეს დახურული კალაპოტის მაპროექსიონირებელი მილის დიამეტრი იმდენად დიდია, რომ მისთვის დასაშვებია ჰიდროდინამიკური მსგავსების პრინციპის გარკვეულ ფარგლებში დარღვევა. მიუხედავად ამისა, რომ ჩატარებული მოცემული მოდელური ანალიზის კორექტულობა განსაკუთრებულ ეჭვს არ უნდა იწვევდეს, რამდენადაც რაოდენობრივი შეფასებებისათვის გამოყენებულია თეორიული ჰიდროდინამიკის კლასიკური ფორმულები.

**მდინარე ვერეს დახურული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა.** ვერეს (სიგრძე  $\approx 45$  კმ, ვარდნის სიმაღლე  $\approx 1290$  მ.), როგორც ყველა სხვა მთის მდინარეს, პერიოდულად ძლიერი წყალმოვარდნები ახასიათებს. ამ მდინარის ხეობის ქვედა ნაწილში ისედაც რთულმა რელიეფმა ბოლო დროს განიცადა განსაკუთრებული ურბანული დაწოლა, რამაც გარკვეულწილად შექმნა კატასტროფის წინაპირობა. ამან თავი იჩინა 2015 წლის 13 ივლისის ღამეს, როცა თავსხმა წვიმის სახით მოსულმა,  $h \approx 100-150$  მმ, ნალექმა 3-4 საათის განმავლობაში გამოიწვია ვერეს სწრაფი ადიდება. თავდაპირველად წყალი დაგუბდა პირველი გვირაბის წინ, რამაც გამოიწვია სვანიძის ქუჩის აქამდე არნახული მასშტაბის დატბორვა. ამის შემდეგ დატბორვა მოხდა ვერეს ხეობის უკანასკნელ მონაკვეთზე, ანუ თამარაშვილის მაგისტრალსა და ზოოპარკს შორის. მიგვაჩნია, რომ წყალდიდობის გამომწვევი მიზეზების კორექტული ანალიზისათვის უმნიშვნელოვანესია ფაქტი, რომ არ მოხდა წყლის გადადინება სვანიძის ქუჩიდან თამარაშვილის მაგისტრალზე, რომელმაც წყალგამყოფის როლი შეასრულა. ეს ფაქტი უცილობლად ნიშავს, რომ თამარაშვილის მაგისტრალსა და ზოოპარკს შორის წყალდიდობა მოხდა სვანიძის ქუჩაზე წარმოქმნილი წყლის რეზერვუარისაგან დამოუკიდებლად. აქ წყლის სიმაღლემ მოიმატა დაახლოებით 8-10 მეტრით. წყლის ასეთი მატება არ შეიძლება გამოწვეული ყოფილიყო მხოლოდ ამ ტერიტორიის შესაბამისი წყალშემკრების ქმედებით. როგორც სჩანს, გვირაბებმა ვერ გაატარა ქვა-ღორღითა და მყარი საგნებით გაჯერებული ღვარცოფული მასა იმ ზომით, რაც შეესაბამებოდა მათ გამტარუნარიანობას შიდა ზედაპირის იდეალური სიგლუვისა და ნულოვანი სიმრუდის შემთხვევაში. ამის დადასტურებაა მეორე წყალგამყოფი, რომლის ფუნქცია შეასრულა მზიურის ტერიტორიაზე გამავალი ვაკე-საბურთალოს შემაერთებელი გზის მონაკვეთმა, ანუ მესამე გვირაბის თავზე გამავალმა ხიდმა. ამ ადგილის შემდეგ კვლავ მოხდა წყლის შეგუბება ისეთ დონეზე, რომ წყალმა მთლიანად გადარეცხა დატკეპნილი გრუნტი შემდგომი გვირაბის თავზე და მას მოგლიჯა ფოლადის სექცია. ასეთი რამ კიდევ განმეორდა უკანასკნელი გვირაბის წინ. ეს ფაქტი სრულიად საკმარისად მიგვაჩნია რათა განვაცხადოთ, რომ წყალმოვარდნის კატასტროფული შედეგები გამოიწვია არა მარტო ანომალური ინტენსივობის ნალექმა, არამედ აგრეთვე ვერეს კომბინირებული დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკურმა წინააღმდეგობამ. ექსტრემალურ პირობებში ამ ფაქტორმა, როგორც სჩანს, განსაკუთრებით გააძლიერა ჰიდროდინამიკური

ტურბულენტობის ეფექტი, რამაც გამოიწვია დახურული კალაპოტის ნაწილობრივი ჩაკეტვა, ანუ მისი გამტარუნარიანობის მკვეთრი შემცირება.

ტურბულენტობის მოვლენა, რომლის მოქმედებას ხშირ შემთხვევაში ნეგატიური შედეგები მოაქვს, სისტემატურად ვლინდება ბუნებასა და ტექნიკაში. ყველგან, ბუნებაში და ტექნიკურ ობიექტებზე, არსებობს ტურბულენტობის გაძლიერების ხელშემწყობი სხვადასხვა სპონტანური ან რეგულარული მიზეზი. მაგალითად, ტურბულენტობა ჰაერსა და წყალში წარმოადგენს თვითმფრინავებისა და გემების გარსდენის პროცესში მათი ჰიდრაულიკური წინააღდეგობის გაზრდის ბუნებრივ მიზეზს. ამას ხელს უწყობს არა მარტო მოძრავი ობიექტების სიჩქარის გაზრდა, აგრეთვე მათი არასათანადო აეროდინამიკური ფორმა და ზედაპირის არასაკმარისი სიგლუვე. ტურბულენტობამ შეიძლება თავი იჩინოს ნებისმიერ წყალგამტარში, თუ იარსებებს მისი გამომწვევი რომელიმე მიზეზი. კერძოდ, ვერეს დახურული კალაპოტი სრული დატვირთვის შემთხვევაში, კალაპოტის მრუდწირულ გეომეტრიასთან ერთად, ტურბულენტობის გამაძლიერებელი მიზეზი აუცილებლად იქნებოდა გვირაბების გოფირებული ზედაპირი. ამიტომ, ბუნებრივია, რომ ამ ფაქტორების ერთობლივი ნეგატიური მოქმედების ეფექტის რაოდენობრივი შეფასების გარდა, მიზანშეწონილად მიგვაჩნია ხაოიან მილში ტურბულენტური პულსაციების გენერაციის მექანიზმის მოკლე ფიზიკური ანალიზი. აქვე, ისიც უნდა აღინიშნოს, რომ არ არსებობს ლამინარული დინების ტურბულენტურში გადასვლის ერთიანი თეორია.

ცნობილია, რომ გლუვ მილში წყლის დინება თეორიულად მდგრადია მცირე შეშფოთებების მიმართ რეინოლდსის რიცხვის ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის. ამასთან, ლამინარული დინების შემთხვევაში მილში წყლის მოძრაობა ყოველთვის სტაციონარულია. აქედან გამომდის, რომ თუ რაიმე მიზეზით მილში ლამინარული დინების სტრუქტურა დაირღვევა, ამ დროს წარმოქმნილი მცირე შეშფოთება დროში და სივრცეში ვერ განვითარდება, ანუ ის მალე ჩაქრება და დინების საწყისი ლამინარული სტრუქტურა აღსდგება. დინება მილში შეიძლება არამდგრადი გახდეს მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ შეშფოთება საკმარისად ძლიერია. ტურბულენტობის წრფივი თეორიის თანახმად, შეშფოთების ამპლიტუდა შეიძლება ექსპონენციალურად იზრდებოდეს რეინოლდსის რიცხვის ზრდასთან ერთად. მაგრამ, მრავალრიცხოვან ექსპერიმენტებში რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკული მნიშვნელობა თეორიულ მნიშვნელობაზე მეტი აღმოჩნდა [5,7]. ამრიგად, რეალურად, შეშფოთების ამპლიტუდის ზრდა შეზღუდულია არაწრფივი ეფექტებით, რომლებიც ახდენენ შეშფოთების სტაბილიზაციას. ეს ნიშნავს, რომ სითხის დინებაში მყარდება ახალი წონასწორული მდგომარეობა. ამიტომ, რაღაც დონეზე ტურბულენტური რეჟიმის საბოლოო ჩამოყალიბებამდე, მილში დინება გადის გარდამავალ რეჟიმზე. ამრიგად, რეინოლდსის რიცხვის კრიტიკულ მნიშვნელობამდე ზრდის პროცესში, გარკვეული ხნით მაინც, ერთხელ ან რამდენიმეჯერ, მყარდება კვაზისტაბილური მდგომარეობა, რომელსაც ფაზური მდგომარეობების სივრცეში ისეთი ღია ტრაექტორია შეესაბამება, რომლისკენაც მოცემული დროის განმავლობაში

მისწრაფება სხვა ტრაექტორიების გარკვეული რაოდენობა. სწორედ ეს ეფექტი წარმოადგენს ე.წ. სტოქასტიკური ატრაქტორის (ე.წ. „უცნაური“ ატრაქტორი) განსაკუთრებით თვალსაჩინო მაგალითს. ბუნებრივია, რომ სტოქასტიკური ატრაქტორისკენ მისწრაფების პროცესშიდინებაზე მომქმედი უარყოფითი ტექნოგენური ფაქტორების არსებობა მხოლოდ ამცირებს მეტასტაბილური მდგომარეობის მიღწევის ალბათობას.

მილში სტაციონარული დინება, როგორც წესი, ერთგვაროვანია გასწვრივი მიმართულებით. სტაბილური ლამინარული დინების დროს მილში წარმოქმნილი ნებისმიერი მცირე შეშფოთება ყოველთვის ლოკალურია. თუმცა, იშვიათ შემთხვევაში, მცირე ამპლიტუდის ზოგიერთი შეშფოთება შეიძლება გადაადგილდეს დინების გასწვრივ. ასეთია მაგალითად, მცირე ამპლიტუდის მქონე ისეთი პერიოდული შეშფოთებები, რომლებიც ვრცელდება იმ ფაზური სიჩქარით, რომელიც მილში ლამინარული დინების სიჩქარის ტოლია. ამ დროს წყლის დინების ჰიდროდინამიკური სიჩქარე იცვლება მხოლოდ მილის განივ კვეთაში, ისიც გარკვეული სისქის სასაზღვრო ფენაში. ამიტომ, ლამინარულ რეჟიმში სითხის დინებას განსხვავებული განივი კვეთის ფორმის მქონე მილებში, დახურულ და ღია არხებში, აგრეთვე სხვადასხვა სიმრუდის ზედაპირების გარსდენის შემთხვევაში, ახასიათებს თვისობრივი მსგავსება. ყველა ასეთი დინება მეტნაკლებად მდგრადია მცირე შეშფოთებების მიმართ, თანაც დინების მდგრადობა შეიძლება შენარჩუნდეს რეინოლდსის რიცხვის რომელიღაც კონკრეტულ ინტერვალში. ჩვეულებრივ, ასეთ დინებებს გააჩნიათ მხოლოდ განივი ხაზოვანი მასშტაბი, მაგალითად: მილის დიამეტრი ან, სწორკუთხა არხის შემთხვევაში, მისი სიმაღლე და სიგანე. ამიტომ, მცირე პერიოდული შეშფოთებებისას გენერირებული ტალღების სიხშირული სპექტრი არ განიცდის დისპერსიას დინების მოძრაობის მიმართულებით.

ჰიდროდინამიკური მსგავსების თვალსაზრისით არსებობს სრული იდენტურობა ხაგენ-პუაზეილის დინების სხვადასხვა ტიპებს შორის. მაგალითად, ასეთ ლამინარულ დინებებს მიეკუთვნება: დინება ორ სიბრტყეს შორის; დინება კოაქსიალურ ცილინდრულ ზედაპირებს შორის; დინება წრიული განივი კვეთის მქონე გლუვ ან ხაოიან მილში. ასეთი დინებებისათვის ყოველთვის იარსებებს რეინოლდსის რიცხვის ისეთი კრიტიკული მნიშვნელობა, რომელიც იქნება ლამინარული დინების რეჟიმის ტურბულენტურში გადასვლის რიცხვითი კრიტერიუმი. საზოგადოდ, რეინოლდსის რიცხვის სიდიდე იცვლება დინების გრძივი ხაზოვანი ზომის ზრდასთან ერთად. ამიტომ, ნებისმიერ გარსდენად ზედაპირზე, სანამ რეინოლდსის რიცხვის ლოკალური სიდიდე არ გადააჭარბებს კრიტიკულ მნიშვნელობას ( $Re < Re_k$ ), ყალიბდება ლამინარული სასაზღვრო ფენა. წყლის ბლანტი ბუნების გამო სასაზღვრო ფენაში დინების სიჩქარის განაწილებას აუცილებლად გააჩნია პროფილი. მის არსებობას განაპირობებს მყარ ზედაპირზე წყლის ნაწილაკების მიკვრა, რის გამოც განივი მიმართულებით დინების სიჩქარე იცვლება ნულიდან გარკვეულ მნიშვნელობამდე. წრიული კვეთის მილის შემთხვევაში ეს არის დინების ბირთვის სიჩქარე. ამიტომ, ლამინარული სასაზღვრო ფენა წარმოადგენს

ნებისმიერი სტაციონარული დინების ფენოვანი სტრუქტურის ძირითად, ანუ რეგულარულ, შემადგენელ ნაწილს. მილის შემთხვევაში სასაზღვრო ფენის ქვედა საზღვარია მისი შიდა ზედაპირი. სასაზღვრო ფენის სისქე თანდათან მატულობს მილის რადიუსის გასწვრივ და გარკვეულ დისტანციაზე შეიძლება მისი თანაზომადიც გახდეს. ამასთან, მილის ნებისმიერ განივ კვეთაში, სიჩქარის განაწილება სასაზღვრო ფენაში ჰიდროდინამიკურ მსგავსებას ინარჩუნებს, ანუ მთლიანობაში სიჩქარის პროფილის მომვლელი წარმოადგენს პარაბოლას. ამრიგად, დაწყებული მილის ზედაპირიდან მისი სიმეტრიის ღერძის მიმართულებით სითხის დამუხრუჭების ეფექტი, გამოწვეული წყლის ფენებს შორის მხები ძაბვის მოქმედებით, თანდათან მცირდება. ამიტომ, რათა რეზერვუარიდან ან ღია კალაპოტიდან მილში შესვლის შემდეგ წყლის ხარჯი მუდმივი დარჩეს, საჭიროა, რომ დინების ბირთვში სიჩქარე სასაზღვრო ფენის სისქის თანაზომადად გაიზარდოს. მაგრამ, სიჩქარის ზრდა ნიშნავს რეინოლდსის რიცხვის ზრდას. თეორიულად, ამ დროს, თუ დინების ლამინარული რეჟიმი შენარჩუნდა, წყლის ხარჯი შეიძლება გაიზარდოს კიდევ. იმ შემთხვევაში, თუ დინება არამდგრადი გახდება, აუცილებლად განვითარდება ტურბულენტობა, რომლის გამო წყლის ხარჯი მილის კვეთაში უნდა შემცირდეს. ამრიგად, თეორიულად, დიდი რეინოლდსის რიცხვის პირობებში, მილში მაქსიმალური წყლის ხარჯის მისაღწევად, საკმარისია ლამინარული დინების რეჟიმის შენარჩუნება. მაგრამ, როგორც ეს მრავალრიცხოვანმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, ასეთი დინების რეალიზაციისათვის აუცილებელი პირობების ცალსახად დადგენა და მათი სტაბილური შენარჩუნება პრაქტიკაში შეუძლებელია. ეს რომ შესაძლებელი ყოფილიყო, სითხის გამტარი ნებისმიერი ტექნიკური ობიექტის, მაგალითად, სარწყავი არხის, ან ნავთობსადენის, ეფექტიურობა მნიშვნელოვნად გაიზარდებოდა [7].

ამრიგად, ლამინარულმა დინებამ ყოველთვის შეიძლება ტრანსფორმაცია განიცადოს ტურბულენტურში, თუმცა ამ დროს შესაძლებელია, რომ, გარსდენად ზედაპირზე ლამინარული სასაზღვრო ფენა შენარჩუნდეს რეინოლდსის რიცხვის გარკვეულ დიაპაზონში. კერძოდ, მილის შემთხვევაში ცნობილია, რომ ლამინარული დინების ტურბულენტურში გადასვლა ჩვეულებრივ იწყება მილის შესასვლელიდან რაღაც მანძილზე. ამიტომ, მხოლოდ მილის გარკვეულ სიგრძეზე, ლამინარული სასაზღვრო ფენა კვლავ იარსებებს. თუ გამოვიყენებთ ანალოგიას, აქედან გამომდინარეობს, რომ რომ ვერეს მიწისქვეშა დახურულ კალაპოტის სექციებში შესვლის შემდეგ ტურბულენტობა, ადრე თუ გვიან, მაინც განვითარდებოდა. სავარაუდოდ, ეს მოხდებოდა პირველი გვირაბის შესასვლელიდან გარკვეულ მანძილზე, რომელიც ექსტრა ორდინარულ ვითარებაში პრაქტიკულად ნულის ტოლი შეიძლება

როგორც ავღნიშნეთ, რადგანაც რეინოლდსის რიცხვის ზრდასთან ერთად იზრდება აგრეთვე მილში ლოკალურად წარმოქმნილი მცირე პერიოდული შემფოთებების ამპლიტუდა, დინება თანდათან მეტასტაბილური ხდება ( $R_e \approx R_{ek}$ ). ამ დროს წყალში წარმოიქმნება სხვადასხვა ზომის გრიგალები, ანუ იწყება ტურბულენტური პულსაციების

გენერაცია. ეს პროცესი რეინოლდსის რიცხვის გარკვეულ მნიშვნელობამდე ლოკალურ ხასიათს ატარებს. მაგრამ, თუ რეინოლდსის რიცხვის ზრდა გაგრძელდა, ტურბულენტური პულსაციები შეიძლება ჩაიტანოს დინებამ, ე.ი. ტურბულენტობის არე თანდათან გაფართოვდება და პულსაციებმა შეიძლება დაიკავოს მთელი მილი. ასეთ მდგომარეობას შეესაბამება ტურბულენტური პულსაციების მახასიათებელი ტალღური რიცხვის კრიტიკული სიდიდე, რომელიც დაკავშირებულია რომელიმე წრფივ მასშტაბთან, მაგალითად, დინების განივ ხაზოვან ზომასთან, რომელიც მილში ყოველთვის ნაკლებია მის სიგრძეზე. თეორიიდან ცნობილია, რომ ხაგენ-პუაზელის ტიპის ბრტყელი დინების შემთხვევაში ტალღური რიცხვის კრიტიკული სიდიდე ტოლია;  $K=2.04/h$ , სადაც  $h$ -მანძილია დინების შემომსაზღვრელ სიბრტყეებს შორის [6]. მსგავსი კავშირი, ოღონდაც გარკვეული რაოდენობრივი ცვლილებით, სამართლიანია წრიული კვეთის მქონე გლუვი მილის შემთხვევაშიც, რომელისათვის განივ ხაზოვან მასშტაბს წარმოადგენს მისი დიამეტრი (რადიუსი). სხვადასხვა ტიპის დინებებისათვის არსებობს მათი შესაბამისი ანალიზური კავშირები ტურბულენტური პულსაციების ტალღურ პარამეტრებსა და დინების პარამეტრებს შორის. მაგალითად, რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობების კრიტიკულ ინტერვალში, ასეთ კავშირს ბრტყელი დინების შემთხვევაში აღწერს გამოსახულება

$$\sqrt[3]{\Omega h/u} \approx (kh), \quad (14)$$

სადაც  $\Omega$ - ტურბულენტური პულსაციების სიხშირეა,  $u$ -დინების საშუალო სიჩქარე (პერიოდული შემფოთებების ფაზური სიჩქარე). ბუნებრივია, რომ არსებობს (14) გამოსახულების ანალოგი წრიული ფორმის განივი კვეთის გლუვი მილისათვისაც. ამ კავშირის ფორმა, დიდი დიამეტრის მილის შემთხვევაში, ფაქტიურად (14) გამოსახულების ანალოგიურია.

გლუვი მილისაგან განსხვავებით, ხაოიანი მილში გენერირებული შემფოთებების სპექტრში, დიამეტრის გარდა, ჩნდება სხვა წრფივი მასშტაბების შესაბამისი ტალღური რიცხვებიც. ასეთი მახასიათებელი ზომებია: მილის სიგრძე, ხაოების სიმაღლე (ტალღის ამპლიტუდის ანალოგი), აგრეთვე მანძილი მეზობელ ხაოებს შორის (ტალღის სიგრძის ანალოგი). ასეთი დამატებითი ხაზოვანი ზომების არსებობა მნიშვნელოვნად აფართოებს ტალღური შემფოთებების არეს და ცვლის მათ სიხშირულ სპექტრს, რადგანაც ჩნდება დისპერსია მილის გასწვრივ. ამასთან ერთად, განვითარებულ ტურბულენტობას ახასიათებს მცირე ზომის ტურბულენტური უჯრედების რიცხვის ზვავისებური ზრდა. ტურბულენტობის ელემენტარული უჯრედები წარმოიქმნებიან მსხვილმასშტაბოვანი გრიგალების დაშლის შედეგად. ასეთი დისიპაციური პროცესი მილში ლოკალურად იწყება, თუმცა შემფოთების არის გაფართოების გამო ის თანდათან აბსოლუტურ ხასიათს იძენს. ტალღური ფორმალიზმის ჩარჩოში, ტურბულენტური ფონის შემადგენელი ელემენტარული უჯრედები ქმნიან ტალღურ პაკეტებს. ამიტომ, დეტერმინირებული წარმოდგენით, ტურბულენტური პულსაციების სპექტრი შეიძლება გავაიგივოთ



ელემენტარული ტალღური პაკეტების ერთობლიობასთან, რომელთა გავრცელება ხდება ჯგუფური სიჩქარით

$$d\Omega / dk \sim dRe \Omega / dk \quad (15)$$

სადაც  $Re\Omega$ - კომპლექსური სიხშირის რეალური ნაწილია. საბოლოოდ, ტურბულენტური პულსაციები აბსოლუტურ ხასიათს იძენენ და სითხეში ე.წ. კონვექციური არამდგრადობის ჩანასახები ხდებიან [5,6]. თუმცა როგორც წესი, ასეთი არამდგრადობა მილში განვითარებას ვერ პოულობს და, ადრე თუ გვიან, ჩაქრება.

სითხეში მსხვილმასშტაბოვანი გრიგალების გენერაციის, ზრდისა და დაშლის პროცესში ტურბულენტური პულსაციების სპექტრი ცვლილებას განიცდის. მასთან ერთად იცვლება აგრეთვე მილში წყლის დინების მსხვილმასშტაბოვანი ჰიდროდინამიკური სურათი, რადგანაც მასში პერმანენტულად წარმოიქმნება უკუდინებები. ეს ეფექტი ამცირებს დინების საშუალო სიჩქარეს, რაც მოქმედებს წყლის ხარჯზე და ხელს უწყობს წყლის ნაკადის მექანიკური ენერჯის დისიპაციას. ამ მოვლენამ შეიძლება თხევადი გარემოს თერმოდინამიკური მახასიათებლების საგრძნობი ცვლილება გამოიწვიოს. თუმცა, სუფთა წყალში ასეთი ცვლილების ეფექტი საგრძნობი ვერ იქნება. სამაგიეროდ, ღვარცოფულ ნაკადში, მისი არაერთგვაროვნების გამო, ტურბულენტობით გამოწვეული თერმოდინამიკური ცვლილებები საკმაოდ მნიშვნელოვანი შეიძლება აღმოჩნდეს. მათ შეიძლება გავლენა იქონიონ, მაგალითად, ღვარცოფული სუსპენზიური მასის სიბლანტეზე. თუმცა, ამაზე ალბათ უფრო თვისობრივი მსჯელობა შეიძლება, ვიდრე ექსპერიმენტის გზით რაოდენობრივი შეფასებების მიღება. კერძოდ, თხევადი გარემოს კინემატიკური სიბლანტის ზრდა, თითქოს და, უნდა იწვევდეს ტურბულენტური პულსაციების ჩაქრობას, ანუ ხელს უნდა უწყობდეს დინების სტაბილიზაციას. მაგრამ, ასეთ ვარაუდს სანდო თეორიული საფუძველი არ გააჩნია. პირიქით, როგორც სასაზღვრო ფენის ჰიდროდინამიკური თეორიის მამამთავარმა ლუდვიგ პრანდტლმა ექსპერიმენტალურად დაადგინა, ჩვეულებრივი (არა რეოლოგიური) სითხის თხელი ჰორიზონტალური ფენის განივ კვეთაში სიბლანტის ზრდამ შეიძლება გამოიწვიოს დინების კინეტიკური ენერჯის ტურბულენტური პულსაციებისათვის გადაცემის პროცესის ინტენსიფიკაცია. ამის შედეგად სითხეში შეიძლება განვითარდეს სპეციფიური ტიპის, ე.წ. ტოლმინ-შლიხტინგის, არამდგრადობა [7]. სამაგიეროდ, სიბლანტის გავლენა ძლიერია რეოლოგიური სითხის, მაგალითად სისხლის, დინებაზე, მაგრამ მხოლოდ წვრილ კაპილარებში. ამიტომ ბუნებრივია, რომ, წყლისგან განსხვავებით, სისხლის დინება ყოველთვის სტაბილურია, ხოლო შესაბამისი რეინოლდსის რიცხვი- მაღიან მცირე. თუმცა, უნდა აღინიშნოს, რომ ზოგჯერ მილში წყლის დინების შემთხვევაშიც შესაძლებელია, რომ რეინოლდსის რიცხვი მცირე იყოს, ხოლო დინება- არასტაბილური. მართლაც, ი.ნიკურამის ექსპერიმენტების თანახმად, წყალში ტურბულენტობის დაწყების მკაცრი კრიტერიუმი არ არსებობს [1,2]. მაგალითად, გლუვ მილებში წყლის დინებისათვის ტურბულენტობის საწყისი რიცხვითი კრიტერიუმის სიდიდე საკმარისად

მცირეა:  $R_e \approx 10^3$ . რეინოლდსის რიცხვის ასეთი მცირე მნიშვნელობა საკმაოდ მსხვილ მილში წყლის სწრაფი დინების შემთხვევაში პრაქტიკულად გამორიცხულია. ამიტომ, რეინოლდსის რიცხვის ასეთი მახასიათებელი სიდიდისათვის ტურბულენტური დინების წარმოქმნა ფორმალურად შესაძლებელია მხოლოდ ისეთ სითხეში, რომელსაც გააჩნია დიდი კინემატიკური სიბლანტე. თუმცა, თეორიულად, განსაკუთრებით ხელშემწყობ პირობებში ( ნაწილობრივ დატვირთული გლუვი მილი), დინების ლამინარული რეჟიმი შეიძლება შენარჩუნდეს იქამდე, სანამ  $R_e \leq 10^5$ . ამის შემდეგ მილში მდგრადი დინების რეჟიმის შენარჩუნება შეუძლებელი ხდება. სწორედ ამის გამო, საიმედო ექსპერიმენტული მონაცემები არსებობს მხოლოდ რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობამდე:  $R_e \approx 10^7$  [1,2,6].

საზოგადოდ, გლუვი მილის ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობა ტურბულენტური მოძრაობის საწყის მომენტში ნახტომისებურად იცვლილება. მაგრამ, წინააღმდეგობის შემცირება არ ნიშნავს წყლის ხარჯის გაზრდას, რადგანაც ტურბულენტობის დონის ზრდის შესაბამისად, დინების საშუალო სიჩქარე მილის გასწვრივ მცირდება. ვერეს უკანასკნელი წყალმომარაგებისას, პრინციპში, სწორედ ასეთი ეფექტი შეიძლება განვითარებულიყო უკვე დახურული კალაპოტის თავში, თამარაშვილის მაგისტრალის ქვეშ გამავალ გვირაბში. ამის გამო შემდგომ გვირაბში და შესაბამისად, მთელ დახურულ კალაპოტშიც, წყლის ხარჯი უნდა შემცირებულიყო. ამიტომ, არალოგიკური და ფიზიკურად უსაფუძვლოა ტრივიალური შეხედულება, რომ წყლის შეგუბებამ სვანიძის ქუჩაზე საწყისი დაუდო ვერეს ხეობის არნახულ დატბორვას თამარაშვილის მაგისტრალის შემდეგ. ჩვენთვის აშკარაა, რომ აქ განლაგებული გვირაბების გამტარუნარიანობა რომ არ შემცირებულიყო, მხოლოდ მოსული ნალექის ხარჯზე წყლის დონე კატასტროფულად ვერ გაიზრდებოდა.

**დასკვნა.** მდინარე ვერეს 13.07.2015 წ. კატასტროფული წყალდიდობა გამოწვეული იყო როგორც ობიექტური, ასევე სუბიექტური მიზეზებით. მოხდა ანომალური ბუნებრივი მოვლენების (კოკისპირული წვიმა, გიგანტური მასშტაბების ღვარცოფი) ზედდება ვერეს დახურული კალაპოტის ტექნოგენურ ხარვეზებზე. ჩქაროსნული გზის მონაკვეთის ვერეს ხეობაში გაყვანამდე მდინარის ბუნებრივი კალაპოტი, დიდი წყალმომარაგების შემთხვევაშიც კი, ხანმოკლე დატბორვის შემდეგ ჩვეულებრივ უზრუნველყოფდა წყლის ზედმეტი მასის გატარებას მტკვრის მიმართულებით. როგორც რადიოლოკაციურმა დაკვირვებამ აჩვენა, ნალექების ინტენსივობა ამ პროცესის დროს, რომელიც გრძელდებოდა ხუთ საათზე მეტ ხანს, აჭარბებდა 100 მმ/სთ [8,9]. კრიტიკული ვითარების წარმოქმნა 13.06.2015 წლის ღამეს, როდესაც თავდაპირველად წყალი შეგუბდა სვანიძის ქუჩაზე, რასაც უხვ ნალექთან ერთად, ხელი შეუწყო პირველი გვირაბის შესასვლელის ჩახერგვამ. ამ გვირაბის გახსნის შემდეგ გაჩნდა დატბორვის მეორე ზონა, რომლის წარმოქმნა მნიშვნელოვნად განპირობებული იყო ვერეს დახურული კალაპოტის სპეციფიკით. ამ კონსტრუქციის მთავარ ხარვეზად მიგვაჩნია გვირაბების გოფირებული შიდა ზედაპირის ტალღისებური ხაოიანობა, რომელის ზომა, ჩვენი თეორიული შეფასების თანახმად, აჭარბებდა სამშენებლო ნორმებით დადგენილს.

ხაოიანობის ფაქტორი, დახურული კალაპოტის ექტრემალური დატვირთვის პირობებში, ტურბულენტობის მკვეთრად გაძლიერებას, ანუ გვირაბების ჰიდრავლიკური წინააღმდეგობის გაზრდას გამოიწვევდა, რაც მათი გამტარუნარიანობის შემცირების ექვივალენტურია. რადგანაც თამარაშვილის მაგისტრალი ვერეს ხეობის წყალგამყოფი აღმოჩნდა, საკმაოდ სარწმუნოა, რომ სწორედ გვირაბებში წყლის ხარჯის შემცირების ეფექტი გახდა წყალდიდობის მთავარი მიზეზი თამარაშვილის მაგისტრალსა და ზოოპარკს შორის.

### ლიტერატურა

1. Шлихтинг Г.. Теория пограничного слоя. Гл. XX , М., Наука, 1974.
2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа, гл. X. М., Наука, 1973 ,
3. კერესელიძე დ., ალავერდაშვილი გ., კიკნაძე დ., ცინცაძე ნ., კოკაია ნ. კატასტროფული წყალმოვარდნები მდ. ვერეზე და მათი გაანგარიშების მეთოდოლოგია. თსუ შრომები, სერია გეოგრაფია, N 8-9, 2011.
4. СП 102.13330.2012.Туннели гидротехнические. Актуализированная редакция, СНиП 2.06.09-8, 2012.
5. Бетчов Р., Криминале В. Вопросы гидродинамической устойчивости. Гл.10, М., Мир,1971.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. Гл. 4, М., Наука, 1988.
7. Гидродинамические неустойчивости и переход к турбулентности. Под редакцией Суинни Х. и Голлаба Дж. Гл.3. Джозеф Д. Гидродинамическая устойчивость и бифуркации; гл.7. Маслоу С.А. Неустойчивости и переход в сдвиговых течениях. М., Мир, 1984.
8. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghloni 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, 2015, p. 92-106.
9. Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. Р., Иобадзе К.В., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Самхарадзе И.Н., Хурцидзе Г.Т., Церетели А.Г., Цхведиашвили Г.Н., Чхаидзе Б.Д. Некоторые примеры сильных ливней в восточной Грузии по данным радиолокационных наблюдений 2015 года. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 66, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2016, с. 75-83.

**მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დახურული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა**

**კერესელიძე ზ., შერგილაშვილი გ.**

**რეზიუმე**

მდინარე ვერე წარმოადგენს ტიპიურ მთის მდინარეს, რომლის ხეობის სიგრძე 40 კილომეტრზე მეტია, სიმაღლეთა სხვაობა თითქმის კილომეტრნახევარი, ხოლო

სამშალაოწლიური წყლის ხარჯი  $Q \approx 1\text{მ}^3 \text{წმ}^{-1}$ . ხშირი წყალმოვარდნების გამო ეს მდინარე ითვლება ერთ-ერთ ყველაზე სახიფათოდ აღმოსავლეთ საქართველოში, რადგან ამ შემთხვევებში წყლის ხარჯი თითქმის ორი ხარისხით აჭარბებს სამშალაოწლიურ მაჩვენებელს. როგორც წესი, ეს წყალმოვარდნები ყოველთვის იწვევდა ძლიერ დატბორვას, თუმცა კატასტროფული შემთხვევა, რომელსაც ადგილი ჰქონდა ამ მდინარის ხეობის ქვემო წელში 13.06.2015 წ. ჩვენი აზრით, გამოწვეული იყო არა მარტო ბუნებრივი, არამედ ტექნოგენური მიზეზებითაც. მდინარე ვერეს დახურული ფოლადის გოფირებული ზედაპირის მქონე კალაპოტის ნეგატიური ზემოქმედება ზოგიერთ უბანზე მისი მნიშვნელოვანი სიმრუდის გათვალისწინებით, პროცესის მოდელირებით მიღებული შეფასებით შეიძლება კრიტიკული გამხდარიყო. შესაძლო შედეგი იქნებოდა დახურული კალაპოტის ჰიდრაულიკური წინააღმდეგობის გაზრდა, რასაც მოჰყვა მისი ნაწილობრივი ჩაკეტვა და შედეგად, დატბორვა.

## **OVERFLOW OF VERE RIVER ON 13 JUNE 2015 AND HYDRODYNAMIC PROBLEM OF CLOSED CHANNEL**

**Kereselidze Z., Shergilashvili G.**

### **Abstract**

The river Vere is a typical mountain river with its gorge of more than 40 km length, range of heights up to 1500 m and average annual water flow quantity of  $Q \approx 1 \text{ M}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . This river is considered to be one of the most dangerous rivers in the east Georgia due to its frequent overflows, characterized by flow quantities exceeding the average annual value by one hundred times. Continuous and full-scale meteo-hydrological observations on Vere River flow regime count more than half-a-century history. Besides, there exist quite reliable data on individual overflows of the river starting from the last decade of the 19<sup>th</sup> century and to the first half of the 20<sup>th</sup> century. As a rule, the mentioned overflows used to cause strong floods. However, in our opinion, the catastrophic flood in the lower part of the Vere river gorge on 13 June 2015 was caused not only by natural factors, but man-caused reasons as well. It seems that the result of objectively arisen anomalous natural phenomenon (downpour) coincided with a negative technical factor related to construction deficiency of the recently built closed channel of the Vere River. Such hydro-technical solution was driven by construction of a highway section passing through the gorge of this mountain river. However, as it seems, the project did not consider in a due manner the possibility of a critical increase of hydraulic resistance of a closed channel during its full load. Relatively, the possibility of partial blocking of the closed channel due to the effect of this factor was neglected. Development of such critical situation was probably caused by theoretically not sufficiently substantiated construction of some curved sections of the closed channel, which stretch at a significant length. These sections were made of combination of parts with corrugated steel surface and reinforced concrete surface. Total negative effect of steel surface

roughness, in combination with significant curvature of some areas of the closed channel, according to model estimations could be critical. A probable consequence of this was an increase of hydraulic resistance, which caused a partial blockage of the closed channel. It was followed by a massive flood within the precincts of Tbilisi with the tragic outcome.

## **ПАВОДОК РЕКИ ВЕРЕ 13.06.2015 ГОДА И ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРОБЛЕМА ЗАКРЫТОГО РУСЛА**

**Кереселидзе З., Шергилашвили Г.**

### **Реферат**

Река Вере представляет собой типичную горную речку с ущельем длиной более 40 км, перепадом высот около полторы тысячи метров и среднегодовым расходом воды  $Q \approx 1 \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ . Эта река считается одной из самых опасных в Восточной Грузии из-за часто повторяемых паводков, характеризуемых расходом воды более чем на два порядка превышающим среднегодовое значение. Непрерывные полноценные метео-гидрологические наблюдения за режимом течения р. Вере охватывают более чем полувековой период. Кроме этого, имеются также достаточно надежные данные об отдельных паводках, начиная с последнего десятилетия девятнадцатого до второй половины двадцатого века. Как правило, эти паводки неизменно вызывали сильное наводнение. Однако катастрофическое наводнение, имевшее место в нижней части ущелья р. Вере 13.06.2015 г., по нашему мнению, было вызвано не только естественными, но и техногенными причинами. Представляется, что произошло наложение результата объективно возникшего аномального стихийного явления (проливной дождь) на негативный технический фактор, связанный с конструктивным недостатком недавно построенного закрытого русла р. Вере. Такое гидротехническое решение было вызвано строительством участка скоростной дороги, проходящим в ущелье этой горной реки. Однако, по всей видимости, в проекте не была должным образом учтена возможность критического возрастания гидравлического сопротивления закрытого русла при его полной нагрузке. Следовательно, была игнорирована возможность частичного запираения закрытого русла из-за действия этого фактора. Развитию подобной критической ситуации, вероятно, способствовала теоретически недостаточно обоснованная конструкция некоторых криволинейных секций закрытого русла, имеющих значительную длину. Эти секции являлись комбинацией участков с поверхностью из гофрированной стали и поверхностью из железобетона. Суммарное негативное действие шероховатости стальной поверхности, при значительной кривизне некоторых участков закрытого русла, по модельным оценкам, могло быть критическим. Вероятным следствием этого было возрастание гидравлического сопротивления, в результате чего произошло частичное запираение закрытого русла. За этим последовало обширное наводнение в черте города Тбилиси, приведшее к трагическим последствиям.

ეკოლოგიური მეცნიერების ამოცანები საქართველოში ეკოლოგიური კრიზისის  
დაძლევისათვის

<sup>1</sup>ციციშვილი მ., <sup>2</sup>ჯაფარიძე ნ., <sup>3</sup>ზაზარაძე ქ., <sup>4</sup>ზაზარაძე რ.

<sup>1</sup>საქართველოს ეკოლოგიურ მეცნიერებათა აკადემია (თბილისი), *eco\_marat@rambler.ru*  
<sup>2</sup>საქართველოს შრომის, ჯანმრთელობისა და სოციალური დაცვის სამინისტრო  
<sup>3</sup>საქართველოს ფიზიკური აღზრდისა და სპორტის სახელმწიფო სასწავლო უნივერსიტეტი  
<sup>4</sup>საქართველოს აგრარული უნივერსიტეტი

ეკოლოგიური კრიზისი წარმოადგენს თანამედროვე ცივილიზაციის პროგრესის მთავარ ალტერნატივას. სახეზეა მომავალი ეკოლოგიური კატასტროფის ყველა ნიშანი, როგორცაა: წიაღისეულისა და ენერგორესურსების მზარდი მოხმარება, მიწის ნაყოფიერებისა და სახნავ-სათესი ტერიტორიების ფონზე ბიოსფეროს დეგრადაცია, ფლორისა და ფაუნის ნაირსახეობის შემცირება, გარემოს მზარდი დაბინძურება და შედეგად სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემცირება ინდუსტრიულ რეგიონებში.

განსაკუთრებულ შემფოთებას იწვევს ადამიანის შინაგანი სამყაროს – ადამიანის ფსიქიკის დეგრადაციის პირდაპირი და არაპირდაპირი ფაქტები, რაც გამოიხატება არამარტო ფსიქიკური დაავადებების ზრდით, არამედ არაადეკვატური რეაგირების გაზრდით გარემო პირობებში – გაზრდილი მიგრაცია და სუიციდის შემთხვევები.

ეკოლოგია XX საუკუნის დასაწყისსა და XXI საუკუნეში – მეცნიერების ხელახლა ფორმირებადი მიმართულებას, რომელიც მოიცავს ისეთ მნიშვნელოვან ასპექტებს, როგორცაა მაგალითად: მორალურ-ეთიკურ-ფილოსოფიური პრობლემები მუდმივად ცვალებად მსოფლიოში [1-6].

**შრომის მიზანი.** საქართველოში ეკოლოგიური კრიზისის დაძლევის მიმართულებებისა და რეკომენდაციების შემუშავება თანამედროვე მიღწევების გათვალისწინებით.

**კვლევის მეთოდები.** გამოყენებულ იქნა სისტემური ანალიზის მეთოდი და გაანალიზებულ იქნა ბოლო ათი წლის საერთაშორისო გამოცდილება. კომპლექსურად მოხდა ეკოლოგიური სიტუაციის შეფასება და ჩამოყალიბდა სისტემის გაუმჯობესების გზები.

**კვლევის შედეგები და განსჯა.** უნდა აღინიშნოს, რომ ძალიან დიდია დანახარჯები მომხდარი ეკოლოგიური კატასტროფების აღმოფხვრაზე, დაბინძურებული გარემოს დასუფთავებასა და რეაბილიტაციაზე, მაგრამ ხშირ შემთხვევაში შეუძლებელი ხდება პირვანდელი გარემო პირობების აღდგენა. მხოლოდ ეკოლოგები არ ეთანხმებიან მოსაზრებას იმის შესახებ, რომ წინ გველის არამარტო ბუნებრივი რესურსების დეფიციტი, არამედ ფინანსური ბაზრების კრიზისი და ფასების ზრდა. უმრავლესობას სჯერა, რომ ბუნებრივი რესურსების მოხმარების უსაფუძვლო ზრდამ გამოიწვია ეკონომიკური კრიზისი. მხოლოდ რესურსების პრობლემის გადაჭრით, ჩვენ შევძლებთ დავუბრუნდეთ ფინანსურ ზრდას [3-7].

ზემოაღნიშნული კიდეც უფრო მწვავედ ეკონომიკური კრიზისის გამო. ისმის კითხვა, თუ როგორია კავშირი ფინანსურ და ეკოლოგიურ კრიზისის შორის? შეიძლება თუ არა ჩაითვალოს, რომ კრიზისის ორივე სახეობას ერთდროულად უნდა გავუმკლავდეთ? ან ჩვენ, როგორც წესი ჯერ თავდაპირველად უნდა შევცვალოთ დამოკიდებულება გარემოს მიმართ და მხოლოდ შემდგომ დავიწყოთ ეკონომიკის გაძლიერება?

საქართველოს ეკოლოგიური მდგომარეობა, სოფლის მეურნეობის მიმართულებით არასახარბიელოა. დღესდღეობით საქართველოში არ არის ერთიანი გარემოსდაცვითი პოლიტიკა და სტრატეგია, არ არის შემუშავებული რეგიონული კონცეფცია, დოქტრინა და ალტერნატივა. მსოფლიოს ბუნების დამცველთა ორგანიზაციების აქტიურობის მიუხედავად, აუცილებელია კავკასიის რეგიონში აღნიშნული საქმიანობის ახალ ხარისხობრივ რეგიონულ დონეზე დაყენება [1-3].

ჩვენს მიერ განხორციელდა შესაბამისობის ანალიზი და გამოიკვეთა პრიორიტეტული მიმართულებები გარემოს დაცვის თვალსაზრისით, რომლებიც დამატებით უნდა გაშუქდეს სწავლების პროცესში. გადაუდებელი ამოცანებია შემდეგი (გამოყოფილია მნიშვნელოვანი):

-გარემოსდაცვით სფეროში – მონიტორინგის ქსელის გადაუდებელი აღდგენა-ოპტიმიზაცია;

-ეკოლოგიის დაცვის სფეროში – კვებისა და სოფლის მეურნეობის პროდუქციის მიკროელემენტების დონეზე გაშიფვრა: ხარისხის, აგროტექნიკური პირობების, რეგიონის, ნიადაგისა და კლიმატური პირობების მითითებით;

-რეგიონულ ჭრილში – ხარისხის კადასტრის შექმნა და მუდმივი მონიტორინგი, წყლის ხარისხის მონიტორინგი ძირითად მაგისტრალებსა და წყლის წყაროების ძირითად ჯგუფებში. წყალი არის ქვეყნის სიმდიდრე, არ შეიძლება დროის უქმად დაკარგვა – სასწრაფოდ არის გასატარებელი მთელი რიგი ღონისძიებები წყლის სისუფთავის დაცვის მიზნით;

-ჯანმრთელობის დაცვის სფეროში – რეგიონულ ჭრილში სხვადასხვა დაავადების ანალიზი, განსაკუთრებით სისხლისა და სისხლის მიმოქცევის სისტემის დაავადებების მიხედვით. ამ მიმართულებით საქართველოში უკვე სრულდება საინტერესო და მნიშვნელოვანი გამოკვლევები სხვადასხვა მეტეო-გეოფიზიკური ფაქტორების, მათ შორის ოზონისა და ფოტოქიმიური სმოგის ზემოქმედების შესახებ ადამიანის ჯანმრთელობაზე [8-19].

- ეკოლოგიური განათლების საკითხებს უნდა მიექცეს დიდი ყურადღება.

ჩვენს მიერ გაანალიზდა დიდი მოცულობის პრაქტიკული ხასიათის მასალა და ჩავატარეთ ეკოლოგიური განათლების თემაზე სადისერტაციო ნაშრომების და მათი ავტორეფერატებისა და თანამედროვე სახელმძღვანელოების ანალიზი.

ბოლო წლებში საგანმანათლებლო სისტემაში ხშირად გამოიყენება ისეთი თავები, რომლებიც ეძღვნება “წარმატების მიღწევას”. აღნიშნული თავები შეტანილია მეზობელი უკრაინის უმაღლესი სასწავლებლების საგანმანათლებლო პროგრამებში. ეს გასაზიარებელი გამოცდილებაა.

**შეჯამება.** უნდა აღინიშნოს, რომ ჯერ კიდევ ბევრი რამ არის გასაკეთებელი ეკოლოგიური კვლევების სფეროში ქვეყნის მდგრადი განვითარებისა და რეალურად არსებული ეკოლოგიური კრიზისის დასაძლევად. ეს იქნება შესაძლებელი, როდესაც:

- გამოკვლეულია ეკოლოგიური განათლების სფეროში (ფორმალური და არაფორმალური) ფაქტობრივი მდგომარეობა. ფორმულირებულია მოსახლეობის ეკოლოგიური თვითგანვითარების გაზრდის რეკომენდაციები, შემუშავებულია რეგიონული პროგრამები, ზაფხულის ეკოლოგიური ბანაკები, რომელთა ჩატარების მრავალწლიანი გამოცდილება გათვალისწინებულია რეკომენდაციებში.

ნათელია, რომ საქართველოს ეკოლოგიური დეგრადაციის თავიდან აცილების მიზნით და მთლიანად კავკასიის რეგიონის, მდგრადი განვითარების მისაღწევად, აუცილებელია შემდეგი ორგანიზაციული რეკომენდაციების გათვალისწინება გარემოსდაცვითი სახელმწიფო სტრუქტურების მიერ:

- შემოღებულ უნდა იქნას უწყვეტი ეკოლოგიური განათლება, ეკოლოგიური სამეცნიერო კვლევების მაქსიმალური მხარდაჭერით სპეციალური პრიორიტეტული პროგრამებისა და გრანტების ფარგლებში;

- დაკანონდეს ეკოლოგიური ეთიკა, როგორც თანამედროვე საზოგადოების ფუნქციონირების ჩვეულებრივი ნორმა, რომელიც პასუხისმგებელია პლანეტის ცოცხალ არსებებზე.

საქართველო მსოფლიო მნიშვნელობის ქვეყანაა ევროპის რეგიონში ენდემური ბუნების თვალსაზრისით. 21-ე საუკუნე არის კრიზისული. ადამიანის მატერიალური საჭიროებების მხარდა რეგლამენტირების პირობებში შესაძლებელი იქნება მხოლოდ ქვეყნის ეკონომიკის მდგრადი განვითარების შენარჩუნება.

ამ მიმართულებით მრავალი კომპლექსური ხასიათის ღონისძიებებია შესაძლებელი და გასატარებელი. მათი პრაქტიკული რეალიზაცია სახელმწიფო სტრუქტურების ინტერსექტორულ თანამშრომლობას მოითხოვს.

## ლიტერატურა

1. ეკოლოგიის (განათლების, მეცნიერების, პოლიტიკის) პრობლემები (ნაშრომის სამენოვანი კრებული). (მ. ციციშვილის და ა.ჩხარტიშვილის რედაქტორობით). ტომი 1. გამომც. “კოპი რუმი”, თბილისი, 2012, 279 გვ.
2. ეკოლოგიის (განათლების, მეცნიერების, პოლიტიკის) პრობლემები (ნაშრომის სამენოვანი კრებული). ტომი 11. გამომც. “კოპი რუმი”, თბილისი, 2014. 403 გვ.
3. ეკოლოგიის (განათლების, მეცნიერების, პოლიტიკის) პრობლემები (ნაშრომის სამენოვანი კრებული). ტომი 11, გამომც. “კოპი რუმი”, თბილისი, 2014. 306 გვ.
4. Кормилицын И.И., Цицкишвили М.С., Яламов Ю.И. Основы экологии. Мин. образ. РСФСР. МПУ, МЭИ. М.:, “ИНТЕРСТИЛЬ”, 1997, 365 с.
5. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. Л., “Гидрометеиздат”, 1979, 375 с.
6. Хуродзе Р., Кормилицын В., Цицкишвили М. Инженерная экология. Тб. ГТУ, Тбилиси, 1996, 422 с.
7. Black Sea Energy Resource Development and Hydrogen Energy Problems. NATO Science for Peace and Security Series – C: Environmental Security. Springer. (Edited by Ayfer Veziroglu and Marat Tsitskishvili. ISBN 978-94-007-6157-5. ISSN 1874 6519, 2013, 438 p.
8. Амиранашвили А., Чихладзе В., Киркитадзе Д., Тархнишвили Л., Амиранашвили Г., Чихладзе А. Радиационные риск-факторы и безопасность населения, Тбилиси. 2005, 32 с., <http://dSPACE.nplg.gov.ge/handle/1234/18488>
9. 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.
10. Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Картвелишвили Л. Г., Нодия Х.А., Хуродзе Т.В. Влияние эффективной температуры воздуха и магнитных бурь на здоровье населения г. Тбилиси. Материалы межд. конф. «Климат, природные ресурсы, стихийные катастрофы на Южном Кавказе», Тр. Ин-та гидрометеорологии, том № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 18-19 ноября, 2008, с. 434–437.



11. Amiranashvili A., Chelidze L., Gvinianidze K., Melikadze G., Todadze M., Trekov I., Tsereteli D. Radon Distribution and Prevalence of Lung Cancer in Several Areas of West Georgia, *Trans. of the Institute of Hydrometeorology*, vol. No 115, ISSN 1512-0902, Tbilisi, 18 – 19 November, 2008, p. 349–353.
12. 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, Тбилиси, 2010, с. 177–188.
13. ამირანაშვილი ა.გ., დანელია რ.ა., მირიანაშვილი კ.იუ., ნოდია ხ.ა., ხაზარაძე კ.რ., ხუროდზე თ.ვ., ჩიხლაძე ვ.ა. О применимости шкалы эквивалентно-эффективной температуры воздуха в условиях города Тбилиси. *Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа*, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с. 216-220.
14. 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/>.
15. ამირანაშვილი ა., ბლიაძე თ., ჩიხლაძე ვ. ფოტოქიმიური სმოგი თბილისში. მონოგრაფია, ი. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ISSN 1512-1135, ტომი 63, თბილისი, 2012, 160 გვ.
16. 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, p. 31-38.
17. ამირანაშვილი ა.გ., ბლიაძე თ.გ., კირკიტაძე დ.დ., ჩიხლაძე ვ.ა., ჩანკვეთაძე ა.შ. 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 2014, Москва, 2014, с. 68.
18. ამირანაშვილი ა., ტაბიძე ნ., ნინუა თ., ჩიხლაძე ვ., ციციშვილი მ. ს., გოგინავა ი., ფხალაძე მ., ლეკვიშვილი ი., ბაქუზანაშვილი თ., ჩხარტიშვილი ა., მამაგეიშვილი დ., ციციშვილი, მ. მ. მობილური კავშირის ეკოლოგიური პრობლემები საქართველოში. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის „ეკოლოგიის თანამედროვე პრობლემები“ მოხსენებათა კრებული, ISSN 1512 -1976, ქუთაისი 2014, გვ. 225-233.
19. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Chikhladze V., Japaridze N., Khazaradze K. The monthly variations in mortality from the cardiovascular diseases in Tbilisi. *Georgian Medical News*, No 5 (242), 2015, pp. 53-59.

ეკოლოგიური მეცნიერების ამოცანები საქართველოში ეკოლოგიური კრიზისის დაძლევისათვის

ციციშვილი მ., ჯაფარიძე ნ., ხაზარაძე ქ., ხაზარაძე რ.

რეზიუმე

ნაშრომში გაანალიზებულია არსებული ეკოლოგიური და ფინანსური კრიზისის პრობლემები. შეჯამებულია ეკოლოგიური კვლევების შედეგები. დასახულია ეკოლოგიური კრიზისის გადაჭრის გზები.

უნდა აღინიშნოს, რომ საქართველოს ეკოლოგიური მდგომარეობა, სოფლის მეურნეობის მიმართულებით არასახარბიელოა. დღესდღეობით საქართველოში არ არის ერთიანი გარემოსდაცვითი პოლიტიკა და სტრატეგია, არ არის შემუშავებული რეგიონული კონცეფცია, დოქტრინა და ალტერნატივა. ჩვენს მიერ განხორციელდა შესაბამისობის ანალიზი და გამოიკვეთა პრიორიტეტული მიმართულებები გარემოს დაცვის თვალსაზრისით, რომლებიც დამატებით უნდა გაშუქდეს სწავლების პროცესში.

**CHALLENGES FOR ECOLOGICAL SCIENCE ADDRESS ECOLOGICAL CRISIS  
IN GEORGIA**

**Tsitskishvili M., Japaridze N., Khazaradze K., Khazaradze R.**

**Abstract**

The paper analyzes the environmental and financial problems. We have summarized the results of environmental studies. It is important to mention that the solutions to overcome the ecological crisis are defined.

We conducted compliance analysis and outlined prioritized directions regarding environmental protection, which must be covered in the learning process. The urgent goals are the followings (the most important tasks are pointed out):

- in the sphere of environmental protection - emergency recovery of monitoring network – optimization;
- in the sphere of ecological protection - deciphering the food and agricultural production on the levels of micronutrients, such as: referring quality, agro-technical terms, the region's soil and climatic conditions;
- In the regional context – creation of quality cadaster and permanent monitoring, water quality monitoring of the main water sources for highways and major groups. The water is the wealth of the country, we should waste time – a series of measures should be taken in order to protect the water purity;
- in the sphere of healthcare - analysis of the disease in different regional context, especially by the blood and blood circulation system diseases;
- the great attention should be given to ecological issues' education.

Georgia is an important country in the European region in terms of endemic nature. The 21st century is critical. It will be possible to maintaining sustainable development of national economy by regulating human being material needs in the growing conditions.

The complex measures must be developed and implemented in these directions. These practical realizations need inter-sectorial collaboration of state structures.

## **ЗАДАЧИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАУКИ ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА В ГРУЗИИ**

**Цицкишвили М.С., Джапаридзе Н.Д., Хазарадзе К.Р., Хазарадзе Р.Р.**

### **Реферат**

В работе проанализированы проблемы наступившего экологического и финансового кризиса. Подытожены некоторые достижения в области экологических исследований. Намечены пути преодоления экологического кризиса.

Нами сделан соответствующий анализ и выделены приоритетные направления практической деятельности в области охраны природы, которые должны быть дополнительно освещены в процессе преподавания. Неотложные задачи (выделены главнейшие):

- в области природоохраны – срочное восстановление- оптимизация сети мониторинга, с его дифференциацией: реально фоновый, импактный, урбанистский-гигиенический, которой нет и без которой эта система не имеет смысла;

- в области экологии человека – микроэлементная кадастрация всей пищевой и сельскохозяйственной продукции: по сортам, агротехническим условиям, регионам, почвенным и климатическим условиям;

- в региональном плане – кадастрация и постоянный мониторинг качества и водопотребления на основных водных магистралях и водоисточниках всех групп. Вода будет источником богатства страны, но нельзя упускать время – срочно должны быть проведены большие организационные мероприятия,

- в сфере здравоохранения - в региональном плане анализ разных заболеваний, особенно заболеваний крови и системы кровообращения,

- необходимо уделять большое значение вопросам экологического образования – основного условия и гаранта перехода на устойчивое развитие.

Общемировое значение Грузии велико: сегодня это последний регион в Европе с нетронутой реликтовой и эндемичной природой.

Двадцать первый век будет кризисным в истории человечества – до предела обострятся экологические проблемы. Переход на устойчивое развитие человечества будет возможен только при строжайшем регламентировании все возрастающих материальных потребностей человека.

Необходимо разработать и реализовать меры комплексного характера по защите экологии.

Практическая реализация комплексных мер требует межсекторального сотрудничества государственных органов.

## КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Хоргуани Ф.А. Агзагова М.Б.

ФГБУ Высочегорный геофизический институт, Нальчик, КБР РФ, madrid-nal@yandex.ru

В последнее время уделяется большое внимание изучению особо опасных явлений погоды. Под опасными метеорологическими явлениями (ОМЯ) понимаются такие явления, которые по своей интенсивности, продолжительности и площади распределения могут нанести значительный ущерб народному хозяйству [1].

Территории Северного Кавказа и Краснодарского края характеризуются, в общем, благоприятными климатическими условиями для роста и развития сельскохозяйственных культур. Однако, особенности физико-географического положения территории и циркуляционных процессов обуславливают большое разнообразие климатических условий и сравнительно частую повторяемость различных опасных явлений погоды, таких как град, сильный ветер, ливни, пыльные бури, сели и др. [2-5].

Для прогноза и уменьшения потерь от опасных метеорологических явлений необходимо, прежде всего, знать закономерности распределения этих явлений по территории и повторяемость их в различные годы и сезоны [2,4,5].

В работе были использованы данные технических обзоров и агрометеорологических ежегодников Северо-Кавказского управления ГМС за 1987-2007 гг. Всего было обработано 1700 случаев особо опасных явлений.

Особый интерес в связи с этим представляет исследование горных местностей со сложной орографией, в регионе Северного Кавказа.

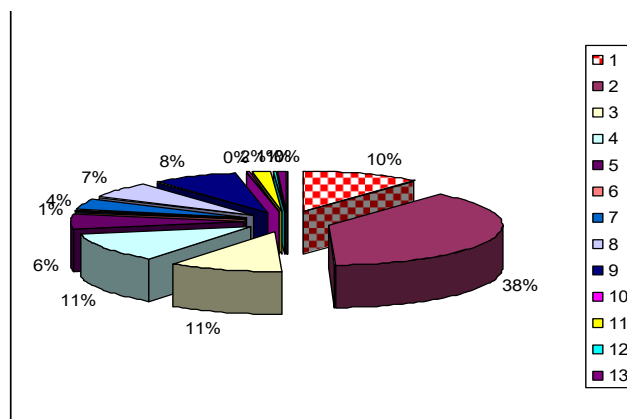


Рис 1.

Доля числа случаев (по видам опасных явлений ) за 1987-2010 гг.

1. Ураган, пыльные бури, смерчи >29 м/с (10%) (далее ОМЯ-по часовой стрелке); 2. Сильный дождь, ливень (38%); 3. Крупный град; 4. Шторм, ветер, шквал <29 м/с; 5. Повышенная температура, засуха; 6. Метели; 7. Пониженная температура, заморозки; 8. Гололедно-изморозные явления; 9. Сильные зимние явления; 10. Фен; 11. Паводок; 12. Лавины; 13. Грозы.

Рассмотрим повторяемость ОМЯ в годовом и сезонном ходе с 1987-2007 гг. (среднемесячные за весь период в %, отношение числа случаев ОМЯ за данный год к общему их числу в %) и выявим наиболее активные районы их деятельности.

В результате анализа данных оказалось, что в целом для Северного Кавказа наибольшая повторяемость приходится на сильные ливневые осадки, сопровождающиеся наводнением, что составляет 38 % всех ОМЯ. Затем высокая повторяемость приходится на шквальные ветры и пыльные бури (11%) и на ураганные ветры (10%) (рис.1).

Статистические данные об ОМЯ показывают, что на территории Северного Кавказа опасные метеорологические процессы не редкое явление [3,4]. В период с 1987-2007 гг. особенно это проявилось в 1999 г. и 2000-2001 гг., когда было зарегистрировано 105 и 130 опасных явлений соответственно. Ежегодный прирост количества ОМЯ составляет около 5.2 %. Эта тенденция почти сохраняется.

На рис. 2 представлена повторяемость ОМЯ в различные годы на Северном Кавказе за период 1987-2007 гг.

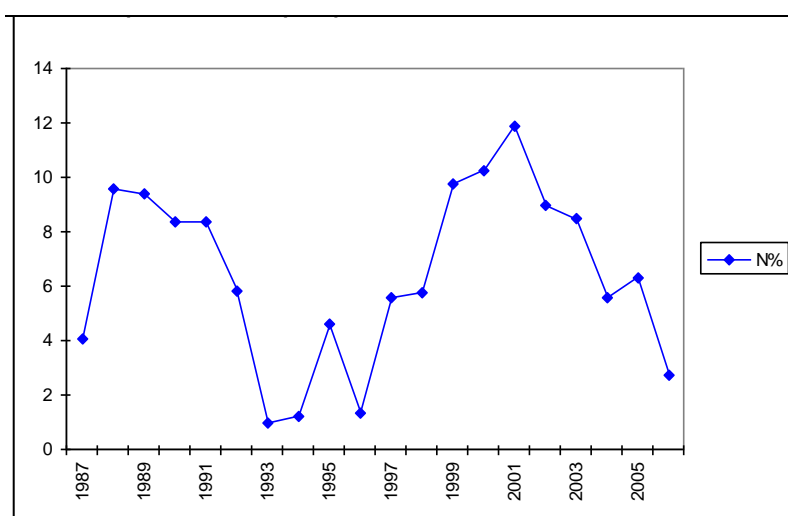


Рис. 2

Среднегодовое распределение ОМЯ.

Табл. 1

Районирование территории Северного Кавказа по повторяемости опасных метеорологических явлений.

Территория (район)	Число случаев ОМЯ			
	Min за год	Max за год	За 20 лет	В % за 20 лет
1. Краснодарский край (1)	12	140	858	54.01
2. Ставропольский край (2)	11	99	475	28.8
3. КБР (3)	8	37	151	6.97
4. Северная Осетия -Алания (3)	4	29	144	7.49
5. Чеченск., Ингушск. респуб.(4)	4	23	72	2.79
Всего по Северному Кавказу	39	328	1700	100

Примечание: В скобках дан номер, присвоенный региону в результате районирования по повторяемости ОМЯ.

Наибольшее число случаев ОМЯ отмечено в Краснодарском и Ставропольском краях 55% и 30% соответственно. Максимум приходится на Краснодарский край в 2002 г. (140 случаев) и в 1999 г. (108 случаев), когда число ОМЯ было максимальным для всего Северного Кавказа (табл. 1). Минимальное число случаев с опасными явлениями погоды было отмечено в 1993, 1996 гг. (менее 12). Особо опасные метеорологические явления часты и в Ставропольском крае, где максимума они достигали в 1999, 2000, 2002 гг. (87-99 случаев в год). Наименьшее их число было отмечено в 1987, 1994 гг. (до 11 случаев в год).

Наибольшая подверженность Краснодарского и Ставропольского краев воздействию этих явлений объясняется, видимо, особенностями климата, которые в свою очередь зависят от ряда факторов (орографии, циркуляционных особенностей и т.д.) [4].

Рассмотрим особенности сезонного распределения ОМЯ (рис.3).

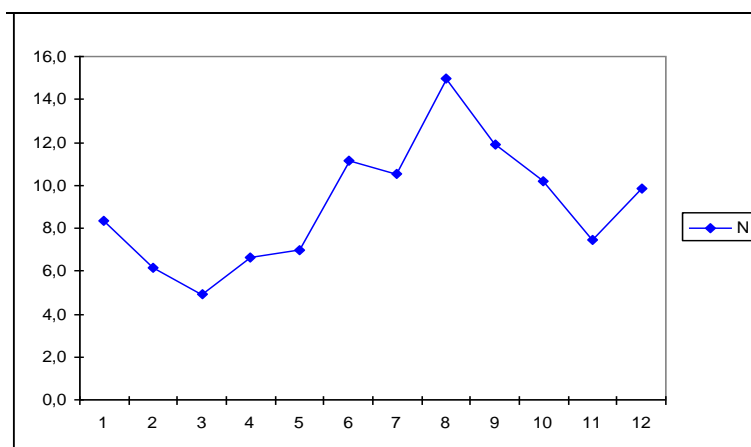


Рис.3

Сезонное распределение ОМЯ.

Более 65% опасных метеорологических явлений приходится на теплый период (апрель–октябрь). Наибольшая повторяемость опасных метеорологических явлений наблюдается в июне, июле, августе. Именно в этот период отмечается тенденция роста числа случаев ОМЯ. В теплый период их прирост в среднем доходит до 4-5 явлений в год. Второй максимум повторяемости приходится на холодный период (холодным периодом считаются ноябрь-декабрь предыдущего года и январь - март текущего года). Наибольшее число во втором максимуме наблюдается в январе, феврале. Более 37% всех ОМЯ приходится на группу из четырех явлений – очень сильный ветер, ураган, шквал, смерчи. По данным Мюнхенской компании перестрахования в 2002 г. 39% от общего числа значительных природных катастроф в мире приходится именно на эти явления, что хорошо согласуется со статистикой по России.

На основе полученных результатов определены районы наибольшей повторяемости ОМЯ по всей территории, по каждому району и число случаев на единицу площади, т.е. проведено районирование территории Северного Кавказа. В основу районирования положены следующие характеристики: число случаев ОМЯ (наименьшее, наибольшее, суммарное).

В результате выделены 4 района (табл. 1):

- 1 - с наибольшим числом случаев ОМЯ >500 (территория Краснодарского края);
- 2 – с числом случаев ОМЯ <500 (Ставропольский край);
- 3 - с числом случаев ОМЯ >100 ( Кабардино-Балкария и Северная Осетия -Алания);
- 4 –с наименьшим числом случаев ОМЯ < 100 (территория Чеченской и Ингушской республик).

Результаты районирования по повторяемости опасных метеорологических явлений представлены на рис. 4 и 4а (карта схема).

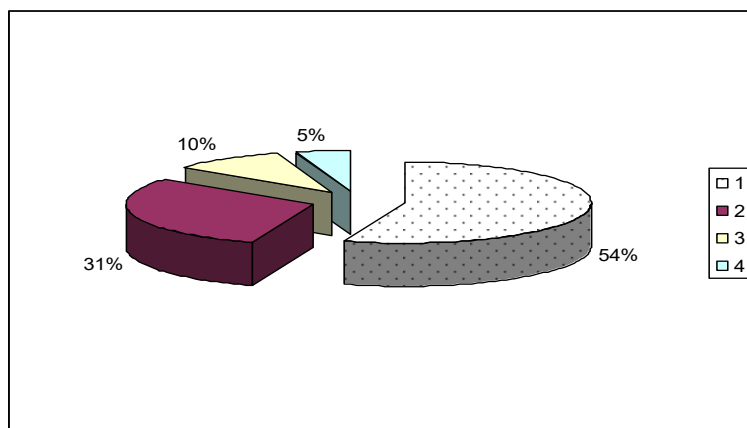


Рис. 4

Районирование территории по повторяемости ОМЯ.

Краснодарский край (1), Ставропольский край (2), КБР (3), Северная Осетия-Алания, Чеченская, Ингушская республики (4), далее ОМЯ расположены по часовой стрелке.

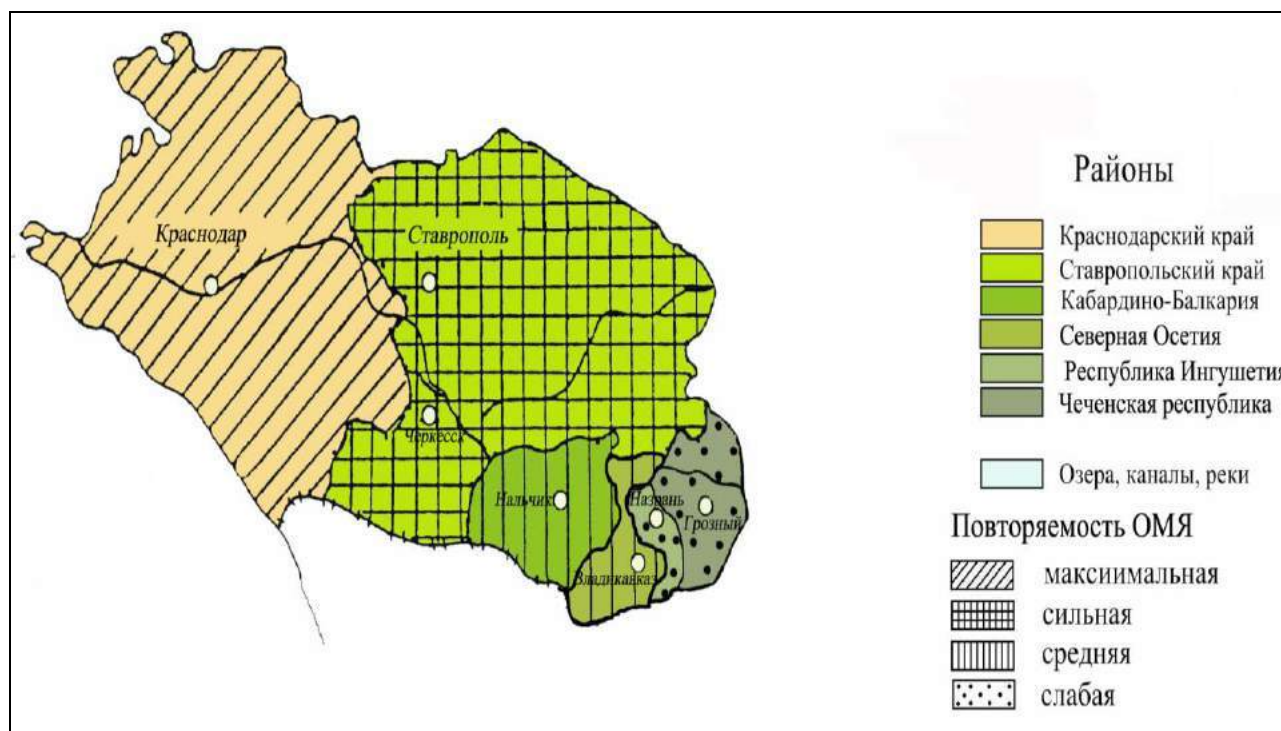


Рис. 4а

Карта- схема районирования по повторяемости опасных метеорологических явлений.

На рис. 5-7 представлены максимальные и минимальные числа случаев ОМЯ в процентном соотношении по каждому району, ОМЯ за 20 лет по каждому району.

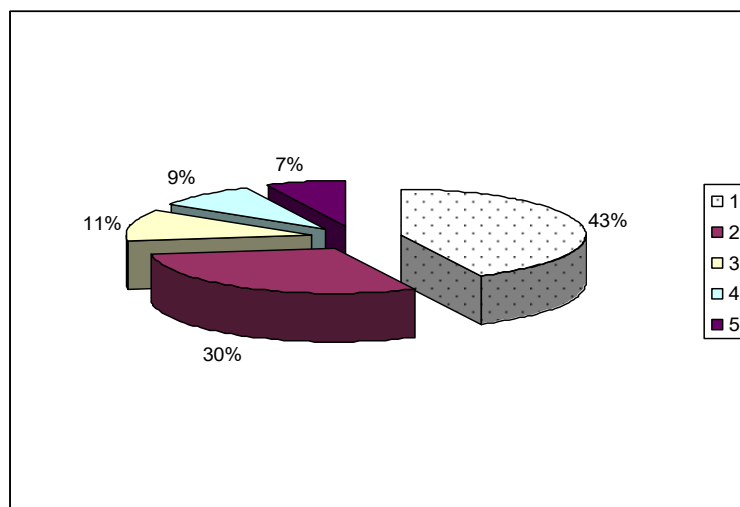


Рис. 5

Максимальное число случаев ОМЯ по каждому региону.

Краснодарский край(1), Ставропольский край (2), КБР (3), Северная Осетия-Алания (4), Чеченская, Ингушская республики (5), далее ОМЯ расположены по часовой стрелке.

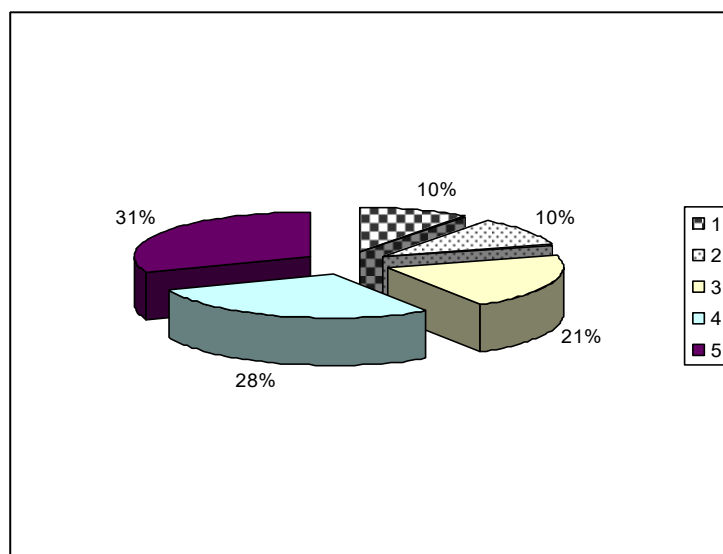


Рис. 6

Минимальное число случаев ОМЯ по каждому региону.

Северная Осетия-Алания (1), Чеченская, Ингушская республики (2), КБР (3), Ставропольский край (4), Краснодарский край (5), далее ОМЯ расположены по часовой стрелке.



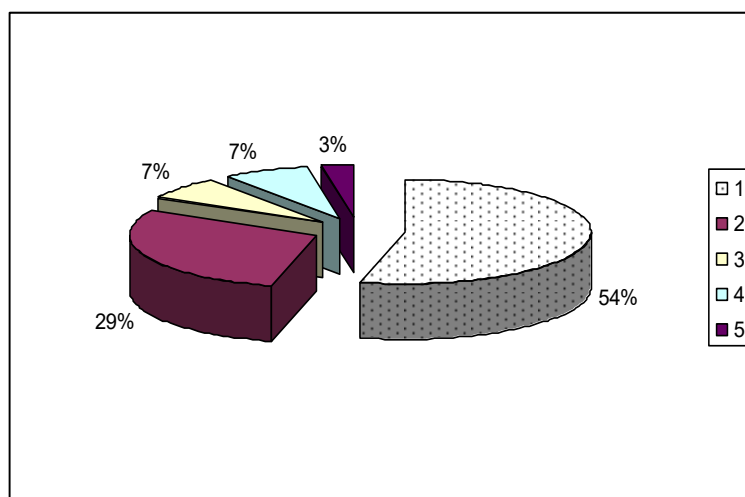


Рис. 7

ОМЯ за 20 лет по каждому району.

Краснодарский край(1), Ставропольский край (2), КБР (3), Северная Осетия-Алания (4), Чеченская, Ингушская республики (5), далее ОМЯ расположены по часовой стрелке.

Для того, чтобы результаты были сравнимы, необходимо учитывать площади рассматриваемых районов, так как величина их различна.

Северный Кавказ охватывает 225.7 тыс. км<sup>2</sup>, из них: Краснодарский край – 40.4%; Ставропольский край – 41.96%; Кабардино-Балкарская республика – 5.6%; Северная Осетия-Алания – 3.6%; Чеченская и Ингушская республики – 8.5% площади ( табл. 2).

Табл. 2

Районирование территории с учетом числа случаев на единицу площади.

Территория	Площадь, %	Число случаев ОМЯ на ед. площади
1. Северная Осетия – Алания (1)	3.54	14
2. Краснодарский край (2)	40.41	8.93
3.Кабардино-Балкарская республика (3)	5.54	8.4
4. Ставропольский край (4)	41.96	4.58
5.Чеченская и Ингушская республики (5)	8.55	2.18

Так как различия в площадях указанных территорий существенны, необходимо привести общее число случаев ОМЯ к единице площади (рис.8). Сравнение полученных результатов (табл.2) показывает, что несмотря на наибольшую площадь Ставропольского края, на единицу площади приходится наименьшее число случаев опасных явлений, чем в других районах, занимающих меньше площади. В Осетии, занимающей сравнительно небольшую территорию (3,5%) Северного Кавказа, наблюдалось максимальное число случаев ОМЯ.

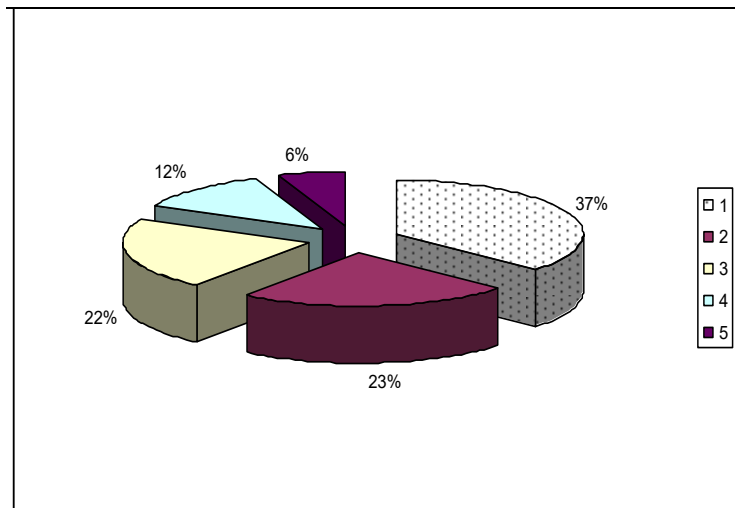


Рис. 8  
Районирование территории с учетом числа случаев на единицу площади.

Северная Осетия-Алания (1), Краснодарский край (2), КБР (3), Ставропольский край (4), Чеченская, Ингушская республики (5), далее ОМЯ расположены по часовой стрелке.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. На территории Северного Кавказа и Краснодарского края весьма существенна повторяемость опасных метеорологических явлений, причем наибольшая повторяемость наблюдается в Краснодарском крае.
2. Из всех ОМЯ наибольшую повторяемость имеют сильные осадки и сопровождающие их наводнения, составляющие 38.5% всех ОМЯ.
3. Наибольшая повторяемость наблюдается в июне, второй максимум приходится на январь-февраль.
4. Проведено районирование территории Северного Кавказа по повторяемости опасных метеорологических явлений и составлена картосхема.

### Литература

1. Васильев А.А., Песков Б.Е., Снитковский А.И. Смерчи 9 июня 1984 г. Л.: Гидрометеиздат, 1985, с. 5-40.
2. Гусев А.М. Новороссийская бора. Труды Морск. гидрофиз. ин-та, вып. 14, 1959, с. 135-140.
3. Кунаева (Хоргуани) Ф.А. Внетропические ураганы на территории Северного Кавказа. М., Гидрометеиздат, вып. 14, 1977, с. 104-124.
5. Кунаева (Хоргуани) Ф.А. Климатическая характеристика внетропических ураганов на территории Северного Кавказа. М., Гидрометеиздат, вып. 14, 1977, с. 125-138.
6. Ляхов М.Е. Метеорологические условия возникновения и распространения пыльных бурь на Северном Кавказе весной 1960 г. Сб. «Пыльные бури», М., Гидрометеиздат, 1963, с. 31-38.

**საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენების კლიმატური დახასიათება ჩრდილოეთ  
კავკასიის ტერიტორიასა და კრასნოდარის მხარეში**

**ხორგუანი ფ., აგზაგოვა მ.**

**რეზიუმე**

შესრულებულია ჩრდილოეთ კავკასიის ტერიტორიის დარაიონება საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენების მიხედვით და შედგენილია კარტოსქემა. ყველა ამ მოვლენებიდან მაქსიმალური გამეორადობა (38,5%) აქვთ ძლიერ ნალექებს და მათ თანმდევ წყალდიდობებს. საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენების მაქსიმალური გამეორადობა დაიკვირვება ივნისში, მეორე მაქსიმუმი მოდის იანვარ-თებერვლის თვეებზე.

**CLIMATIC CHARACTERISTIC OF DANGEROUS METEOROLOGICAL  
PHENOMENA IN THE TERRITORY OF NORTH CAUCASUS AND KRASNODAR  
KRAI**

**Khorguani F., Agzagova M.**

**Abstract**

Zoning of territory of the North Caucasus according to reoccurrence of dangerous meteorological phenomena is carried out and a map diagram is comprised. Among phenomena strong precipitations and their accompanying floods reoccur most often (38.5%). Frequent repetition of dangerous meteorological phenomena is observed during June, the second maximum - in January-February months.

**КЛИМАТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПАСНЫХ  
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРНОГО  
КАВКАЗА И КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ**

**Хоргуани Ф.А. Агзагова М.Б.**

**Реферат**

Проведено районирование территории Северного Кавказа по повторяемости опасных метеорологических явлений и составлена картосхема. Из всех этих явлений наибольшую повторяемость (38.5%) имеют сильные осадки и сопровождающие их наводнения. Наибольшая повторяемость опасных метеорологических явлений наблюдается в июне, второй максимум приходится на январь-февраль месяцы.

## УРАГАНЫ, СМЕРЧИ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Хоргуани Ф.А., Агзагова М.Б.

ФГБУ *Высокогорный геофизический институт, Нальчик, КБР РФ, [madrid-nal@yandex.ru](mailto:madrid-nal@yandex.ru)*

Под ураганом понимают ветер разрушительной силы и значительной продолжительности (в отличие от шквала) со скоростью более 29 м/с [1]. В тропиках циклоны ураганной силы называют тропическими ураганами, тайфунами (Китай, Япония), бэгвиз (Филлипины), виливилли (Австралия), а в умеренных и полярных широтах – внетропическими ураганами. Ураганы, выделяя колоссальный запас энергии (порядка 15010 эрг/с), наносят огромный ущерб народному хозяйству. Внетропические ураганы представляют собой циклоны, отличные от тропических циклонов существенно большим диаметром и большей повторяемостью. Циклоны движутся в северном и южном полушариях в основном по направлению с запада на восток.

Орография исследуемой территории весьма разнообразна. Ураганы данного региона многообразны по характеру происхождения, повторяемости и сопровождаемым их явлениям, такими как внетропические ураганы, катастрофические пыльные бури, смерчи, Новороссийская бора, ураганы со снегопадами, градом, ливнем. По степени наносимого ущерба их можно отнести к той же категории стихийных бедствий, как землетрясения, наводнения.

В настоящей работе предпринята попытка провести классификацию и систематизацию ураганов по их происхождению за период 1900-1987 гг., определить их повторяемость и выявить ураганоактивные районы на территории Северного Кавказа и Южного Федерального округа.

Для анализа использованы данные наблюдений 218 метеорологических ежемесячников и сведения об особо опасных явлениях погоды.

По данным наблюдений за 87-летний период по всей территории исследуемого района удалось систематизировать 486 случаев ураганов, т.е. в среднем 5-6 случаев в год (за последнее десятилетие наблюдаются тенденции возрастания).

Выбор исследования ураганов данной территории обусловлен значительной их повторяемостью и большим ущербом, наносимым народному хозяйству. Климат изучаемого района находится под воздействием трех незамерзающих морей: Азовского, Черного и Каспийского (общая площадь территории 538 тыс.км<sup>2</sup>). Исключительное разнообразие природных ландшафтов территории определяет разнообразие особенностей внетропических ураганов. Если тропические ураганы – циклоны с ветрами ураганной силы, то это понятие не полностью охватывает многие разновидности внетропических ураганов. Поэтому нами, в первую очередь, была проведена классификация их по происхождению:

1. Ураганы циклонического и антициклонического происхождения.
2. Катастрофические смерчи.
3. Катастрофическая Новороссийская бора.

### Ураганы циклонического и антициклонического происхождения.

Относятся к крупномасштабным атмосферным вихрям, горизонтальные размеры (100-1000км) которых во много раз превышают их вертикальные (10-12 км) размеры и часто сопровождаются ливнем, градом, снегопадами или переносом пыли (тогда это случаи катастрофической пыльной бури). Строение внетропических ураганов циклонического

происхождения близко к строению тропических, но форма и барические градиенты отличаются существенно. Внетропические ураганы охватывают большие пространства, радиус их в среднем составляет 50-500 км. В стадии полного развития ураган можно разделить на четыре зоны:

а) “глаз” урагана - зона затишья – располагается в самом центре урагана. Здесь наблюдается слабый ветер или штиль;

б) зона ураганных ветров и максимальных осадков находится в пределах 10-300 км. Здесь наблюдаются резкие изменения давления и скорость ветра в большинстве случаев 40-50 м/с;

в) зона штормовых ветров. Скорость ветра в большинстве случаев 18 – 25 м/с;

г) внешняя зона - зона со слабой циклонической циркуляцией.

Спутниковые и радарные снимки внетропических ураганов (циклонов) показывают спиралевидный характер расположения облачного массива [1,2]. Несомненно, большой научный интерес представляют радарные исследования облачной системы не только летних внетропических ураганов, но и зимних. Следует сказать, что у внетропических ураганов “глаз” урагана слабо прослеживается, на экранах радиолокатора граница его с облачной системой зоны ураганных ветров размыта, в отличие от тропических ураганов. Радиус “глаза” урагана циклонического происхождения порядка 5–40 км. По высоте внетропический ураган распространяется до 10-12 км. Траектория перемещения несколько близка к параболической.

Продолжительность жизни ураганов различна. На данной территории отмечались ураганы, продолжительность жизни которых была до 5-7 дней, хотя чаще они были менее продолжительными. Внетропические ураганы, в отличие от тропических, зарождающиеся над океанической поверхностью, могут возникать на суше в зимнее время при низкой температуре подстилающей поверхности, в совершенно ясную погоду без выпадения осадков.

В выделенную группу входят и ураганы (тропического происхождения), проникшие на данную территорию со всеми признаками внетропических ураганов. Такие ураганы, связанные с циклонами, проникают на данную территорию с юга и запада. Ураганы, проникающие с юга, зарождаются в районе Сахары, Средиземного моря, перемещаются на север и северо - восток [1] и на исследуемой территории уже проходят со всеми признаками внетропических ураганов. Тропические ураганы, проникающие с запада, зарождаются в районе Карибского моря, проходят вдоль берегов Северной Америки и обрушиваются на западные берега Европы (иногда проникают до Сибири [2]) со всеми признаками внетропических ураганов.

### **Катастрофические смерчи.**

Катастрофические смерчи, выделенные во вторую группу, относятся к мезомасштабным атмосферным вихрям, вертикальные размеры которых от 300 до 600 м, диаметр от 10 до 1500 м, а скорости могут достигать 200 - 300 м/с [2]. Смерч — это атмосферный вихрь, возникающий в грозовом облаке и затем распространяющийся в виде темного рукава или хобота по направлению к поверхности суши или моря. В верхней части смерч имеет воронкообразное расширение, сливающееся с облаками. Когда смерч опускается до земной поверхности, нижняя часть его иногда расширяется и напоминает опрокинутую воронку. Высота смерча может достигать 800—1500 м. Воздух в смерче вращается и одновременно поднимается по спирали вверх, втягивая пыль или воду. Скорость вращения может достигать 330 м/с. В связи с тем, что внутри вихря давление уменьшается, происходит конденсация водяного пара. Пыль и вода делают смерч видимым. Диаметр смерча над морем измеряется десятками метров, над сушей — сотнями метров. Он возникает обычно в теплом секторе циклона и движется вместе с циклоном со скоростью 10—20 м/с. Смерч проходит путь длиной от 1 до 60 км, сопровождается грозой, дождем, градом [1,2]. Протяженность смерчевого облака в среднем порядка 60-80 км (материнское облако). Материнские облака смерчей представляют собой вращающиеся вихревые структуры, и это вихревое движение в облаке является основной причиной образования смерчей. По своей форме и строению смерчевые облака похожи на типичные грозовые, кучево-дождевые облака и обладают двумя особенностями: высокой турбулентностью и неоднородностью. Визуально, отдельные части грозового, смерчевого облака обладают своим особенным, обычно вихревым движением, такие части называют “воротник бури”, “дуговое облако” и др. На радарных снимках они имеют

своеобразное эхо, напоминающее крюк. Смерч является частью горизонтальных вихревых движений, свойственных нижней части всего грозового (смерчевого) облака [1,3]. Строение смерча близко к строению урагана-циклона, но размеры отличаются существенно. Прослеживается безоблачная стена “глаза” смерча. Важная особенность - резкое падение давления, только у смерчей это происходит быстро (почти внезапно) и длится недолго. Район деятельности-побережье Черного и Азовского морей.

### Катастрофическая Новороссийская бора.

Относится к типу местных ветров, вызванных особенностями орографии. Бора возникает в прибрежных районах морей и крупных озер, вблизи которых располагаются горные хребты. При больших градиентах давления холодный воздух перемещается с суши на теплую акваторию моря или озера. Встретив на своем пути горный хребет, воздух переваливает через него, образуя как бы воздухопад, при котором скорость ветра увеличивается за счет силы тяжести [4]. Система хребтов Кавказа, большое количество долин, ущелий, котловин создают сложную циркуляцию внутри горной системы. В предгорной зоне Северного Кавказа, происходит задержка холодных масс, стационарирование и нередко обострение атмосферных фронтов перед орографическим препятствием. В северо-восточной части Черноморского побережья, где высота хребтов недостаточна, нередко происходит прорыв холодных масс через Мархотский перевал. Пройдя над Цемесской бухтой, они с огромной силой обрушиваются на Новороссийск. Новороссийская бора с ураганными ветрами свирепствует в зимнее время при низкой температуре воздуха, максимальное число случаев за исследуемые 87 лет (1900-87 гг.) отмечено в январе. Скорости ветра часто превышают 40 м/с, а в некоторых случаях достигают 60 м/с. Новороссийская бора с такими скоростями чаще всего наблюдается в феврале и марте, сопровождается понижением температуры, интенсивным снегопадом, метелью, гололедом. Возникновение катастрофической боры часто обусловлено существованием в течение длительного времени, обширного и мощного антициклона с высоким давлением и низкой температурой.

Ураганы первого типа составляют приблизительно 61%, случаи катастрофической боры приблизительно 31%, а катастрофические смерчи 8% от общего числа случаев (рис.1).

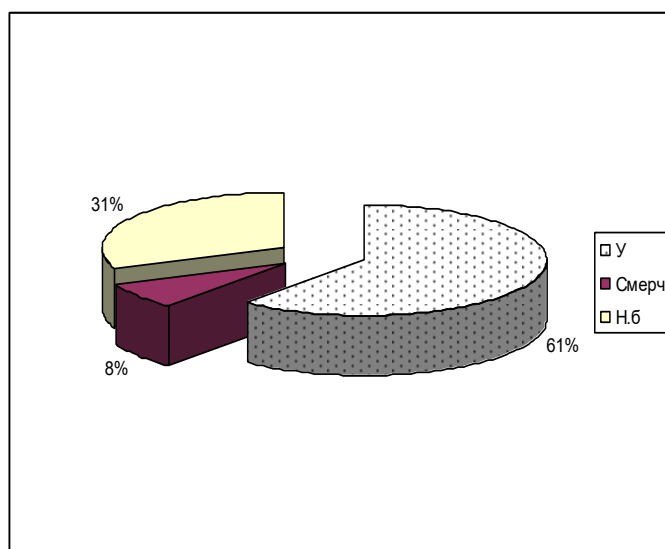


Рис. 1  
Ураганы, смерчи, Новороссийская бора за период 1900-87 гг.  
Южный федеральный округ, Северный Кавказ.

Оказалось, что в связи с орографическими и синоптическими условиями особенностями каждого из районов повторяемость ураганов в них различна [5]. Краснодарский,

Ставропольский край отличаются наибольшей повторяемостью ураганов. Например в Краснодарском крае до 260 случаев, в Ставропольском до 78. В предгорных зонах ураганы наблюдаются чаще, чем на равнинах, расположенных севернее.

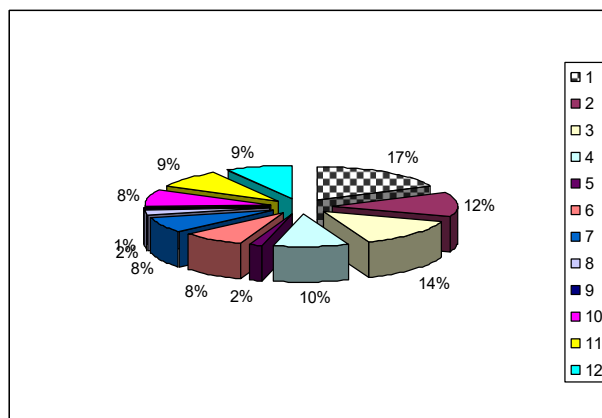


Рис.2

Сезонное распределение ураганов (первая группа).

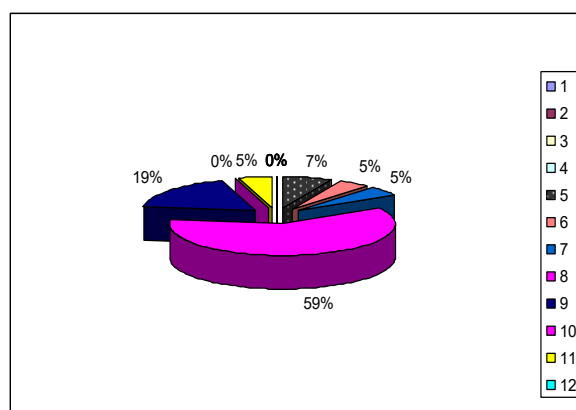


Рис.3

Сезонное распределение смерчей (вторая группа).

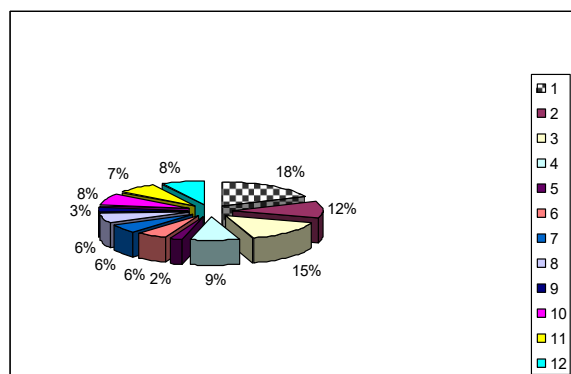


Рис. 4

Сезонное распределение Новороссийской боры (третья группа)/

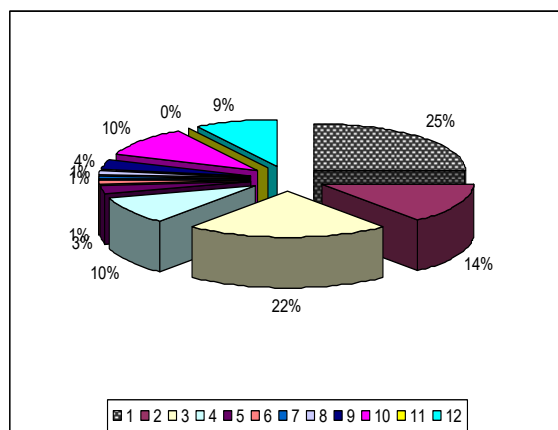


Рис. 5  
Сезонное распределение всех внетропических ураганов  $V > 29 \text{ м/с}$  1900-87 гг. Южный федеральный округ, Северный Кавказ.

Внетропические ураганы Краснодарского края наиболее разнообразны: смерчи прибрежных районов, пыльные бури и снежные катастрофические бури [1,5]. Это край благоприятных орографических условий и синоптических ситуаций для возникновения ураганных ветров и хороший полигон для их исследования [5].

Сезоны ураганов, смерчей и Новороссийской ботвы на территории Южного федерального округа и Северного Кавказа за период 1900-87 гг. представлены на рис. 2-5.

Сезоном ураганов Краснодарского края можно считать период с января по апрель, причем апрель более активный. С января по март ураганы чаще наблюдаются на побережье, уходя вглубь суши (табл.).

Второе место по повторяемости ураганов занимает Ставропольский край. Большое влияние здесь, видимо, оказывают отроги Кавказского хребта, наличие меридионально ориентированных долин и ущелий и относительно большая высота Ставропольского плато (700-800 м н. у. м.).

Меньше всего ураганов отмечено в Астраханской области, Северной Осетии, Чеченской и Ингушской республиках.

Волгоградская область и республика Калмыкия расположены в степной местности и влияние данной орографии на ураганы практически исключено. Каспийское море оказывает влияние только на непосредственно прилегающую зону. Кроме того, северная часть Каспийского моря зимой замерзает и не влияет на усиление ураганных ветров. Видимо в перечисленных районах основная причина увеличения повторяемости и усиления ураганных ветров связана не с орографией, а с синоптическими условиями [5]. Само распределение повторяемости ураганов не только по областям, но и внутри каждой из них неравномерно.

Табл.

Ураганы различных групп повторяемости, сезоны и районы их деятельности по данным метеостанций на территории Южного федерального округа, Северного Кавказа за период с 1900—1987 гг.

№ метеостанций	% суммарного числа случаев по всей территории	Месяц максимальной повторяемости	Район
Первая группа			
136	31.07	I, III	Краснодарский край
Вторая группа			



146	20.03	I, II	То же
132	16.31	I, III, XII	»
140	18.1	I, III	»
Третья группа			
153	12.03	III, XII	»
142	11.91	I, II	»
134	11.09	XII, XI	»
127	11.61	III, II	»
172	11.22	VI	Ставропольский край
178	1.68	IV, II, I	То же
179	11.10	I	»
51	12.11	III, XII	Ростовская область
Четвертая группа			
106	1.80	IV	Краснодарский край
122	1.33	III	То же
114	1.53	VI, V	»
112	1.70	IV	»
125	1.53	VIII	»
143	1.53	IV	»
124	1.53	III	»
116	1.03	IV	»
151	1.05	IX	»
107	1.33	XI	»
141	1.33	IV	»
113	1.03	II, IV	»
130	1.08	III	»
120	1.27	IV	»
115	1.53	XI	»
123	1.53	I	»
108	1.53	II	»
109	1.53	II	»
135	1.27	IV	»
110	1.53	IV	»
119	1.27	I	»
171	1.08	II, VI	»
169	1.05	I	»
195	1.53	I	»
185	1.75	I, XII	»
182	1.33	II, X	»
165	1.43	II, IV	»
176	1.53	II	Ставропольский край
187	1.53	II, VI	То же
166	1.80	II, IV, VI	»
160	1.78	III	»
162	1.68	IV	»
17?	0.80	I, II, IV	»
158	1.05	II, IV, VI	Ставропольский край
175	1.33	II	То же
49	1.33	IX	Ростовская область
42	1.03	IX	То же
67	1.08	XII	»

38	1.27	I	»
35	1.53	XI	»
36	1.53	XII	»
24	1.53	I, II	Волгоградская область
20	1.53	VIII	То же
26	1.27	X	»
30	1.53	VII	»
5	1.27	II	»
14	1.08	II	»
13	1.05	II	»
15	1.53	II	»
12	1.75	II	»
206	1.33	I, VI	Кабардино-Балкария
210	1.43	VI	То же
211	1.53	I	»
207	1.53	I	»
208	1.80	XI	»
217	1.78	I, VI	Северная Осетия
214	1.68	I	То же
216	0.80	I	»
215	1.05	I	»
213	1.33	I	»
94	1.33	I	Калмыкия
96	1.03	IX, X	То же
1000	1.08	XI	»
104	1.27	X	»
81	1.53	X	Астраханская область
85	1.53	X	То же
199	1.53	III	Чечня и Ингушетия
204	1.53	I	То же
197	1.27	III	»
201	1.53	IV	»

В таблице приведены повторяемости ураганов, разделенные на 4 группы по числу случаев: максимальной, сильной, средней и слабой повторяемостей.

Первое место по повторяемости ураганов занимает район Новороссийска (первая группа). За исследуемый период было отмечено 186 случаев катастрофической бора (со скоростью более 29 м/с). Новороссийская бора относится к одному типу местных ветров, вызванных разнообразием условий рельефа [4]. Максимальная повторяемость за исследуемый период приходится на январь. Скорости ветра часто превышают 40 м/с, в некоторых случаях достигают 60 м/с. Бора с такими скоростями чаще всего наблюдается в феврале и марте, сопровождается понижением температуры, интенсивным снегопадом, метелью, гололедом.

Ко второй группе (район сильной повторяемости ураганов) относятся Анапа, Туапсе, Геленджик. При прохождении ураганов на Черноморском побережье Краснодарского края направление ураганных ветров в области их максимальных значений в основном юго-восточное. Сезоном ураганов этого района являются январь и март.

В третьей группе (район средней повторяемости ураганов) выделяются Джубга, Сочи, Мархотский перевал, Ростов-на-Дону, Зеленчукская, Краснодар, Невинномысск.

Ураганы Краснодарского, Ставропольского краев характерны разнообразием: смерчи, пыльные бури, наносящие колоссальный ущерб [1,5]. В зоне максимальных скоростей они имеют северо-восточное, восточное направление. Видимо сближение отрогов Кавказского

хребта со Ставропольским плато в долине р. Кубань и образование входа в долину с востока способствуют усилению ураганных ветров этого направления.

Четвертая группа ураганов (район слабой ураганной повторяемости) это степные районы Волгоградской области, Калмыкии.

Ураганные ветры в этих районах имеют южное, юго-восточное направление. Как указывалось выше, в этих областях влияние орографии несущественно. Сезоном ураганов этой группы можно считать январь-апрель и июнь, причем на севере, северо-востоке территории повторяемость ураганов возрастает в апреле и июне.

Характеристика групп ураганов дает возможность выявить очаги наибольшей повторяемости ураганов в каждой из областей исследуемой территории и их сезоны.

Сделана попытка провести районирование исследуемой территории по принципу ураганоактивности. Под ураганоактивностью понимаем общее число случаев ураганов по каждому району за весь период, их максимальное число в году и максимальные скорости при урагане.

В результате анализа выделены 5 районов на основе принципа ураганоактивности и предложена схематическая карта районов ураганной активности (рис. 6).

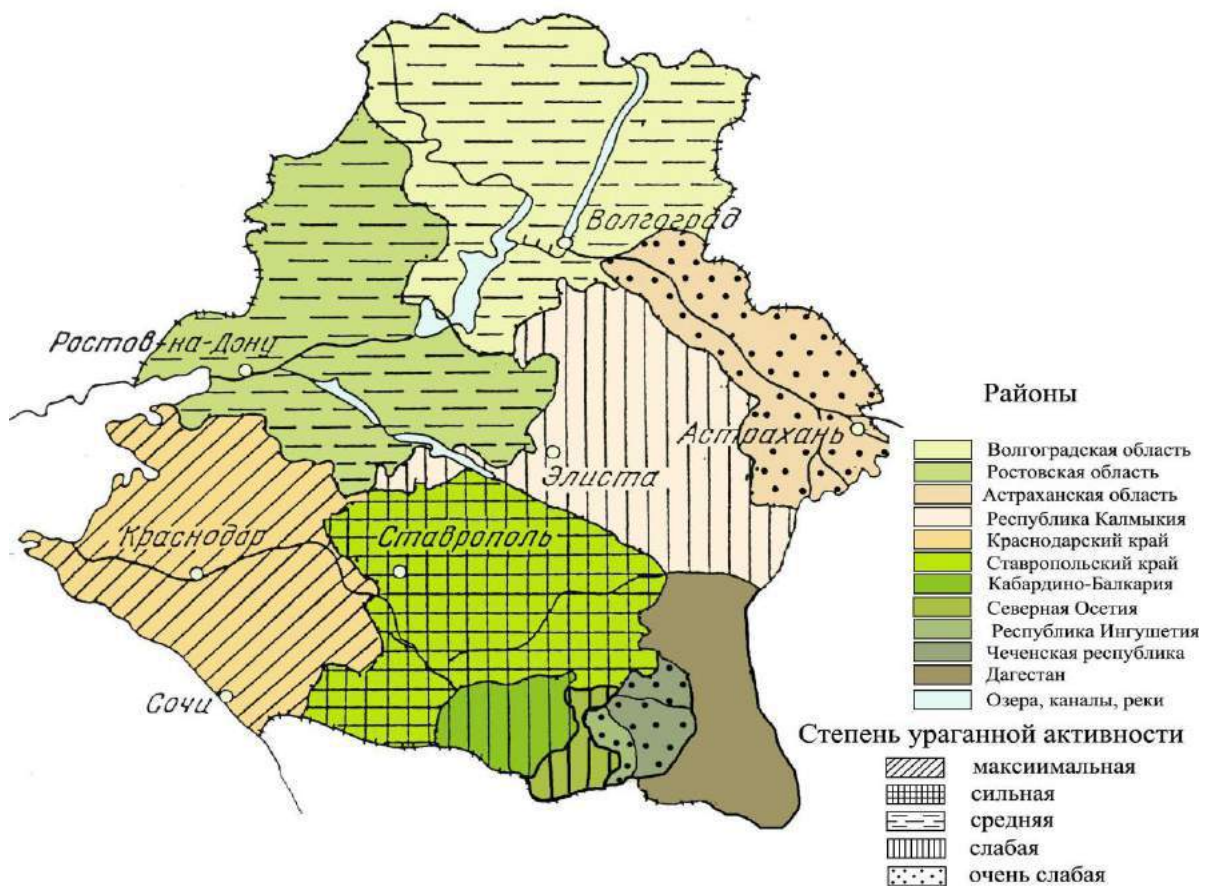


Рис. 6  
Схематическая карта районов ураганной активности Северного Кавказа.

Вклад каждого из выявленных районов составляет соответственно 57%, 22.5%, 11.8%, 6.2%, 2.5% от общего числа случаев по всей исследуемой территории.

Ущерб, наносимый ураганами, велик, и вопрос прогноза ураганов, выявление районов их максимальной повторяемости, особенностей деятельности представляет не только научный, но

и практический интерес. Предложенная карта позволяет выделить наиболее ураганоопасные районы для сельского хозяйства и дать рекомендации по использованию земель в сельском хозяйстве.

### **Выводы.**

Проведен анализ 486 случаев ураганов Южного Федерального округа и Сев. Кавказа на основе данных 218 метеостанций за 87 лет и получены следующие результаты:

1 Проведена классификация внетропических ураганов по их происхождению и дана краткая характеристика.

2. Выделены группы ураганов по повторяемости, определены сезоны и места их деятельности внутри каждой области.

3. Определены преобладающие направления ураганных ветров для районов с наибольшей повторяемостью и сделана попытка связать их с особенностями орографии.

4.. Проведено районирование всей территории по принципу ураганоактивности, определены ураганоактивные районы и составлена схематическая карта

### **Литература**

1. Наливкин В.Д. Ураганы, бури и смерчи. Л., Наука, 1996, 474 с.
2. Мамедов Э.С., Павлов Н.И. Тайфуны. Л., Гидрометеиздат, 1987, 36 с.
3. Васильев А.А., Песков Б.Е., Снитковский А.И. Смерчи 9 июня 1984 г. Л., Гидрометеиздат, 1985, 40 с.
4. Гусев А.М Новороссийская бора. Труды Моск. гидрофиз. ин-та, 1959, с. 104-110.
5. Ляхов М.Е. Метеорологические условия возникновения и распространения пыльных бурь на Северном Кавказе весной 1960 г. Сб. Пыльные бури, М., Гидрометеиздат, 1963, с. 31-38.

## **ქარიშხლები და ქარბორბალა სამხრეთ ფედერალური ოლქის ტერიტორიაზე და ჩრდილოეთ კავკასიაში**

**ხორგუანი ფ., აგზაგოვა მ.**

### **რეზიუმე**

მოყვანილია ქარიშხლების კლასიფიკაცია და სისტემატიზაცია მათი წარმოშობის მიხედვით 1900-1987 წწ. პერიოდში., განსაზღვრულია მათი განმეორადობა და გამოვლენილია ქარიშხალაქტიური რაიონები კავკასიის ტერიტორიაზე. ჩატარებულია მთელი ტერიტორიის დარაიონება ქარიშხალაქტივობების პრინციპის მიხედვით, განსაზღვრულია ქარიშხალაქტიური რაიონები და შედგენილია სქემატური რუკა.

## **HURRICANES, WATER SPOUTS ON THE TERRITORY OF SOUTHERN FEDERAL REGION AND NORTH CAUCASUS**

**Khorguani F., Agzagova M.**

### **Abstract**

Classification and systematization of hurricanes according to their origin during the period of 1900-1987 are accomplished, their repetition is determined and hurricane active regions in the territory of the Caucasus are revealed. The zoning of entire territory according to the principle hurricane activity is carried out, the hurricane active regions are determined and a schematic map is comprised.

## **УРАГАНЫ, СМЕРЧИ НА ТЕРРИТОРИИ ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА И СЕВЕРНОГО КАВКАЗА**

**Хоргуани Ф.А., Агзагова М.Б.**

### **Реферат**

Приводится классификация и систематизация ураганов по их происхождению за период 1900-1987 гг., определяется их повторяемость и выявлены ураганоактивные районы на территории Кавказа. Проведено районирование всей территории по принципу ураганоактивности, определены ураганоактивные районы и составлена схематическая карта.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРИЛИВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМЛИ В ТБИЛИСИ

**Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д., Николайшвили М.М.**

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, E-mail: mananikola@gmail.com*

Известно, что под действием приложенных сил твердые тела деформируются, т.е. меняют свою форму и объем. Теория упругости устанавливает количественную зависимость между силами, действующими на твердое тело и производящими ими деформациями. При этом предполагается, что при малых деформациях эта зависимость линейна, и она определяется законом Гука. Если после прекращения действия сил тело восстанавливает свою первоначальную форму, считается, что оно обладает абсолютной упругостью. При малых деформациях большинство твердых тел можно с достаточной степенью точности считать абсолютно упругими.

Любое тело, находящееся на поверхности Земли или внутри нее, испытывает суммарное воздействие земного притяжения и центробежной силы. Наряду с этим, на него воздействуют также периодически меняющиеся силы притяжения Луны и Солнца, которые складываясь с указанными выше силами, образуют переменной величины вектор силы тяжести.

Известно, что уровень поверхности воды в океанах и морях, также в шахтах и колодцах, не остается постоянным, а колеблется около среднего положения. Ньютон, открывший закон Всемирного тяготения, установил, что причиной этого являются Луна и Солнце, которые воздействуют на водные массы, приводя их в периодическое движение. Эти колебания уровня воды, возникающие под действием небесных тел, называются приливами и отливами или просто «приливами» в океане.

Человечество давно знакомо с проявлениями приливов на морском побережье. Но оказалось, что приливообразующие силы действуют не только на водные массы, они проявляются в каждое время и на каждом месте земного шара. Их изучение вызывает большой научный интерес и это объясняется тем, что приливы в твердом теле Земли - практически единственное явление планетарного масштаба, в отношении которого известна величина деформирующей силы. Зная величину этой силы, можно рассчитать соответствующие деформации на поверхности земного тела для различных моделей его внутреннего строения. Сравнивая наблюдаемые приливные деформации с вычисленными, можно выбрать наиболее реальную модель внутреннего строения Земли, которая одновременно должна находиться в согласии с данными сейсмологических и астрономических наблюдений.

Земля не является абсолютно твердым телом. Ее верхние слои, средняя плотность и другие физико-механические свойства, которые более или менее удовлетворительно известны, способны деформироваться. Земля окружена небесными телами, которые действуют на нее по закону Всемирного тяготения. Но заметное влияние испытывает она от сил притяжения Луны и Солнца, которые растягивают ее в направлении действия этих сил на величину, порядка до полуметра. Поскольку Луна и Солнце меняют по времени свое положение по отношению к данной точке наблюдения на земной поверхности, то и направление действия сил со стороны этих небесных тел также меняется, вызывая возмущения, называемые приливными деформациями. Кроме того, поскольку значительная часть поверхности Земли покрыта толстым слоем воды, который сравнительно легко поддается перемещениям, то это обстоятельство вызывает дополнительные возмущения поля силы тяжести.

Вследствие приливной деформации Земли, тело, находящееся на ее поверхности, изменяет свое положение по отношению к центру тяжести Земли. В результате этого меняется сила его притяжения Землей, что в свою очередь влияет на вес тела. Если бы Земля представляла собой абсолютно твердое тело, т.е. такое, которое не изменяет своей формы под действием внешней силы, то и сила тяжести в данном месте, вследствие неизменности формы Земли, осталась бы неизменной. Изменение веса тела, происходило бы за счет изменений положений Луны и Солнца относительно точки наблюдения. Но Земля - упругое тело и поэтому изменение силы тяжести будет зависеть как от изменений положений Луны и Солнца, так и от податливости Земли, т.е. от ее упругих свойств. Изучая эти упругие деформации, вызванные приливыми изменениями силы тяжести, можно получить дополнительные сведения о внутреннем строении Земли.

Современные приливоизмерительные инструменты имеют такую чувствительность, что могут измерять на Земле лишь приливные возмущения Луны и Солнца, влияние же остальных небесных тел практически мало. Поэтому в теории приливов ограничиваются только рассмотрением влияния указанных небесных тел, которые из-за большой удаленности от Земли принимаются за точечные. Притяжения Луны и Солнца не всюду на Земле являются одинаковыми, что в конечном итоге и обуславливает происхождение приливов.

Вследствие приливной деформации Земли периодически изменяется вектор силы тяжести на поверхности деформируемой упругой Земли, а также происходят не только радиальные смещения, но и деформации, перпендикулярные радиусам Земли.

Сведения о земных приливах доставляют наблюдения за явлениями периодических изменений силы тяжести, наклонов земной поверхности, относительных перемещений точек в земном теле, которые обязаны своим происхождением приливообразующим силам.

Для изучения относительных перемещений точек в земной коре используют приборы-экстензометры, которые позволяют измерять перемещения точек на поверхности Земли как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях.

Приливообразующие силы Луны и Солнца вызывают в твердой Земле упругие деформации, причем основной вклад в них вносит вторая гармоника  $W_2$  потенциала этих сил.

Приливообразующий потенциал  $W_2$  небесного тела массой  $M$  представляется в виде:

$$W_2 = \frac{3}{2} g \frac{M}{E} \left( \frac{a^2}{c^3} \right) r^2 \left( \cos^2 z - \frac{1}{3} \right) \quad (1)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести в пункте наблюдения на Земле,  $E$  – масса Земли,  $a$  – средний радиус Земли,  $r$  – расстояние от центра Земли до точки наблюдения,  $C$  – расстояние от центра Земли до небесного тела,  $z$  – зенитное расстояние небесного тела в точке наблюдения, косинус которого выражается так:

$$\cos z = \cos \zeta \sin \delta + \sin \zeta \cos \delta \cos(t + \varphi) \quad (2)$$

Здесь  $\zeta$  – дополнение до широты,  $\varphi$  – восточная долгота точки наблюдения,  $\delta$  – склонение небесного тела,  $t$  – гринвичское время. Подставляя (2) в (1) получим

$$W_2 = \frac{3}{4} g \left( \frac{M}{E} \right) \left( \frac{a^2}{c^3} \right) r^2 \left\{ 3 \left( \sin^2 \delta - \frac{1}{3} \right) \left( \cos^2 \zeta - \frac{1}{3} \right) + \sin 2\delta \sin 2\zeta \cos(t + \varphi) + \cos^2 \delta \sin^2 \zeta \cos 2(t + \varphi) \right\} \quad (3)$$

Для вывода компонент деформации в радиальном  $U_r$ , меридиональном  $U_\zeta$  и широтном  $U_\varphi$  направлениях обратимся к соотношениям (Одзава, 1957):

$$\begin{aligned} U_r &= \frac{2F(r) + G(r)r^2}{r} W_2 ; \\ U_\zeta &= \frac{F(r)}{r} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial \zeta} ; \\ U_\varphi &= \frac{F(r)}{2 \sin \zeta} \cdot \frac{\partial W_2}{\partial \varphi} ; \end{aligned} \quad (4)$$

где  $F(r)$  и  $G(r)$  есть функция только от  $r$ .

Для удобства будем пользоваться компонентами тензора деформации не в декартовых, а в сферических координатах  $(r, \zeta, \varphi)$ , что позволит написать:

$$\begin{aligned}
 U_{rr} &= \frac{\partial U_r}{\partial r}; \\
 U_{\zeta\zeta} &= \frac{1}{r} \frac{\partial U_\zeta}{\partial \zeta} + \frac{U_r}{r} \\
 U_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{r \sin \zeta} \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{U_\zeta}{r} \operatorname{ctg} \zeta + \frac{U_r}{r}; \\
 2U_{\varphi\zeta} &= \frac{1}{r} \left( \frac{\partial U_\varphi}{\partial \zeta} - U_\varphi \operatorname{ctg} \zeta \right) + \frac{1}{r \sin \zeta} \frac{\partial U_\zeta}{\partial \varphi}; \\
 2U_{r\zeta} &= \frac{\partial U_\zeta}{\partial r} - \frac{U_\zeta}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_r}{\partial \zeta}; \\
 2U_{\varphi r} &= \frac{1}{r \sin \zeta} \cdot \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} + \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - \frac{U_r}{r}.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Теперь, используя (5), а также дифференциальное уравнение в частных производных

$$\frac{1}{\sin^2 \zeta} \cdot \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{\sin \zeta} \cdot \frac{\partial}{\partial \zeta} \left( \sin \zeta \frac{\partial S_2}{\partial \zeta} \right) + 6S_2 = 0. \tag{6}$$

Обусловленные возмущающим потенциалом  $W_2$  компоненты деформации можно получить в виде:

для деформации:

$$\begin{aligned}
 e_{rr} &= \frac{1}{r^2} \left\{ 2r \frac{dF(r)}{dr} + 2F(r) + r^3 \frac{\partial G(r)}{\partial r} + 3r^2 G(r) \right\} W_2; \\
 e_{\varphi\varphi} &= \frac{1}{r^2} \left\{ \frac{F(r)}{\sin^2 \zeta} \cdot \frac{\partial^2 W_2}{\partial \varphi^2} + F(r) \operatorname{ctg} \zeta \frac{\partial W_2}{\partial \zeta} + [2F(r) + r^2 G(r)] W_2 \right\}; \\
 e_{\zeta\zeta} &= \frac{1}{r^2} \left\{ F(r) \frac{\partial^2 W_2}{\partial \zeta^2} + [2F(r) + r^2 G(r)] W_2 \right\}; \\
 e_{r\varphi} &= \frac{1}{r^2} \left\{ r \frac{\partial F(r)}{\partial r} + r^2 G(r) + 2F(r) \right\} \frac{\partial W_2}{\partial \varphi}; \\
 e_{r\zeta} &= \frac{1}{r^2} \left\{ r \frac{\partial F(r)}{\partial r} + r^2 G(r) + 2F(r) \right\} \frac{\partial W_2}{\partial \zeta}; \\
 e_{\zeta\varphi} &= \frac{F(r)}{r^2 \sin \zeta} \left\{ 2 \frac{\partial^2 W_2}{\partial \zeta \partial \varphi} - \operatorname{ctg} \zeta \frac{\partial W_2}{\partial \varphi} \right\}.
 \end{aligned} \tag{7}$$

для горизонтальных напряжений:

$$\Sigma = e_{\zeta\zeta} + e_{\varphi\varphi} = \frac{2}{r^2} [r^2 G(r) - F(r)] W_2 \tag{8}$$

для кубической дилатации

$$\Delta = \left\{ \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial F(r)}{\partial r} + r \frac{\partial G(r)}{\partial r} + 5G(r) \right\} W_2. \tag{9}$$

Если рассматривать лишь полусуточные и суточные приливы на поверхности Земли ( $r=a$ ), то приливообразующий потенциал примет вид:

для полусуточных волн

$$W_2 \left( \frac{1}{2} \right) = a_2 A_2 \sin^2 \zeta \cos 2(t_2 + \varphi) \tag{10}$$



и для суточных волн

$$W_2(1) = a^2 A_1 \sin 2\zeta \cos(t_1 + \varphi) \quad (11)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – часовые углы небесного тела в Гринвиче;  $A_1$  и  $A_2$  – факторы, включающие деклинацию небесного тела.

Для деформации получим следующие выражения:

для полусуточных приливов:

$$\begin{aligned} e_{rr} &= A_2 \left\{ 2F(a) + 2a \frac{dF(a)}{dr} + 3a^2 G(a) + a^2 \frac{dG(a)}{dr} \right\} \sin \zeta \cos 2(t_2 + \varphi); \\ e_{\zeta\zeta} &= A_2 \left\{ 2F(a)(\cos 2\zeta + \sin^2 \zeta) + a^2 G(a) \sin^2 \zeta \right\} \cos 2(t_2 + \varphi); \\ e_{\varphi\varphi} &= A_2 \left\{ -2F(a) + a^2 G(a) \sin^2 \zeta \right\} \cos 2(t_2 + \varphi); \\ e_{\zeta\varphi} &= A_2 \left\{ -6 \cos \zeta \cdot F(a) \right\} \sin 2(t_2 + \varphi); \\ e_{r\varphi} &= e_{r\zeta} = 0; \\ \Sigma &= e_{\zeta\zeta} + e_{\varphi\varphi} = 2A_2 (a^2 G(a) - F(a)) \sin^2 \zeta \cdot \cos 2(t_2 + \varphi); \\ e_{\zeta\zeta} - e_{\varphi\varphi} &= 2A_2 F(a) \cdot (\cos 2\zeta + \sin^2 \zeta + 1) \cos 2(t_2 + \varphi); \\ \Delta &= \left\{ 2a \frac{dF(a)}{dr} + a^2 \frac{dG(a)}{dr} + 5a^2 G(a) \right\} A_2 \sin^2 \zeta \cos 2(t_2 + \varphi). \end{aligned} \quad (12)$$

Для суточных приливов:

$$\begin{aligned} e_{rr} &= A_1 \left\{ 2F(a) + 2a \frac{dF(a)}{dr} + 3a^2 G(a) + a^3 \frac{dG(a)}{dr} \right\} \sin 2\zeta \cos(t_1 + \varphi); \\ e_{\zeta\zeta} &= A_1 \left\{ a^2 G(a) - 2F(a) \right\} \sin 2\zeta \cos(t_1 + \varphi); \\ e_{\varphi\varphi} &= A_1 \left\{ a^2 G(a) \right\} \sin 2\zeta \cos(t_1 + \varphi); \\ e_{\zeta\varphi} &= A_1 F(a) \{ 4 - 2 \operatorname{ctg} \zeta \} \sin(t_1 + \varphi); \\ e_{r\zeta} &= e_{r\varphi} = 0; \\ \Sigma &= e_{\zeta\zeta} + e_{\varphi\varphi} = 2A_1 [a^2 G(a) - F(a)] \sin 2\zeta \cdot \cos(t_1 + \varphi); \\ e_{\zeta\zeta} - e_{\varphi\varphi} &= -2A_1 F(a) \cdot \sin 2\zeta \cos(t_1 + \varphi); \\ \Delta &= \left\{ 2a \frac{dF(a)}{dr} + a^3 \frac{dG(a)}{dr} + 5a^2 G(a) \right\} A_1 \sin 2\zeta \cos(t_1 + \varphi). \end{aligned} \quad (13)$$

Согласно (12) и (13)  $e_{\zeta\varphi}$  и  $e_{\zeta\zeta} - e_{\varphi\varphi}$  зависят только от  $F(a)$ , а  $e_{\varphi\varphi}$  по (13) есть функция от  $G(r)$ .

Обозначим

$$\begin{aligned} \frac{H(r)}{g(r)} &= \frac{2F(r) + r^2 G(r)}{r}; \\ \frac{L(r)}{g(r)} &= \frac{F(r)}{r}. \end{aligned} \quad (14)$$

Причем при  $r=a$   $H(a)=h$  и  $L(a)=l$

где  $g$  – невозмущенное значение силы тяжести на расстоянии  $r$  от центра Земли;  $h$  и  $l$  – здесь и ниже числа Лява и Сида.

Деформация  $\varepsilon_i$  в любом направлении дается нижеследующим выражением

$$\varepsilon_i = e_{rr} h^2 + e_{\zeta\zeta} l^2 + e_{\varphi\varphi} m^2 + e_{\zeta\varphi} lm \quad (15)$$

Где  $l$ ,  $m$ ,  $n$  направляющий косинусы  $i$ -го направления, которые берутся в направлении радиуса, меридиана и первого вертикаля соответственно.

Из (15) можно получить выражение деформации для плоского случая

$$\varepsilon_i = e_{\zeta\zeta} l^2 + e_{\varphi\varphi} m^2 + \cos \varphi \cdot lm. \quad (16)$$

После постановки обозначения (14) в (12) и (13) для поверхности Земли ( $r=a$ ) компоненты деформации примут приведенный ниже вид:

Полусуточный прилив:

$$\begin{aligned}
 e_{\zeta\zeta} &= \frac{h \sin^2 \zeta + 2l \cos 2\zeta}{\sin^2 \zeta} \cdot \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\varphi\varphi} &= \frac{h \sin^2 \zeta + 2l(1 + \sin^2 \zeta)}{\sin^2 \zeta} \cdot \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\varphi} &= -4l \frac{\cos \zeta}{\sin^2 \zeta} \cdot \operatorname{tg}^2(t + \varphi) \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\zeta} + e_{\varphi\varphi} &= 2(h - 3l) \cdot \sin 2\zeta \frac{W_2}{ag}; & e_{\zeta\zeta} - e_{\varphi\varphi} &= 2l(1 + \cos^2 \zeta) \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{rr} &= \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 2h \right\} \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{r\zeta} &= 0, \quad e_{r\varphi} = 0.
 \end{aligned} \tag{17}$$

Суточные приливы:

$$\begin{aligned}
 e_{\zeta\zeta} &= (h - 4l) \cdot \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\varphi\varphi} &= (h - 2l) \cdot \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\varphi} &= 4l \frac{\cos \zeta}{\sin^2 \zeta} \cdot \operatorname{tg}^2(t + \varphi) \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\zeta} + e_{\varphi\varphi} &= 2(h - 3l) \cdot \sin \zeta \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\zeta} - e_{\varphi\varphi} &= -2l \cdot \sin \zeta \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{rr} &= \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 2h \right\} \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{r\zeta} &= 0, \quad e_{r\varphi} = 0.
 \end{aligned} \tag{18}$$

Долгопериодический прилив:

$$\begin{aligned}
 e_{\zeta\zeta} &= \left\{ h(\cos^2 \zeta - \frac{1}{3}) - 2l \cos 2\zeta \right\} \cdot \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\varphi\varphi} &= \left\{ h(\cos^2 \zeta - \frac{1}{3}) - 2l \cos^2 \zeta \right\} \cdot \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\varphi} &= 0; \\
 e_{\zeta\zeta} + e_{\varphi\varphi} &= 2(h - 3l) \cdot (\cos^2 \zeta - \frac{1}{3}) \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{\zeta\zeta} - e_{\varphi\varphi} &= 2l \cdot \sin^2 \zeta \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{rr} &= \left\{ a \frac{dH(a)}{dr} + 2h \right\} \frac{W_2}{ag}; \\
 e_{r\zeta} &= 0, \quad e_{r\varphi} = 0.
 \end{aligned} \tag{19}$$

Для получения соотношения (17, 18, 19) можно воспользоваться приборами, которые называются экстензомерами или деформографами.

Этот тип прибора возбуждается относительным движением двух твердосцементированных с деформирующейся земной корой столбов. Изменение расстояния между обоими столбами измеряется тремя принципиально различными способами:

1. Удлинением одного столба с помощью жесткой штанги так, чтобы между концом и соседним столбом вставить элемент датчика. Такой экстензомер называется штанговым.
2. Соединением обоих столбов упругой проволокой с малым температурным коэффициентом. Изменение провеса проволоки и будет характеризовать относительные перемещения столбов. Такой тип экстензомера был впервые предложен японским геофизиком К.Сасса и носит его имя.
3. С помощью оптической интерференции, которая будет наблюдаться, если расположить источник света на одном из столбов, а луч света будет отражаться от второго столба и возвращаться к источнику. Если этот луч света сравним со световым лучом, который проходит постоянной длины оптический путь, то получится переменная интерференционная картина.

Экстензомеры реагируют как на периодические деформации, так и на непериодические. Они принципиально отличаются от маятниковых инструментов. Так, в то время, как маятник непосредственно реагирует на сдвиги почвы относительно массы маятника, возбуждение экстензомера происходит благодаря разности фаз упругих волн на двух столбах, то есть посредством относительной скорости, с которой сейсмические колебания распространяются на граничной поверхности к наблюдаемому пространству. Тот факт, что экстензомер реагирует на непериодические процессы, позволяет применение инструмента для измерения длиннопериодных деформаций коры, которые по превышении границ твердости материалов ведут к неожиданным освобождениям накопленных напряжений и этим к землетрясениям, извержениям вулканов и т.д.

В противоположность маятникам, которые отличаются эффективно только в резонансной частоте, экстензомеры могут записать общий спектр частот упругих волн. Следовательно, экстензомер особенно эффективен для регистрации долгопериодических движений почвы, при которых маятниковые инструменты перестают служить.

Научное значение экстензомера определяется прежде всего возможностью изучать упругие свойства и внутреннее строение Земли при помощи долгопериодических сейсмических волн, а также собственных колебаний Земли и земных приливов.

Необходимость наблюдений локальных и региональных малых движений земной коры для обеспечения рудничных разработок и слежения за ходом деформаций коры под крупными инженерными сооружениями, а также для прогноза землетрясений в сейсмически активных областях, которые могут проводиться экстензомерами обычно с недостижимой точностью, также подчеркивает народнохозяйственное значение инструмента.

Экстензомер возбуждается благодаря разности фаз упругих волн, которая возникает вследствие их конечной скорости распространения в земной коре между обоими столбами. Теория экстензомера должна исследовать вопрос зависимости возбуждения от частоты этих волн и азимута их направления прибытия. Частотная зависимость обуславливается во-первых, резонансными свойствами соединяющих столбы элементов (штанга, проволока, луч света) и, во-вторых, - резонансными свойствами электрической регистрирующей части.

Экстензомер должен передавать относительные движения обоих столбов без искажения амплитуды и фазы. Это условие хорошо выполняется прежде всего у светового экстензомера, поскольку скорость света так велика, что можно практически принимать изменение движения обоих столбов как одновременное. Легко можно понять, что у проволочных экстензомеров амплитудные и фазовые равенства движения столбов и движения в датчике выполняются только для очень долгопериодных процессов, потому что уже при относительно низких частотах происходит возбуждение проволоки к собственным колебаниям.

В случае штанговых экстензомеров, соединяющая штанга для всех частот не может рассматриваться как жесткая, поскольку на высоких частотах начинается явление резонанса;

поэтому штанговые экстензометры применяются для записи относительно длиннопериодных волн, а также медленных движений земной коры.

Случай распространения продольных волн в штанговом экстензометре с одним свободным концом, без внутреннего и внешнего затуханий, теоретически рассматривался Г.Беньоффом. В 1935г. он показал, что реакция экстензометра на продольные ( $Y_p$ ) и ( $Y_s$ ) поперечные волны можно выразить следующими соотношениями:

$$Y_p = -\frac{L}{C} \cos^2 \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}; \quad Y_s = -\frac{L}{C} \sin \alpha \cos \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}. \quad (20)$$

Где  $L$  – длина штанги,  $C$  – скорость волны,  $\alpha$  – угол между экстензометром и направлением распространения волны.

Заметим, что аналогичные соотношения для маятникового сейсмографа имеют вид:

$$Y_p = \cos \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}; \quad Y_s = \sin \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}. \quad (21)$$

### Теория вертикального экстензометра

Допустим  $\xi$  есть вертикальное перемещение почвы в точке, горизонтальную координату которой в направлении, параллельном штанге, обозначим через  $x$ . Разность вертикальных перемещений в двух соседних точках почвы, координаты которых равны  $x$  и  $x+dx$  будет

$\frac{\partial \xi}{\partial x} dx$ , и соответственно разность вертикальных превышений двух реперов на расстоянии  $L$  друг относительно друга определится как

$$Y = \int_0^L \frac{\partial \xi}{\partial x} dx \quad (22)$$

Если сейсмические волны плоские и, если длина штанги  $L$  мала по сравнению с длиной сейсмической волны, то  $\frac{\partial \xi}{\partial x}$  можно считать постоянной и уравнение (22) запишется как

$$Y = L \frac{\partial \xi}{\partial x} \quad (23)$$

Ясно, что экстензометр будет чувствовать вертикальные компоненты приходящих поверхностных волн, которые будут генерированы обеими Р и S-волнами, если  $r$  есть координата вдоль распространения поверхностных волн,  $\alpha$  есть угол между  $r$  и  $L$ , можем написать:

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{\partial \xi}{\partial r} \cos \alpha,$$

откуда

$$Y = L \cos \alpha \frac{\partial \xi}{\partial r}. \quad (24)$$

Если выразить  $\xi$  как плоскую волну типа  $\phi(t - \frac{r}{c})$ , можем написать  $\frac{\partial \xi}{\partial x} = -\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial \xi}{\partial t}$ ,

тогда реакция вертикального экстензометра будет следующей

$$Y = -\frac{L}{c} \cos \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t}. \quad (25)$$

Следует заметить, что для такого типа экстензометра реакция зависит от азимута прихода волн.

Для наблюдения вековых, приливных, сейсмических деформаций поверхности Земли в подземной Тбилисской лаборатории земных приливов был установлен трехкомпонентный кварцевый штанговый экстензометр. Компонента N 66.5° E – база 42м, чувствительность

$0.22 \cdot 10^{-10} \text{ мм}^{-1}$ ; Компонента N  $30^\circ \text{ W}$  – база 14.5 м чувствительность  $0.7 \cdot 10^{-10} \text{ мм}^{-1}$ ; вертикальная компонента – база 6.45 м чувствительность  $(0.57-1.75) \cdot 10^{-10} \text{ мм}^{-1}$ .

Эта уникальная установка обеспечивала регистрацию деформационных процессов, вызванных тектоническими, приливными и сейсмическими силами.

### Литература

1. Ozawa I. Study on Elastic Strain of the Ground in Earth Tides. “Disaster Prevention Research Institute”. Bull. N15, March, 1957.
2. Benioff H. A linear Strain Seismograph. “Bull. Seism. Soc. Amer”. 25, 1935.
3. Балавадзе Б.К., Картвелишвили К.З. Приливы в твердом теле Земли. Тбилиси, «Мецниереба», 1984.
4. Картвелишвили К.З. Исследования земных приливов по наблюдениям в Тбилиси. Тбилиси, «Мецниереба», 1978.
5. Ozawa I. Disaster prevention research Institute. Kuyto Univ. bull. N46, 1961.
6. Melchior P. The Tides of the planet Earth. Pergamon Press, 1978.

დედამიწის მიმოქცევითი დეფორმაციების შესწავლა თბილისში

ქართველიშვილი კ., ქართველიშვილი გ., ნიკოლაიშვილი მ.

### რეზიუმე

ნაშრომში მოყვანილია მიმოქცევის წარმომქმნელი  $W_2$  პოტენციალით გამოწვეული წანაცვლებების ფორმულები რადიალურ, მერიდიანულ და პირველი ვერტიკალის მიმართულებით. კოორდინატთა პოლარულ სისტემაში ჩაწერილია ფორმულები დამახლობებისათვის და კუბური დილატაციისათვის.

## A STUDY OF THE TIDAL DEFORMATION PROCESSES OF THE EARTH IN TBILISI

Kartvelishvili K., Kartvelishvili G., Nikolaishvili M.

### Abstract

In the paper the components of radial, meridional and prime vertical displacements  $U_r$ ,  $U_\varphi$  and  $U_\zeta$  due to the tide generating potential  $W_2$  are described. In polar coordinate  $r$ ,  $\zeta$ ,  $\varphi$  formulae are obtain: for the strains, for the horizontal areal strain and cubical dilatation.

## ИЗУЧЕНИЕ ПРИЛИВНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМЛИ В ТБИЛИСИ

Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г.Д., Николайшвили М.М.

### Реферат

В работе приведены формулы смещения, вызванные потенциалом  $W_2$  приливообразующих сил в радиальном, меридиальном направлениях, а также в направлении первого вертикаля. В полярной системе координат записаны соотношения для напряжений и кубической дилатации.

**ПРИЛИВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ТБИЛИССКОГО  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭКСТЕНЗОМЕТРА**

**Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д.**

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

В 1971 г. в Тбилиси в подземной лаборатории отдела земных приливов Института геофизика АН Грузинской ССР был установлен вертикальный штанговый экстензометр. Подземное сооружение Лаборатории состояло из штольни длиной более 100 м, с двумя входами и с пятью камерами, наибольшая из которых имеет длину около 15 м. Штольня была проложена в 1942 г. Она облицована слоем бетона толщиной 30-40 см. имеет хорошую гидроизоляцию и дренажную систему. Расстояние до дневной поверхности меняется от 15 м от входа в штольню и до 60 м от ее конца.

Вертикальный экстензометр был установлен в камере, которая расположена в конце штольни. Штанга экстензометра была выполнена из стального стержня диаметром 25 мм и из трубы прозрачного кварцевого стекла, которые соединены между собой с помощью стальных фланцев. Общая эффективная длина экстензометра составляла 6.5 м. Верхний конец был закреплен в неразрушенной скальной породе с помощью анкерного механизма и зацементирован. Нижняя половина экстензометра была выполнена из трубы кварцевого стекла. Диаметр трубы 40 мм. толщина стенок 2-3 мм.

Смещения вертикальной штанги измеряются с помощью ёмкостного преобразователя малых перемещений КД-I [3], модифицированного для вертикального экстензометра. Чувствительность датчика к перемещению составляет 100 мВ/мкм. Выходные сигналы записываются на диаграмную ленту с помощью уравновешенных мостов типа КСП-4. Вся система для защиты от влияния изменения температуры и движения воздушных масс помещена в боксе из пенопласта.

Вертикальный экстензометр измеряет дифференциальное вертикальное перемещение  $\delta\xi$  между двумя точками вдоль радиуса Земли, отстоящих на расстояние  $\delta\alpha$ . Для  $\xi$  приливного потенциала  $W_2$  можем написать

$$\xi = h(r) \frac{W_2}{g}. \quad (1)$$

Здесь  $\xi$  обозначает радиальную компоненту перемещения,  $W_2$  – главный член приливообразующего потенциала,  $g$  – ускорение силы тяжести. Для первого приближения можем написать:

$$\delta\xi = \frac{\partial\xi}{\partial r} \delta\alpha = \frac{W_2}{rg} (rh' + 2h)\delta\alpha \quad (2)$$

где  $h'$  обозначает первую производную по  $r$ .  $h$  – радиальное число Лява. Для  $r = \alpha$  получим:

$$\delta\xi = (\alpha h' + 2h) \frac{\delta\alpha}{\alpha} \frac{W_2}{g} = \eta \frac{\delta\alpha}{\alpha} \cdot \frac{W_2}{g} \quad (3)$$

$\eta = \alpha h' + 2h$  можно назвать вертикальным деформационным фактором и он представляет собой коэффициент пропорциональности между приливным потенциалом и смещением в вертикальном направлении.

Можно показать, что  $\alpha h'$  выражается с помощью числа Лява  $h$  и числа Шида  $\ell$  следующим образом

$$\alpha h' = -2(1 + \gamma)h + 6\gamma\ell \quad (4)$$

где  $\nu = \lambda / \lambda + 2\mu = 1 - 2(\beta / \alpha)^2$ ,  $\lambda$  и  $\mu$  упругие константы Лява,  $\alpha$  и  $\beta$  скорости Р и S волн, соответственно.

Обычно приливные факторы:  $\gamma$  – наклономерный,  $G$  – гравиметрический и  $\Lambda$  – астрономический описывают интегральный эффект и не зависят от локальных структур. Для вертикального приливного деформационного фактора  $\eta$  этого сказать нельзя, поскольку на него влияют как локальные особенности структур, также и упругие свойства Земли, как целого.

Если пользоваться средними значениями  $\alpha = 6.1 \text{ км/сек}$ ,  $\beta = 3.54 \text{ км/сек}$  для модели Земли Буллена В можем получить:

для полусуточных приливов:  $h = 0.6199$ ,  $\ell = 0.0880$

для суточных приливов:  $h = 0.6173$ ,  $\ell = 0.0878$

Отсюда:

для полусуточных приливов:  $\alpha h' = -1.472$ ,  $\eta = -0.232$

для суточных приливов:  $\alpha h' = -1.466$ ,  $\eta = -0.231$

С другой стороны для различных моделей Земли согласно М.С. Молоденскому, получим  $-1.563 > \alpha h' > -1.587$ . По данным Такеучи для модели Буллена В  $\alpha h' > -1.477$ .

Заметим, что последний результат был получен для неопределенно длиннопериодического прилива. Хотя вышеприведенные авторы не пользовались средними значениями для  $\alpha$  и  $\beta$ . Поэтому приведенные выше результаты нельзя непосредственно сравнивать друг с другом. Значение величины  $\eta = -0.25$  можно считать более или менее приемлемым результатом для распространенных горных пород на поверхности Земли.

Для определения компоненты упругой приливной деформации  $e_{rr}$  в радиальном направлении можно пользоваться выражением (2), согласно которому получим для  $e_{rr}$

$$e_{rr} = \left[ \alpha \frac{dH(\alpha)}{dr} + 2h \right] \frac{W_2}{\alpha g} \quad (5)$$

где  $\alpha$  – средний радиус Земли,  $r$  – расстояние от центра Земли до точки наблюдения,  $g$  – ускорение силы тяжести в пункте наблюдения,  $W_2$  – вторая гармоника потенциала приливовобразующих сил, вносящая основной вклад в приливную деформацию. При  $r = \alpha$ ,  $H(\alpha) = h$ , где  $h$  число Лява.

Систематические наблюдения с помощью вертикальной компоненты экстензометра в подземной лаборатории отдела земных приливов института были налажены с марта 1984 г.

Гармоническому анализу был подвергнут материал наблюдений с общей продолжительностью 506.5 суток, полученный за период с 13.3.1984 по 21.3.1986 г. Обработка выполнена по методу выделения гармоник из сложной кривой [4], разработанному в отделе земных приливов института. Определены амплитуды четырех полусуточных ( $K_2$ ,  $S_2$ ,  $M_2$ ,  $N_2$ ) и пяти суточных ( $K_1$ ,  $S_1$ ,  $P_1$ ,  $M_1$ ,  $O_1$ ) волн. Масштаб записи для различных серий менялся в пределах от  $0.57 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^{-1}$  до  $1.72 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^{-1}$ .

Для всех определяемых волн суммарное значение величины  $W_2 / \alpha g$  составило для Тбилисской широты  $8.523 \cdot 10^{-8}$  и, при этом вертикальная приливная деформация оказалась  $W_2 / g = 54.3 \text{ см}$ .

В таблице 1 в первых строках для каждой серии приводятся значения амплитуд приливных воли, а во вторых строках средние квадратичные ошибки их определений. Приводятся также средние чувствительности  $S$  с указанием статистических весов  $P$  для каждой серии наблюдений. Все  $P$  берутся как величины, обратно пропорциональные средней квадратичной ошибки единичного измерения для каждой обрабатываемой серии. Там же приводятся продолжительности серии в часах.

Табл. 1

Значения амплитуд основных приливных волн  
для вертикальной компоненты деформации (в  $10^{-9}$ )

№№	Волны материал набл.	$K_2$	$S_2$	$M_2$	$N_2$	$K_1$	$S_1$	$P_1$	$M_1$	$O_1$
1.	13.3.84-6.6.84 $L = 2040$ , $P = 1.03$ , $S = 0.57 \cdot 10^{-9} / \text{мм}$	3.90 2.27	3.08 1.53	2.32 4.12	0.64 0.53	3.29 2.23	3.29 3.90	3.95 2.00	1.30 0.30	0.63 2.56
2.	5.10.84-4.3.85 $L = 3600$ , $P = 4.35$ , $S = 1.24 \cdot 10^{-9} / \text{мм}$	1.45 0.18	4.29 0.32	7.28 0.84	0.88 0.29	5.46 0.06	7.41 0.22	5.85 0.10	2.13 0.54	3.36 0.19
3.	19.6.85-19.10.85 $L = 2916$ , $P = 4.31$ , $S = 1.53 \cdot 10^{-9} / \text{мм}$	3.03 1.40	7.62 3.01	6.31 0.13	1.80 0.63	3.47 2.05	3.00 4.19	2.23 3.72	1.07 0.53	3.80 0.61
4.	22.10.85-21.3.86 $L = 3600$ , $P = 7.35$ , $S = 1.72 \cdot 10^{-9} / \text{мм}$	0.60 1.03	3.24 1.37	6.59 0.15	1.19 0.02	7.07 1.55	10.10 2.88	8.46 2.51	1.63 0.03	3.08 0.11

По данным таблицы 1 были рассчитаны значения приливного вертикального деформационного фактора по формуле

$$\eta = \alpha \frac{dH(\alpha)}{dr} + 2h$$

Если учесть, что по материалам горизонтальных составляющих экстензометров для Тбилиси было получено  $h = 0.536 \pm 0.016$  [3], то можно определить значение



$\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr} = \eta - 2h$  для вертикальной составляющей. Исходя из вышесказанного в таблице 2 приводятся значения  $\eta$  и  $\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr}$  для девяти основных приливных волн.

Табл. 2

Значения  $\eta = \alpha \frac{dH(\alpha)}{dr} + 2h$  и  $\alpha h'$  для основных волн

волна фактор	$K_2$	$S_2$	$M_2$	$N_2$	$K_1$	$S_1$	$P_1$	$M_1$	$O_1$
$-\eta$	0.599 0.361	0.461 0.153	0.300 0.026	0.285 0.067	0.264 0.064	42.29 15.27	0.857 0.313	1.36 0.257	0.21 0.02
$-\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr}$	1.671 0.393	1.533 0.185	1.372 0.058	1.357 0.099	1.336 0.096	43.40 15.30	1.929 0.345	2.4321 0.2890	1.28 0.059

Для пяти главных приливных волн ( $S_2$ ,  $M_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ ) были получены следующие значения  $\eta$  и  $\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr}$ :

$$\mu \text{ ср. взвешен.} = -0.262 \pm 0.034, \quad (P = \frac{1}{\varepsilon^2})$$

$$\eta \text{ ср. арифм} = -0.305 \pm 0.067,$$

$$\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr} \text{ ср. взвешен.} = -1.342 \pm 0.073,$$

$$\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr} \text{ ср. арифм.} = -1.377 \pm 0.099.$$

В связи с тем, что приливные деформации реальной Земли сопровождаются объемными изменениями вещества, то знание численного значения величин  $\eta$ ,  $h$  и  $\ell$  позволяют получить еще один параметр, характеризующий податливость Земли к внешним силам, т.н. четвертое число Лява, устанавливающее связь между кубической дилатацией  $D(r)$  вещества Земли и потенциалом приливообразующей силы [5].

$$D(r) = F(r) \frac{W_2}{rg} = \left[ \alpha \frac{dH(\alpha)}{dz} + 4h - 6\ell \right] \frac{W_2}{\alpha g} = [\eta + 2h - 6\ell] \frac{W_2}{\alpha g}$$

Для  $r = \alpha$ ,  $F(\alpha) = f$ .

Если воспользоваться значениями чисел Лява и Шида  $h = 0.536 \pm 0.016$  и  $\ell = 0.079 \pm 0.0023$ , полученными горизонтальными экстензометрами за длительный период наблюдений в Тбилиси [3], а также вышеприведенным значением  $\mu$  ср. взвешен. =  $-0.262 \pm 0.034$ , то можем определить численные значения объемного сжатия  $D(\alpha)$  и параметра  $f$  для Тбилиси:

$$f = 0.316 \pm 0.08, \quad D(\alpha) = 2.69 \cdot 10^{-8}.$$

Если выразить коэффициент Пуассона  $\sigma$  с помощью фактора  $\eta$  и чисел  $h$  и  $\ell$ , то можем написать [6]:

$$\sigma = \eta / \eta + 6\ell - 2h.$$

Подставив в это соотношение вышеприведенные значения  $\eta$ ,  $h$  и  $\ell$ , получим:  $\sigma = 0.305 \pm 0.034$ .

Это вычисленное значение  $\sigma$  достаточно близко с осредненными его значениями для неразрушенных горных пород ( $\sigma \cong 0.25$ ).

Основные результаты и выводы сводятся к следующему:

1. Средневзвешенные значения  $\eta$  и  $\alpha \frac{dH(\alpha)}{dr}$  находятся в хорошем согласии с их теоретическими значениями.

2. Вычисленное значение коэффициента Пуассона  $\sigma$  достаточно близко с осредненным его значением для неразрушенных горных пород ( $\sigma \cong 0.25$ ).

3. Наблюдаемые очень большие амплитуды волны  $S_1$ , а также большие амплитуды волн  $K_2$ ,  $S_2$ ,  $P_1$  и  $M_1$  объясняются наличием термического эффекта в материалах наблюдений.

4. Значения факторов  $\eta$ , полученных по волнам  $M_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$  и  $O_1$  достаточно хорошо согласуются друг с другом.

## Литერატურა

1. Ozawa I. Study on Elastic Strain of the Ground in Earth Tides. "Disaster Prevention Research Institute". Bull. N15, March, 1957.
2. Benioff H. A linear Strain Seismograph. "Bull. Seism. Soc. Amer". 25, 1935.
3. Балавадзе Б.К., Картвелишვილი К.З. Приливы в твердом теле Земли. Тбилиси, «Мецნიერება», 1984.
4. Картвелишვილი К.З. Исследования земных приливов по наблюдениям в Тбилиси. Тбилиси, «Мецნიერება», 1978.
5. Ozawa I. Disaster prevention research Institute. Kuyto Univ. bull. N46, 1961.
6. Melchior P. The Tides of the planet Earth. Pergamon Press, 1978.
7. Балавадзе Б.К., Картвелишვილი К.З., Урушадзе Р.М. Первые результаты наблюдений с вертикальным кварцевым экстензометром. Сообщ. АН ГССР, т. 129, №3, Тбилиси, 1988, с. 541-544.

თბილისში ვერტიკალური ექსტენზომეტრით მიღებული

მიმოქცევითი დეფორმაციების შედეგები

ქართველიშვილი კ., ქართველიშვილი გ.

## რეზიუმე

წარმოდგენილია კვარცის ვერტიკალური ექსტენზომეტრით თბილისში წარმოებული დაკვირვებული მასალის ჰარმონიული ანალიზის შედეგები. განსაზღვრულია ცხრა ძირითადი მიმოქცევითი ტალღის ამპლიტუდა, გამოთვლილია ვერტიკალური მიმოქცევითი ფაქტორის  $\eta$ , გარემომცველი ქანების პუასონის კოეფიციენტის  $\sigma$  და ლიავას მეოთხე რიცხვის  $f$ -ის მნიშვნელობები.

## **RESULTS OF TIDAL DEFORMATIONS WITH A VERTICAL EXTENSOMETER IN TBILISI**

**Kartvelishvili K., Kartvelishvili G.**

### **Abstract**

A new vertical strain gauge is described. Harmonic analysis of Earth tides measured with the mentioned instrument has been performed.

Computation results of vertical strain factor  $\eta$ , 4th Love number  $\sigma$  of the local rocks are given.

## **ПРИЛИВНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМЛИ ПО ДАННЫМ ТБИЛИССКОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭКСТЕНЗОМЕТРА**

**Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д.**

### **Реферат**

Приведены результаты гармонического анализа для девяти приливных волн, зарегистрированных в Тбилиси вертикальным экстензометром. Определены амплитуды этих волн, вычислены величины т.н. вертикального приливного фактора  $\eta$ , коэффициента Пуассона  $\sigma$  и значения четвертого числа  $f$  Лява.

## ДРЕЙФ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭКСТЕНЗОМЕТРА, СВЯЗАННЫЙ С ИЗМЕНЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д., Ломадзе Е. Д.

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

С повышением чувствительности приливорегистрирующих установок, качества наблюдений и методов их математической обработки, появились проблемы, связанные с тем фактом, что все земноприливные наблюдения возмущены так называемыми вторичными эффектами. Для геофизической интерпретации результатов наблюдений они должны быть предварительно исправлены путем учета различных эффектов метеорологического происхождения. Учет метеорологических факторов является сложным, поскольку они влияют как непосредственно на измерительные установки, так и на почву. Амплитуды от вторичных эффектов могут быть значительными и, поэтому их изучение и учет соответствующих поправок в приливном явлении имеет важное значение для точного определения механических констант, характеризующих упругие свойства недр Земли.

Известно, что существуют вариации атмосферного давления, вызываемые периодическими изменениями температуры и приливами в атмосфере. Известны также непериодические изменения атмосферного давления, вызываемые прохождением циклонов и антициклонов. Наблюдаются также меньшие по величине вариации кратные году и частям года, имеющие сезонное происхождение, суткам и полусуткам, а также квазипериодические колебания с периодом от нескольких часов до долей часа. Задача объяснения суточных и полусуточных вариаций давления, поставленная еще Лапласом, полностью не решена до настоящего времени. Недостаточно изучены также короткопериодические изменения величины атмосферного давления.

В земноприливных наблюдениях долгое время изменения атмосферного давления не принимались во внимание, так как их вклад в получаемые результаты считался пренебрежимо малым. В настоящее время по этому вопросу мнение изменилось. Появилось немало работ, в которых утверждается, что изменения атмосферного давления оказывают влияние на результаты наклономерных, экстензометрических и гравиметрических наблюдений. Они появляются вследствие региональных прогибов земной поверхности и поворотов отдельных блоков земной коры, при прохождении циклонов и антициклонов: локальных прогибов в ближайшей окрестности от места установки приливорегистрирующей аппаратуры, вызванных переменными атмосферными нагрузками, и неровностью рельефа: непосредственного силового воздействия атмосферного давления на приборы.

Следует отметить, что многие вопросы возмущающего влияния вариаций атмосферного давления на земноприливные наблюдения изучены недостаточно, а некоторые утверждения не проверены экспериментально. В некоторой степени это объясняется сложностью проблемы.

Для ее исследования необходимо иметь данные измерений атмосферного давления как на самой земноприливной станции, так и, как минимум, по двум направлениям от нее (С-10 и В-3) на расстоянии в несколько сотен километров. Эти данные должны быть непрерывными в течение года, снятыми в начале каждого часа и иметь значительно большую точность, чем это требуется для целей и задач метеорологии.

Из вышеперечисленных соображений в отделе земных приливов Института геофизики АН ГССР в 1984 г были организованы высокоточные наблюдения за изменениями атмосферного давления в дополнение к проводимым наблюдениям.

Поскольку серийные механические барографы типа М-22 не пригодны по своим параметрам для этой цели, был изготовлен фотоэлектрический измеритель давления на базе барографа метеорологического анероида М-22. В качестве преобразователя линейных смещений в барографе использована дифференциально включенная пара фотоэлементов. Этот преобразователь имеет большую чувствительность и довольно широкий линейный диапазон рабочей характеристики. Теоретические основы и методика расчета такого преобразователя изложены в работах [1,2].

Регистрации изменений атмосферного давления фотоэлектрическим барографом производился с помощью самописца типа КСП-400 с шкалой (-10 мВ) – 0 – (+10 мВ). Часовые метки задавались от контактных часов.

Масштаб записи при таком способе регистрации изменений давления может достигать  $10^{-3}$  миллибар/мм.

Оценка влияния суточных и полусуточных изменений атмосферного давления на параметры приливных волн показало, что непосредственное влияние изменений атмосферного давления на приливорегистрирующие приборы незначительно сказывается на величину приливных параметров волн  $M_2$ ,  $N_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$ .

Противоположное наблюдается для волны  $S_2$ . В атмосферном приливе для этой волны на протяжении года сохраняются неизменно как амплитуда, так и разность фаз с аналогичной волной в упругом приливе Земли.

Выполненные исследования подтвердили вывод о том, что вариации атмосферного давления существенно искажают только гармонические постоянные приливных волн  $K_2$ ,  $S_2$ ,  $P_1$ ,  $M_1$ ,  $S_1$ .

Следует ожидать весьма значительного возмущающего влияния вариации атмосферного давления на определяемые гармонические постоянные приливных длиннопериодических волн от двухнедельных до годовых.

При организации стационарных земноприливных наблюдений их следует дополнить высокоточными непрерывными наблюдениями изменений атмосферного давления с целью вычисления соответствующих поправок.

Изменения атмосферного давления для широты Тбилиси содержат как периодические составляющие, (суточные и полусуточные с амплитудой менее 1мб), также и значительно большие нерегулярные составляющие от нескольких дней до месяца. Наиболее интенсивные изменения с периодом в несколько дней достигает 15 мб и более.

Располагая данными изменений атмосферного давления и показаний вертикального экстензометра нами были сопоставлены дрейф вертикального экстензометра и ход атмосферного давления. На рис. 1. приведены дрейф вертикального экстензометра и ход среднесуточного давления для интервала времени продолжительностью 3600 ч.

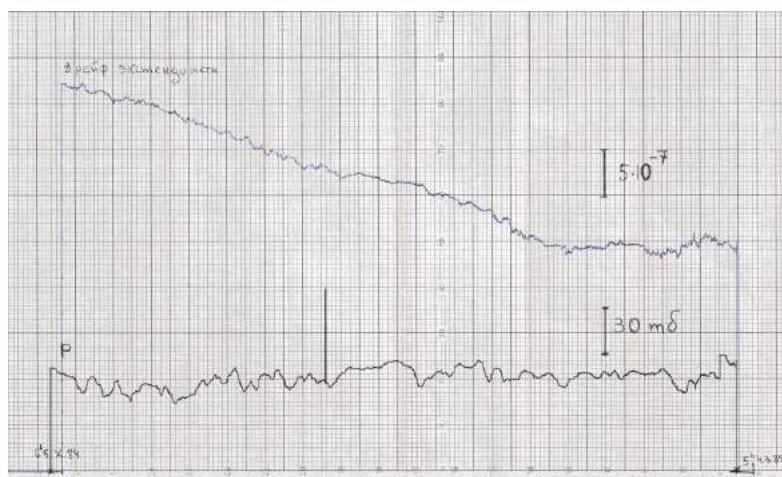


Рис. 1

Дрейф вертикального экстензометра и ход среднесуточного давления.

Было определено значение т.н. барического коэффициента вертикального экстензометра. Значение этого коэффициента определяет величину изменения показания вертикального экстензометра в относительных единицах деформаций, соответствующих изменению атмосферного давления в 1 мб. Для этой цели были выбраны участки регистрации с большими перепадами давления. Результаты определения барического коэффициента вертикального экстензометра приведены в таблице 1.

Табл. 1

К определению барического коэффициента для вертикального экстензометра

№№	Дата определения	Разность давления $\Delta P$ мм.зап.	Разность дрейфа $\Delta u$ мм.зап.	Барический коэф. $\beta = \frac{\Delta P}{\Delta u}$ (в $10^{-9}$ )
1	18.3.1984-23.3	26	250	3.425
2	24.3.-29.3	32	310	3.451
3	1.4-4.4	14	130	3.306
4	4.4-6.6.4	14	170	4.323
5	1.9-5.9	9	104	4.114
6	5.9-8.9	17	100	4.559
7	18.9-22.9	15	180	9.300
8	22.9-23.-	17	44	4.011
9	1.11-2.11	9	50	4.305
10	3.11-4.11	9	104	8.955
Среднее				4.98
Ср.арифм.ошибки				1.66
Ср.кв.ошибки				0.67

Из вышеприведенной таблицы видно, что росту атмосферного давления соответствует уменьшение базы вертикального экстензометра. Для тбилисского вертикального экстензометра значение барического коэффициента оказалось следующим  $\beta = (4.98 \pm 0.67)10^{-9} / \text{мб}$ .

Анализ одновременных записей барографа позволил определить т.н. барический коэффициент экстензометра, представляющий собой отношение изменений показания экстензометра к изменению атмосферного давления на 1 мб. Полученное значение барического коэффициента  $\beta = (4.98 \pm 0.67)10^{-9} / \text{мб}$  хорошо объясняет большую часть нерегулярных короткопериодических возмущений показаний вертикального экстензометра.

## Литература

1. Чепмен С., Линдзен Р. Атмосферные приливы. М. Мир, 1972.
2. Гриднев Д.Г. Прожоровский Г.С. Макет фотоэлектрического кварцевого барографа. В кн. Приливные деформации Земли. М., Наука, 1975.
3. Картвелишвили К.З., Мирианшвили В.И. Изучение влияния атмосферного давления на регистрацию приливов фотоэлектрическими наклономерами систем Островского (тезисы доклада). Материалы докладов II Республиканского семинара по некоторым вопросам физики Земли, атмосферы и космических лучей. Ин-т геофизики АН ГССР, Тбилиси, 1977.
4. Картвелишвили К.З., Меликадзе Г., Кобзев Г. Влияние изменений атмосферного давления и ускорения силы тяжести на гидросферу. Сборник трудов Ин-та геофизики АН Грузии, т. 62, Тбилиси, 2010, с. 169-173.

## დაკვირვებები ატმოსფერული წნევის ცვლილებებით გამოწვეულ დედამიწის ზედაპირის დეფორმაციებზე

ქართველიშვილი კ., ქართველიშვილი გ., ლომაძე ე.

### რეზიუმე

შესწავლილია ვერტიკალური ექსტენზომეტრით რეგისტრირებული არამიმოქცევითი დეფორმაციების კავშირი ატმოსფერული წნევის ცვლილებებთან. დადგენილია, რომ ატმოსფერული წნევის ცვლილებებით გამოწვეული დეფორმაციები შეიძლება გაიზომოს დიდი მანძილებით (500 კმ და მეტი) დაშორებულ პუნქტში. განსაზღვრულია ვერტიკალური ექსტენზომეტრის ე.წ. ბარიული კოეფიციენტი. შეფასებულია ატმოსფერული წნევის ცვლილებების გავლენა მიმოქცევით ტალღებზე.

## **OBSERVATIONS OF THE EARTH'S SURFACE DEFORMATIONS CAUSED BY ATMOSPHERIC PRESSURE VARIATIONS**

**Kartvelishvili K. , Kartvelishvili G., Lomadze E.**

### **Abstract**

The paper deals with the drift of tide – recording vertical extensometer due to atmospheric pressure variation. These variations will give rise to elastic deformation which are transmitted downwards from the surface and can be registered in the remoter parts of the Earth's surface. The barometric coefficient of the vertical extensometer is determined. The effect of atmospheric pressure variations on parameters of tidal waves is assessed.

## **ДРЕЙФ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЭКСТЕНЗОМЕТРА, СВЯЗАННЫЙ С ИЗМЕНЕНИЯМИ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ**

**Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д., Ломадзе Е. Д.**

### **Реферат**

Статья посвящена связи неприливных деформаций Земли, зарегистрированных вертикальным экстензометром с изменениями атмосферного давления. Установлено, что деформации, вызванные изменениями атмосферного давления, можно регистрировать в пунктах, удаленных на больших (500 км и выше) расстояниях. Определен т.н. барический коэффициент экстензомера. Оценено влияние изменения атмосферного давления на амплитуды приливных волн.



## საქართველოში საშუალო კლასის მიწისძვრების წინმსწრები ჰიდროდინამიკური ანომალიები

მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ., კობზევი გ., ჭანკვეტაძე ა.

ივ.ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ.ნოდიას სახ. გეოფიზიკის  
ინსტიტუტი, 0160, თბილისი, მ.ალექსიძის, 1, melikadze@gmail.com

### შესავალი

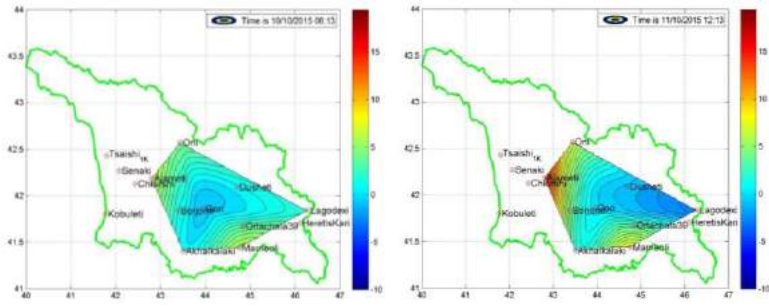
საქართველოს ტერიტორიაზე 2015-2016 წლებში ჩატარებული მულტიპარამეტრული მონიტორინგის მასალის ანალიზის შედეგად გამოვლენილი იქნა მიწისძვრის მომზადებით გამოწვეული ანომალიები. მასალის დამუშავება განხორციელდა Matlab-ის გარემოში შემუშავებული სპეციალური პროგრამული პაკეტის მეშვეობით (StationsMany) [1]. პროგრამა საშუალებას იძლევა რამოდენიმე ჭაბურღილზე ერთდროულად დავაკვირდეთ და შევისწავლოთ წყლის დონის ცვლილება და აგრეთვე მაგნიტური ველის ვარიაციები. პროგრამის მეშვეობით, დროის ერთ ფანჯარაში შეგვიძლია დავაკვირდეთ წყლის დონის, მიმოქცევებითი ვარიაციებისა და ატმოსფერული წნევის ცვლილებების ხასიათს მომხდარ მიწისძვრებთან მიმართებაში. მისი საშუალებით შესაძლებელია მოიხსნას ეგზოგენური ფაქტორების (ატმოსფერული წნევა, მიმოქცევები ვარიაციები) გავლენა, გაითვალოს დაყვანილი გეოდინამიური ველის სიდიდე და დავაკვირდეთ მის დროში და სივრცეში განვითარებას [2]. მიმოქცევითი ვარიაციები გამოთვლილი იქნა სპეციალური პროგრამის (Dennis Milbert TIDE programe, solid.for) მეშვეობით. სეისმური მონაცემები აღებული იქნა საიტიდან <http://www.emsc-csem.org/>.

### გამოვლენილი ანომალიები.

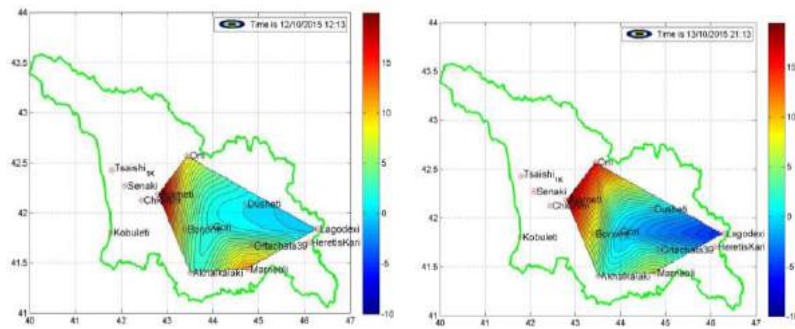
აღნიშნულ პერიოდში საქართველოს ტერიტორიაზე მოხდა რამდენიმე საშუალო კლასის მიწისძვრა, რომლის დროსაც დაფიქსირდა ცვლილებები ჰიდროდინამიკურ ველში და შესაბამისად ჭაბურღილების დროით მწკრივებში. განვიხილოთ ცვლილებები, რომელიც დაფიქსირდა სამი მიწისძვრის: 2015 წლის 16 ოქტომბრის (Mag=4.5), 2015 წლის 18 ნოემბრის (Mag=3.8) და 2016 წლის 12 ივლისის (Mag=4.8).

განვიხილოთ ჰიდგეოდეფორმაციული ველის ევოლუცია 16.10.2015 წლის M=4.5 მაგნიტუდის მიწისძვრის პერიოდში, რომლის ეპიცენტრი მდებარეობდა ფასანაურიდან 25კმ -ით ჩრდილო-აღმოსავლეთით.

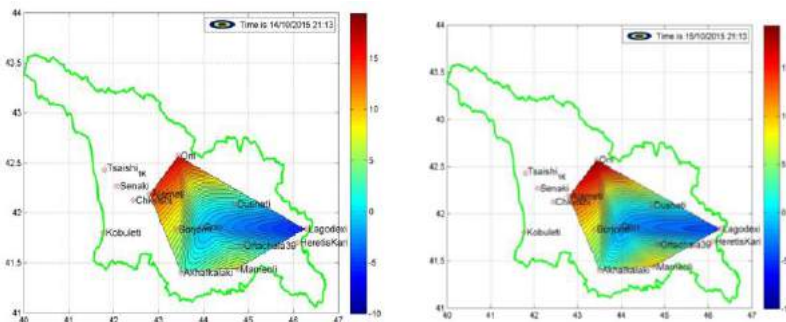
დედამიწის დაძაბულობის ველის თანამედროვე მდგომარეობის სწორად ასახვის მიზნით ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის სურათის აგებისას ჭაბურღილების დონის საწყისი მნიშვნელობები ნულდება და იმ მომენტიდან ათვლება პირობითი დეფორმაციის სიდიდეები. კერძოდ, აღნიშნული მიწისძვრისათვის ველები აგებული იქნა 10.10.2015 00:01-დან [3].



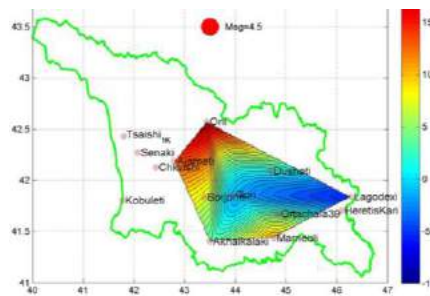
სურ. 1  
 ჰიდგეოდეფორმაციული ველის ცვლილება. 10.10.2015 06:13- 11.10.2015 12:13



სურ. 2  
 ჰიდგეოდეფორმაციული ველის ცვლილება. 12.10.2015 12:13-13.10.2015 21:13



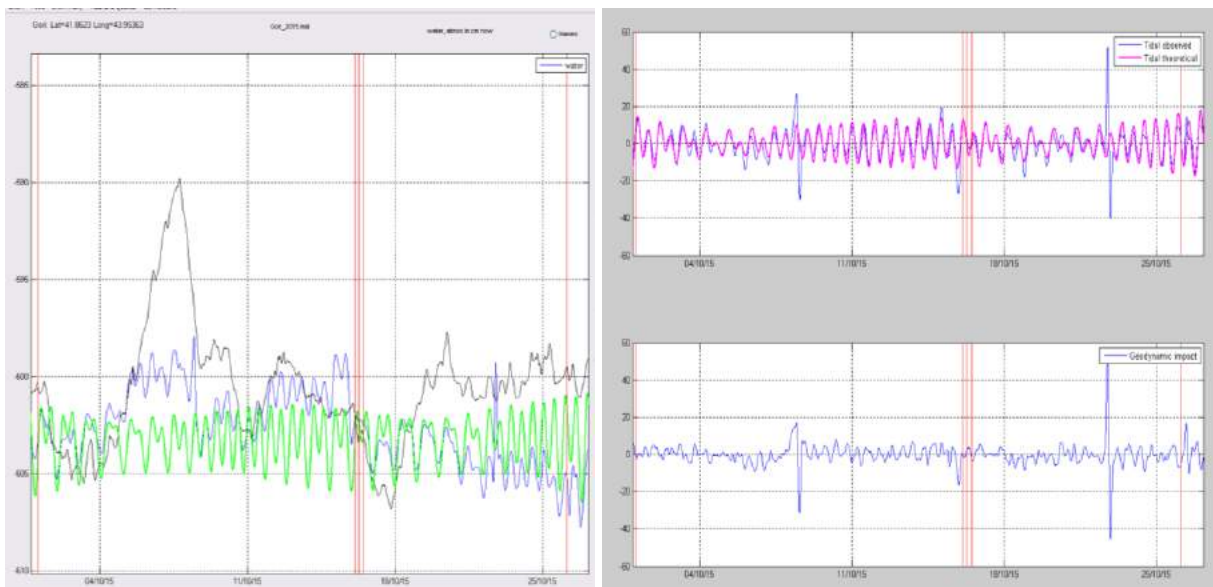
სურ. 3  
 ჰიდგეოდეფორმაციული ველის ცვლილება. 14.10.2015 12:13-15.10.2015 21:13



სურ. 4  
 ჰიდგეოდეფორმაციული ველის ცვლილება 16 ოქტომბრის მიწისძვრის დროს.

სურ.1- დან ჩანს, რომ ადგილი აქვს გაჭიმვის პროცესს ჩამოყალიბების პროცესს, რომელიც ვითარდება და მიგრირებს დასავლეთისაკენ ინტენსივობის ზრდით იმავდროულად. ამასთან, ყალიბდება შეკუმშვის დეფორმაცია მისგან დასავლეთით. მათი გამყოფი ზოლი ფიქსირდება ბორჯომის მერიდიანთან. სურ. 2-ზე ხდება ასევე შეკუმშვის დეფორმაციის ჩამოყალიბება სამხრეთით (ახალქალაქი-მარნეულის რაიონში), რასაც მოსდევს დაძაბულობის თანდათანობით ზრდა (სურ. 3-4). მიწისძვრის ეპიცენტრი განთავსდა შეკუმშვისა და გაჭიმვის პროცესების ზღვარზე გამავალ მერიდიანის სიახლოეს.

განვიხილოდ აღნიშნულ ტერიტორიაზე მდებარე ჭაბურღილებში დაფიქსირებული დროითი მწკრივების დარღვევები. მიწისძვრის წინ დარღვევა დაფიქსირდა გორის ჭაბურღილზე, რომელიც იმყოფება მიწისძვრის ეპიცენტრიდან 105 კმ-ში.



ა

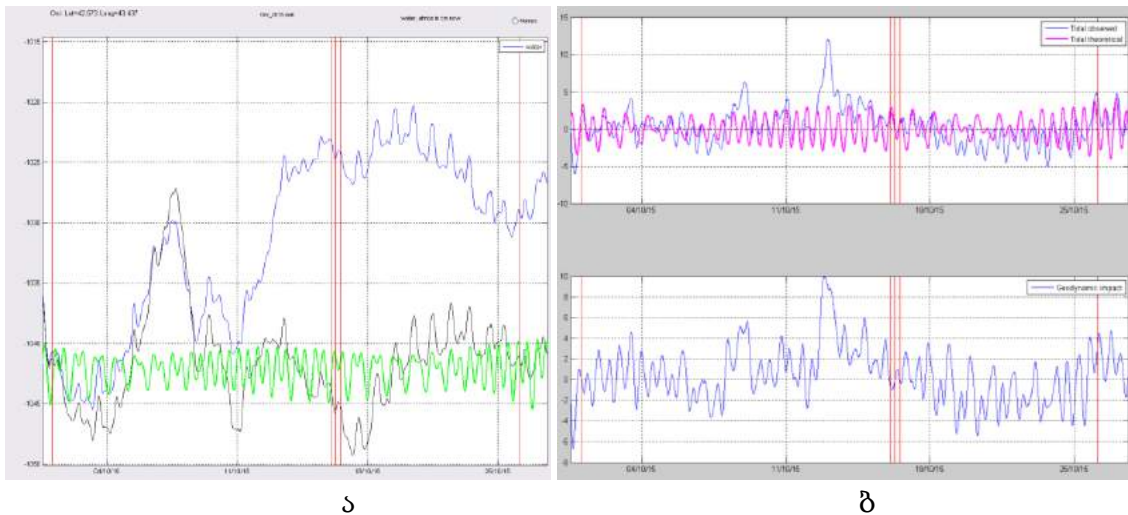
ბ

სურ. 5

ა-წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება გორის ჭაბურღილზე (სმ). ვერტიკალური ხაზი აღნიშნავს მიწისძვრას. აბსცისათა ღერძზე დრო მითითებულია საათებში. ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

5-ა სურათზე დარღვევა გამოიხატება წყლის დონის მკვეთრი ვარდნით მიწისძვრამდე, როგორც ერთი კვირით ადრე ასევე უშუალოდ მიწისძვრის წინა დღეს. ამპლიტუდის ცვლილება შეადგენს დაახლოებით 5 სმ-ს. სურ. 5-ბ-ზე განხილულია წყლის დონის ცვლილებები სიჩქარეების მეთოდის გამოყენებით. სურათზე დატანილია წყლის დონის ცვლილების სიჩქარისა და მიმოქცევების ვარიაციების ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები.

დარღვევა დაფიქსირდა ასევე ონის ჭაბურღილზე, რომელიც იმყოფება მიწისძვრის ეპიცენტრიდან 123 კმ-ში.

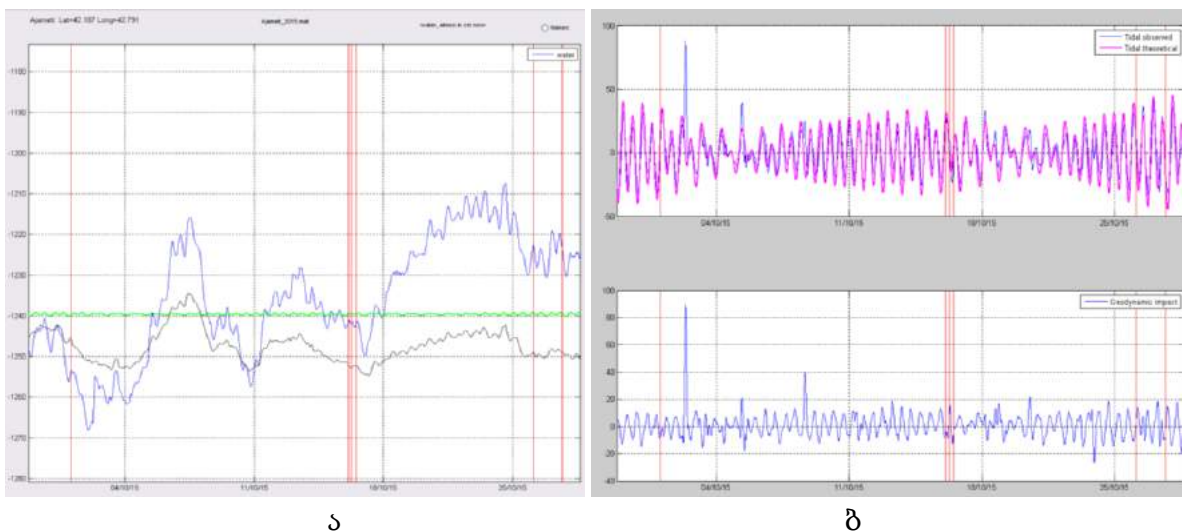


სურ. 6

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება ონის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

როგორც სურ.6-დან ჩანს, წყლის დონის მკვეთრი მატება აღინიშნება ონის ჭაბურღილზე მიწისძვრამდე 4 დღით ადრე.

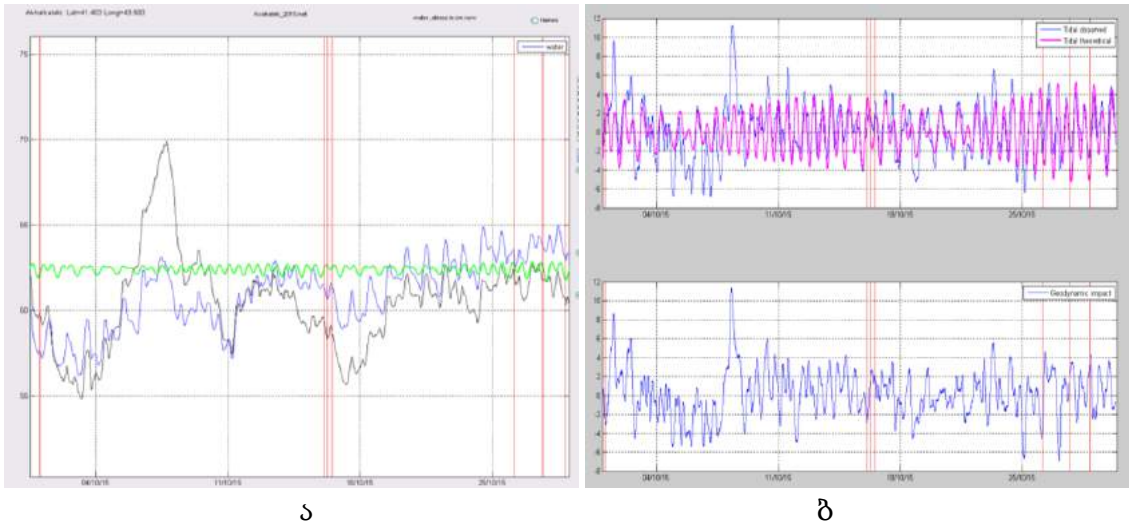
დარღვევა დაფიქსირდა აჯამეთის ჭაბურღილზე, რომელიც იმყოფება მიწისძვრის ეპიცენტრიდან 179 კმ-ში.



სურ. 7

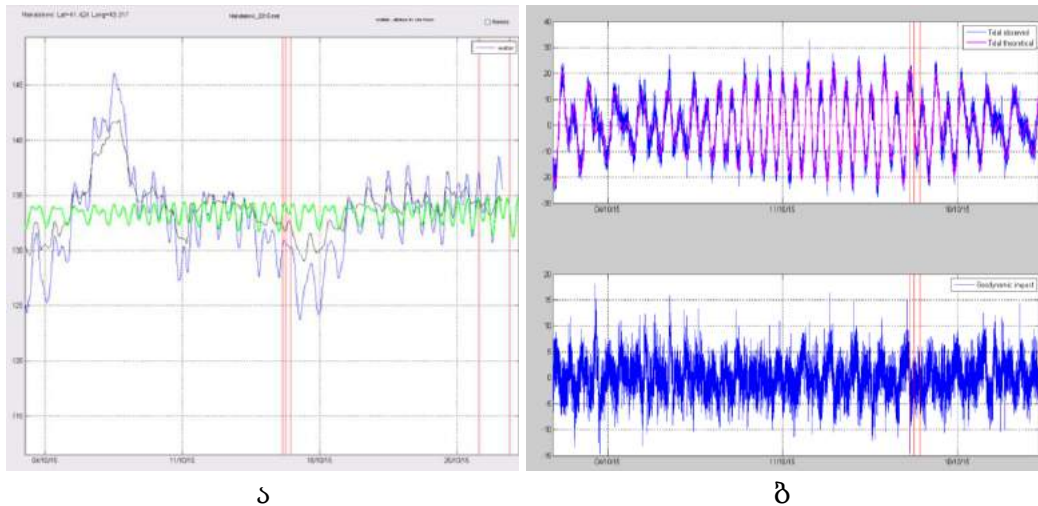
ა-წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება აჯამეთის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

დარღვევა დაფიქსირდა ასევე ახალქალაქისა და ნაქალაქევის ჭაბურღილებზე, რომლებიც დაცილებული იყვნენ მიწისძვრის ეპიცენტრიდან შესაბამისად 168 და 177 კმ-ში.



სურ. 8

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება ახალქალაქის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

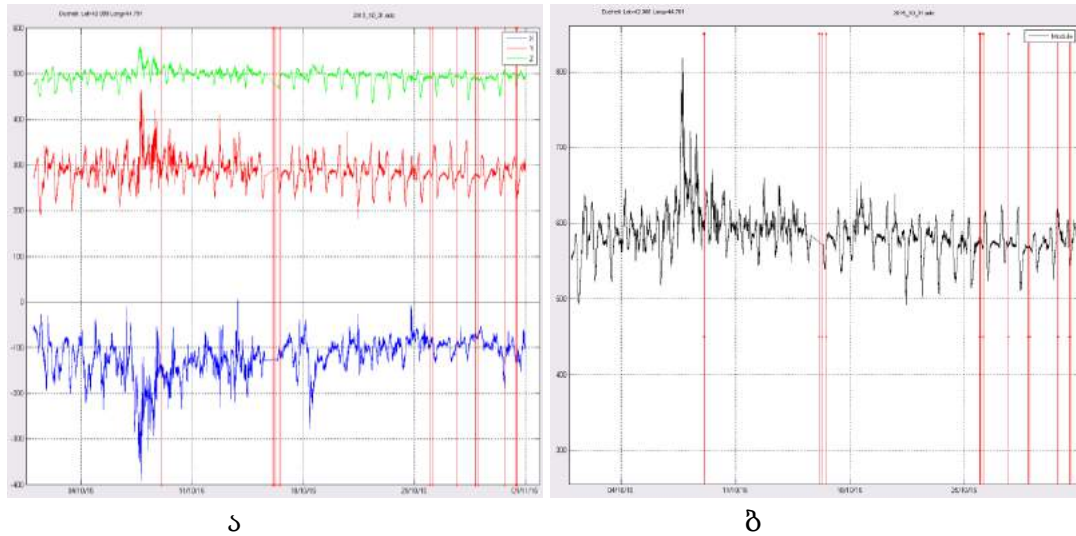


სურ. 9

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება ნაქალაქევის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

სიჩქარეთა გრაფიკებზე გამოიყოფა სამი ნაწილი. პირველ ნაწილში გვაქვს პარამეტრების სიჩქარეთა ცვლილების გრაფიკების კარგი შეთავსება. მეორე ნაწილში გვხვდება ამ შეთავსების მკვეთრად გამოხატული დარღვევა, რაც განპირობებულია უნდა იყოს დაძაბულობის ველის ცვლილების შესაბამისი ასახვით წყლის დონის ცვლილებებში. რამდენიმე დღის ადრე მოვლენამდე კვლავ დაიკვირვება მათი კარგი შეთავსება, ანუ დაძაბულობის ველის ნორმალიზაცია უშუალოდ მიწისძვრის წინ.

16.10.2015 წლის მიწისძვრაზე ანალოგურ პერიოდში დარღვევა დაფიქსირდა მაგნიტური ველის ვარიაციებში დუშეთის გეომაგნიტურ ობსერვატორიაში, რომელიც დაცილებული იყო ეპიცენტრიდან 45 კმ-ით. ანომალიებს ადგილი ჰქონდა როგორც მაგნიტური ველის მდგენელების, ასევე მოდულის ცვლილებებში.



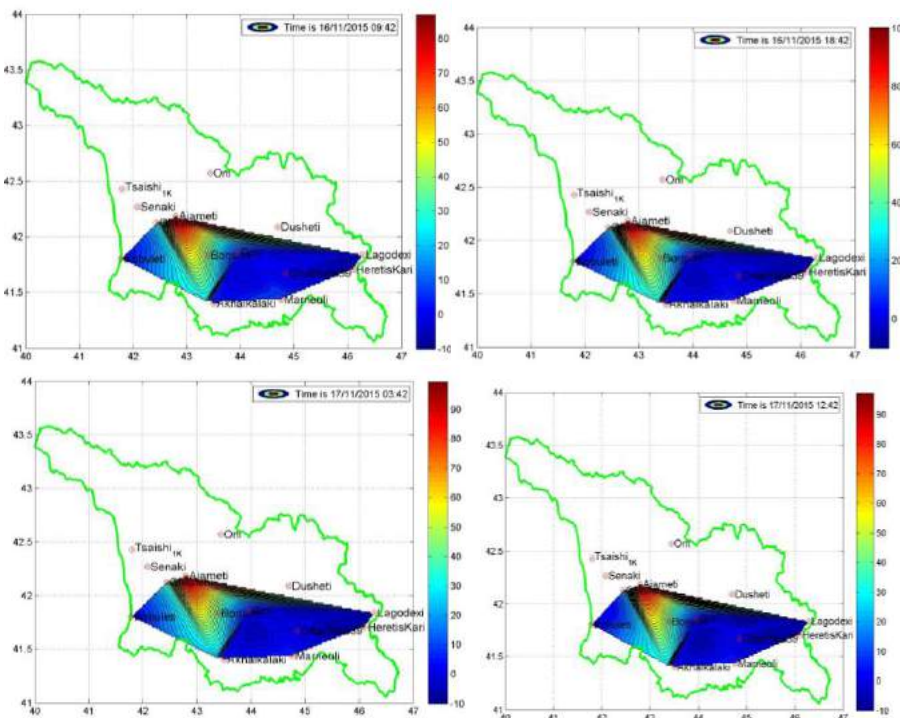
სურ. 10

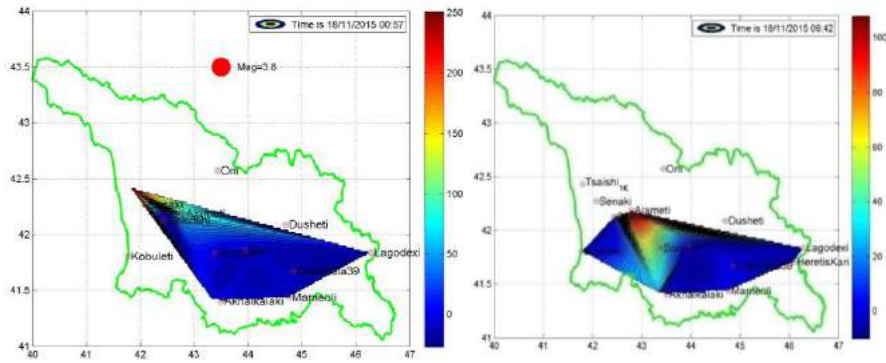
ა-მაგნიტური ველის x,y,z მდგენელების ცვლილება 2015 წლის ოქტომბრის თვის პერიოდისათვის. ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

როგორც სურ. 10-ზე ნაჩვენებია გრაფიკებიდან ჩანს, მიწისძვრამდე, 5 დღით ადრე, დუშეთის გეომაგნიტურ მონაცემებში, შეინიშნება დარღვევები.

შეიძლება დავასკვნათ, რომ აღნიშნული მიწისძვრის მომზადების პროცესი ნათლად აისახა ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის ცვლილებებში და ერთი კვირით ადრე მოვლენამდე მისმა მნიშვნელობამ მიაღწია დამაბულობის მაქსიმუმს. ამ პერიოდის კრიტიკული დამაბულობა მკვეთრად აისახა ტერიტორიაზე მდებარე ჭაბურღილების რეჟიმში, წყლის დონის ცვლილებების ანომალური მნიშვნელობებით.

შედარებით სუსტი (Mag=3.8) მიწისძვრა მოხდა ტყიბულში 2015 წლის 18 ნოემბერს, რომლის მომზადების პროცესი ასევე აისახა ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველში. სურ. 11.



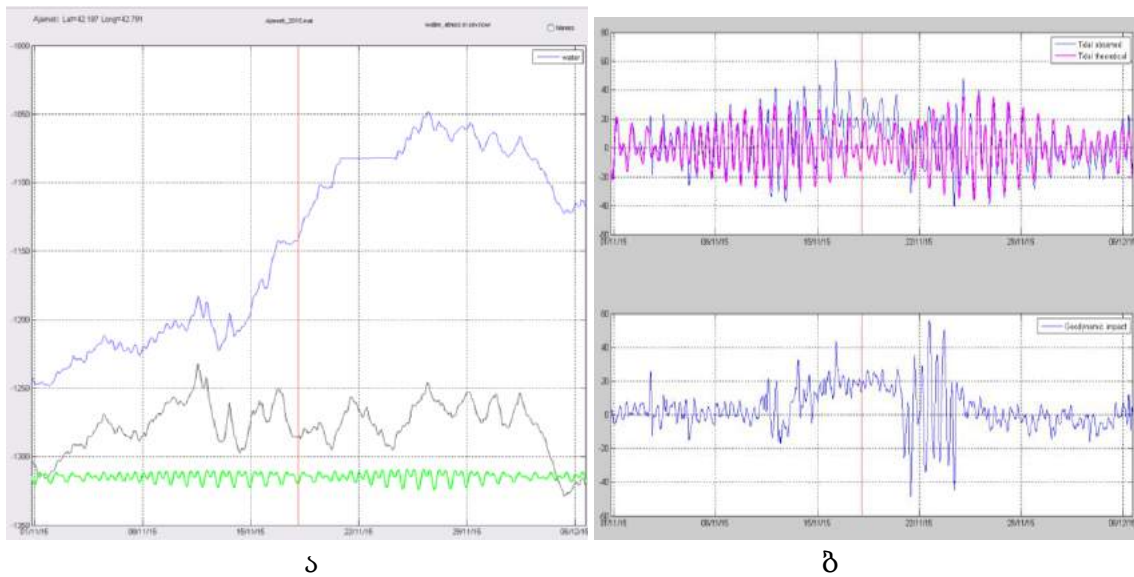


სურ. 11

გეოდეფორმაციული ველის ცვლილება. 16.11-18.11.2015 წ.

განსხვავებით 18 ოქტომბრის მიწისძვრისა, აქ ადგილი აქვს შეკუმშვის დეფორმაციის მიგრაციას აღმოსავლეთიდან დასავლეთისაკენ და ერთი კვირის განმავლობაში მისი ინტენსივობას მნიშვნელობის ზრდას ეპიცენტრალურ არეში.

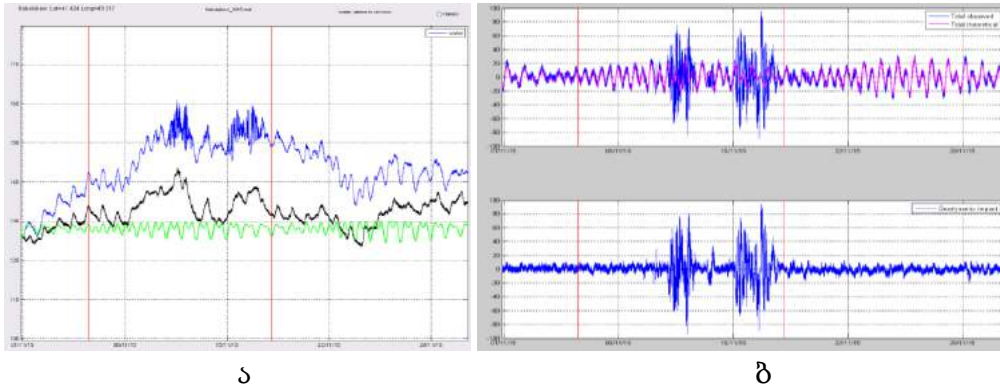
მიწისძვრის მომზადების პროცესში დაფიქსირდა დარღვევები აჯამეთის, ნაქალაქევისა და გორის ჭაბურღილებზე, ასევე მაგნიტური ველის ცვლილებებში.



სურ. 12

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება აჯამეთის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

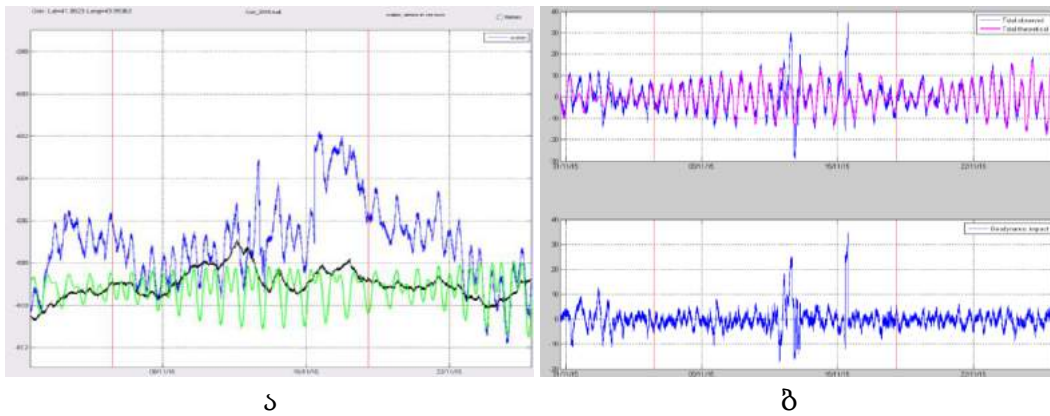
დარღვევა აჯამეთის ჭაბურღილში ფიქსირდება 15 ნოემბრიდან, მიწისძვრამდე 3 დღით ადრე. დარღვევები ჩანს ასევე წყლის დონისა და მიმოქცევების ვარიაციების ცვლილების ორიგინალურ ასევე სიჩქარეების ცვლილების გრაფიკებზე. დარღვევა ნაქალაქევის ჭაბურღილზე, დაფიქსირდა მიწისძვრამდე 2-3 დღით ადრე. იგი დაშორებული იყო ეპიცენტრს 105 კმ-ით.



სურ. 13

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება ნაქალაქევის ჭაბურღილზე (სმ). ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

დარღვევა გორის ჭაბურღილზე დაფიქსირდა 3 დღით ადრე მიწისძვრამდე. დაცილება შეადგენდა შესაბამისად 92 კმ-ს.

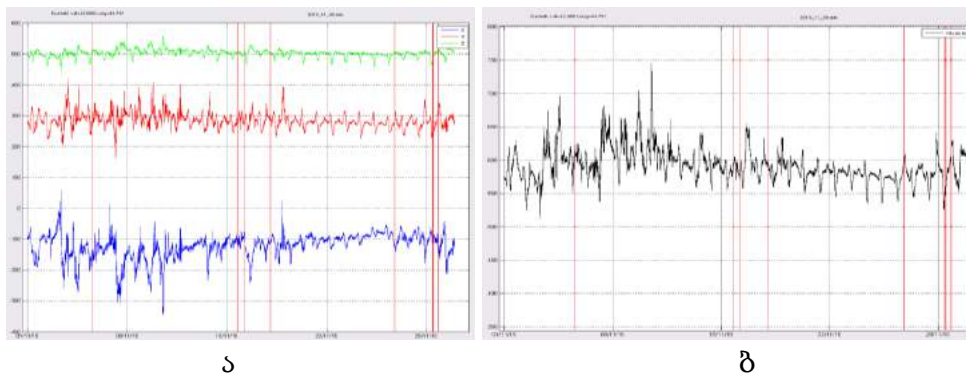


სურ. 14

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება გორის ჭაბურღილზე (სმ). ვერტიკალური ხაზი აღნიშნავს მიწისძვრას.

ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

ანომალიები დაფიქსირდა ასევე დუშეთის ობსერვატორიაში დანაკვირვებ მაგნიტური ველის მდგენელებისა და მოდულის ცვლილებაში.



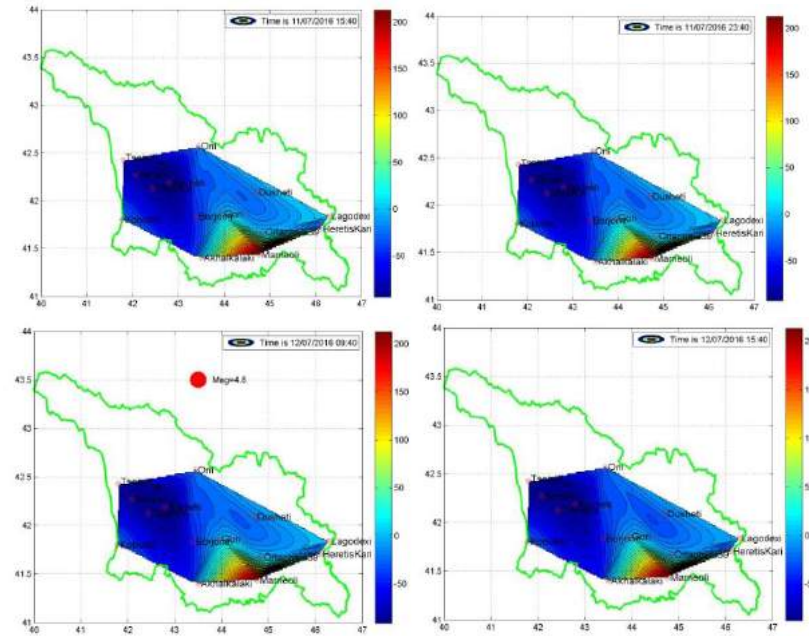
სურ. 15

ა- მაგნიტური ველის x,y,z მდგენელების ცვლილება 2015 წლის ნოემბრის თვის პერიოდისათვის. ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.



დეშეთის მონაცემებში ანომალური ცვლილებები შეინიშნება მიწისპირამდე ერთი კვირით ადრე.

მესამე საშუალო კლასის სიმძლავრის მიწისძვრის (Mag=4.8) მომზადების პროცესი, რომელიც მოხდა 2016 წლის 12 ივლის ქალაქი დმანისიდან 12 კმ-ში, ასევე აისახა ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველში.



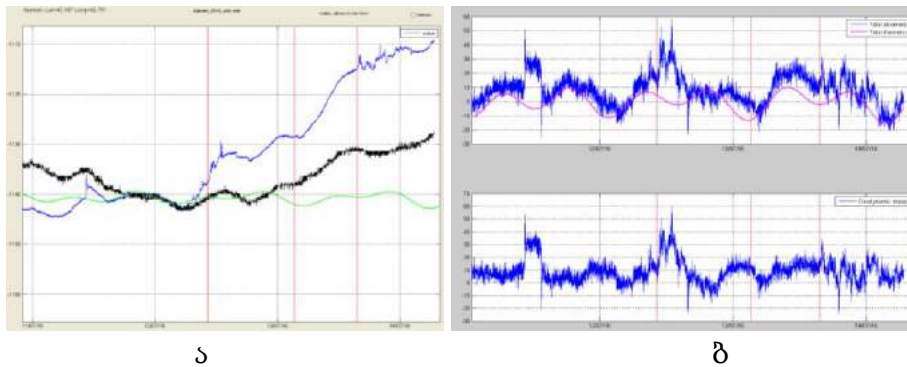
სურ. 16

ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის ცვლილება.11.07.2016\_12.07.2016

მისი მომზადების პროცესი დაფიქსირდა აჯამეთის, ქობულეთის, ლაგოდეხის, მარნეულისა და გორის ჭაბურღილებზე, ასევე მაგნიტური ველის ცვლილებაში.

თვითოეულ სადგურზე გამოვლინდა შემდეგი სახის ანომალიები:

აჯამეთის სადგურის დაცობა ეპიცენტრიდან შეადგენდა 137 კმ-ს. დარღვები წყლის დონის ვარიაციებში გამოვლინდა როგორც უშუალოდ ძირითადი მიწისძვრის, ასევე მისი აფტერშოკის (13.07.2016 Mag=3.4) წინ.

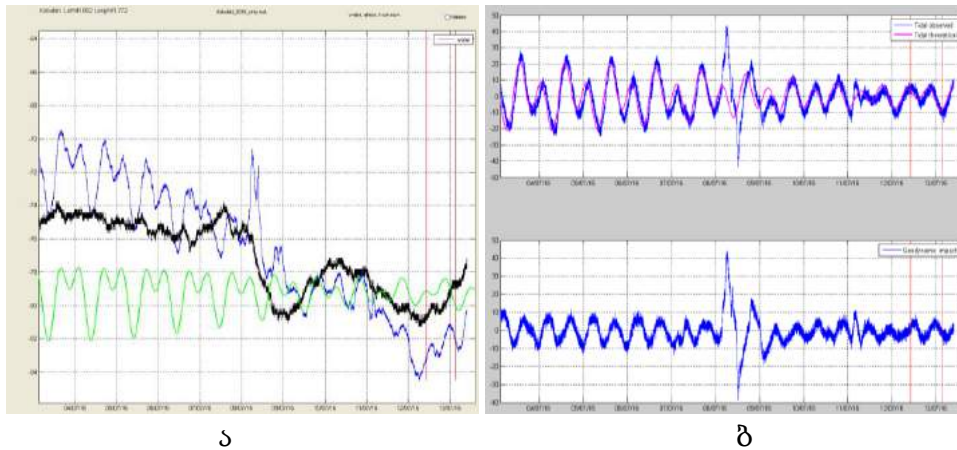


სურ. 17

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება აჯამეთის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

ძირითადი მიწისძვრის შემდგომ პერიოდში, ფიქსირდება წყლის დონის მატება 30 სმ-ით. დონის მატებას მოჰყვება მეორე მიწისძვრა და ისევ წყლის დონის მატება 15 სმ-ით. აღნიშნული მიწისძვრების წინ დარღვევები ჩანს როგორც წყლის დონის და მიმოქცევების ვარიაციების ცვლილების ორიგინალური მნიშვნელობების, ასევე სიჩქარული ცვლილებების გრაფიკებზე.

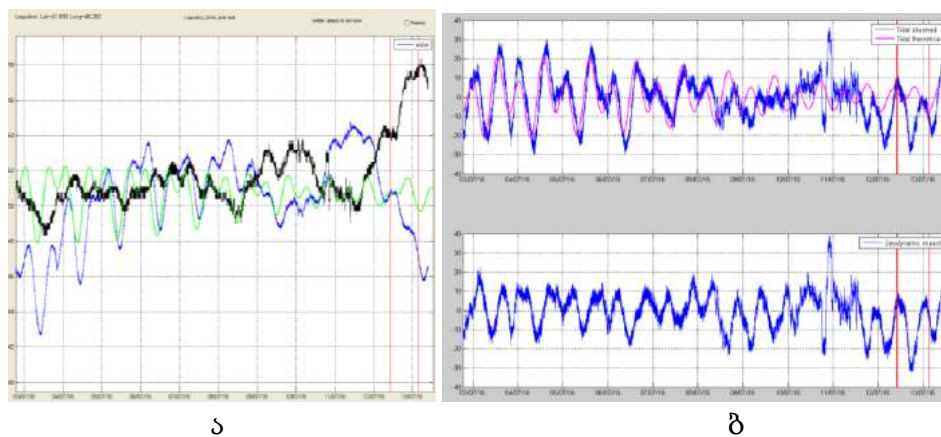
მიწისძვრამდე 4 დღით ადრე ფიქსირდება დარღვევები ქობულეთის ჭაბურღილზე. როგორც სურათიდან ჩანს ხდება მახასიათებელი ფონური სურათის დარღვევა და წყლის დონის დაცემა დაახლოებით 10 სმ-ით. მიწისძვრა მოხდა სადგურიდან 194 კმ-ში.



სურ. 18

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება ქობულეთის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

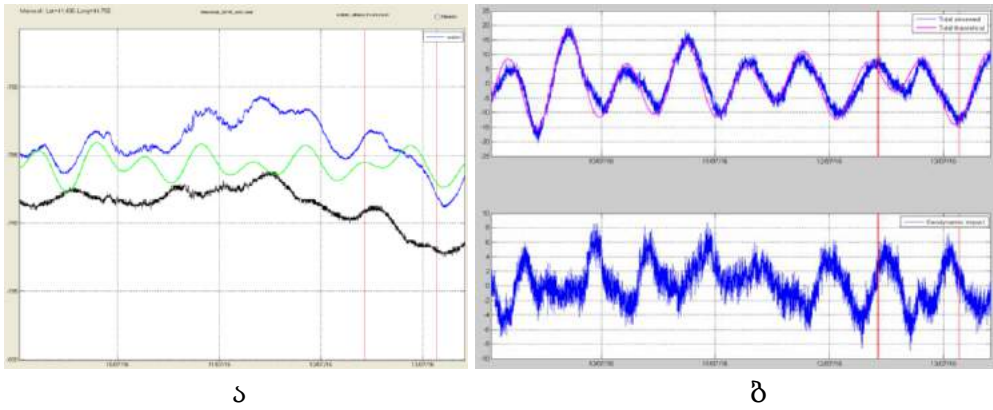
ყველაზე აღმოსავლეთით მდებარე ლაგოდეხის სადგური დაცილებული იყო ეპიცენტრიდან 193კმ-ში. წყლის დონის ანომალური ცვლილება ლაგოდეხის ჭაბურღილში იწყება მიწისძვრამდე 3 დღით ადრე.



სურ. 19

ა- წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევების ცვლილება ლაგოდეხის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

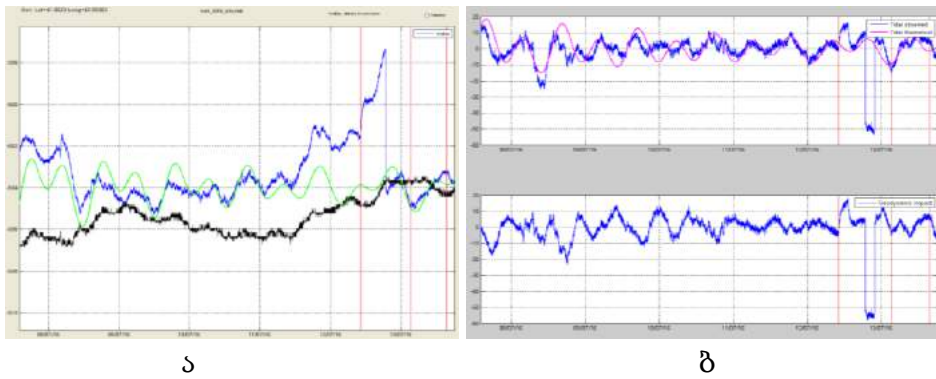
მცირე დარღვევაა მარნეულის სადგურზე, რომელიც დაცილებული იყო ეპიცენტრიდან 60 კმ-ში.



სურ. 20

ა-წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევის ცვლილება მარნეულის ჭაბურღილზე (სმ). ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

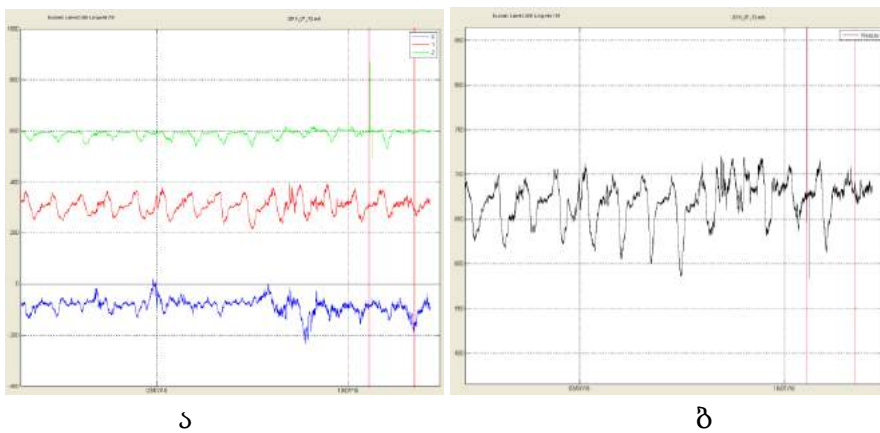
გორის სადგურზე აღნიშნა დარღვევები 1 დღით ადრე



სურ. 21

ა-წყლის დონის, ატმოსფერული წნევისა და მიმოქცევის ცვლილება გორის ჭაბურღილზე (სმ).ბ- მათი ცვლილების სიჩქარის გრაფიკები და სხვაობა.

მიწისძვრაზე, ანომალური რეაქცია დაფიქსირდა მაგნიტური ველის მდგენელებისა და მოდულის ცვლილებაშიც:



სურ. 22

ა-მაგნიტური ველის x,y,z მდგენელების ცვლილება 2015 წლის ნოემბრის თვის პერიოდისათვის.ბ- მაგნიტური ველის მოდულის მნიშვნელობა.

დუშეთის მონაცემების მიხედვით, მაგნიტური ველის ანომალური ცვლილებები შეინიშნება მიწისძვრამდე 3-4 დღით ადრე.

### **დასკვნა**

მულტიპარამეტრული მონიტორინგის შედეგებმა გვიჩვენა, რომ მიწისძვრის მომზადების პროცესი, როგორც ქანების დაძაბულობის ცვლილება, ნათლად აისახება ჰიდროგეოდეფორმაციულ ველის ვარიაციებში. კრიტიკული დაძაბულობის მიღწევას, ანომალური ცვლილებები ფიქსირდება სარეჟიმო ქსელის ღრმა ჭაბურღილებში, როგორც წყლის დონის, ასევე მაგნიტური ველის ვარიაციებში.

კვლევები განხორციელდა რუსთაველის სახ. ეროვნული სამეცნიერო ფონდის გრანტის FR/328/9-156/13 "გეოდინამიკური ველის სივრცულ - დროითი ვარიაციები და მისი გავლენა ღრმა წყალშემცველ ჰორიზონტებზე და მაგნიტურ ველზე" ფარგლებში.

### **ლიტერატურა**

1. Melikadze G., Kobzeb I., Kapanadze N., Machaidze Z., Jimsheladze T. Analyze of underground water regime factors for determine tectonic component, LEPT Institute of Hydrogeology and Engineering Geology. Collection articles, vol. XYI. Proceeding of Conference Dedicate to the 100-th Anniversary of Professor Josef Buachidze, Tbilisi, 2007.
2. Kobzev G., Melikadze G. Methods of hydrogeodynamical analysis for revealing earthquakes precursors. Workshop materials "Exploration and exploitation of groundwater and thermal water systems in Georgia, Tbilisi, Georgia, 2010, p. 60-69.
3. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. Гидрогеодеформационное поле Земли. Доклады АН СССР, 262, N 2, 1982.

## **საქართველოში საშუალო კლასის მიწისძვრების წინმსწრები ჰიდროდინამიკური ანომალიები**

**მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ., კობზევი გ., ჭანკვეტაძე ა.**

### **რეზიუმე**

სტატიაში განხილულია საშუალო კლასის მიწისძვრის მომზადების პროცესში გამოვლენილი ანომალიები. ამ მიზნით დამუშავებულ იქნა ჰიდროდინამიკური მონიტორინგის ქსელიდან მიღებული წყლის დონისა და ატმოსფერული წნევის მონაცემები, ასევე დუშეთის გეომაგნიტური ობსერვატორიის მონაცემები. დაფიქსირდა მიწისძვრის მომზადების პროცესით გამოწვეული ჰიდროგეოდეფორმაციული ველის ცვლილებები და კრიტიკული დაძაბულობით ასახვა წყლის დონისა და მაგნიტური ველის ანომალურ ვარიაციებში.

## **HYDRODYNAMIC ANOMALIES AS PRECURSORS OF AVERAGE DEGREE EARTHQUAKES IN GEORGIA**

**Melikadze G., Jimsheladze T., Kobzev G., Chankvetadze A.**

### **Abstract**

The article deals about detected anomalies during preparation of average grade earthquake. For this purpose the data of the water level and atmospheric pressure from the Hydrodynamic monitoring network, and data from Dusheti geomagnetic observatory were developed. The hidrogeodeformation field variation caused by the earthquake preparation process and reflection of the critical stress in the water level and abnormal variations of the magnetic field were registered.

## **ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ, ПРЕДШЕСТВУЮЩИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМ СРЕДНЕГО КЛАССА В ГРУЗИИ**

**Меликадзе Г. И., Джимшеладзе Т. Дж., Кобзев Г. Н., Чанкветадзе А. Ш.**

### **Реферат**

В статье рассматриваются вопросы выявления аномалии в процессе подготовки землетрясения среднего класса. Для этой цели была обработаны данные уровня воды и атмосферного давления, полученные с сети гидродинамического мониторинга, а также данные Душетской геомагнитной обсерватории. Были зафиксированы изменения гидрогеодеформационного поля Земли, вызванные процессом подготовки землетрясений и отражения критических напряжений в аномальных вариациях уровня воды и магнитного поля.

**მასების მოძრაობის და სეისმური პროცესის ლაბორატორიული მოდელირება**

**ამილახვარი დ., დვალი ლ.**

*ი. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი, 0160, თბილისი, მ. ალექსიძის 1*

**შესავალი**

მიწისძვრა ერთ-ერთი ყველაზე დამანგრეველი ბუნებრივი კატასტროფაა, რომელიც ხშირ შემთხვევაში იწვევს ადამიანურ მსხვერპლს და დიდ მატერიალურ ზარალს. საქართველო მდებარეობს სეისმურად აქტიურ რეგიონში და ძლერი მიწისძვრების ჩვენთან საკმაოდ ხშირად ხდება. მსოფლიოს ბევრი ქვეყნისათვის მეწყრული მოვლენებიც დიდი ჰუმანიტარული და ეკონომიკური დანაკარგების გამომწვევია. საქართველო მდებარეობს მაღალმთიან რეგიონში და მეწყრული მოვლენები ხშირად იწვევს დიდ ეკონომიკურ ზარალს. ხშირად ადგილი აქვს ადამიანურ მსხვერპლსაც. მეწყრულ მოვლენების გამომწვევი ძირითადი ფაქტორებია უხვი ნალექები და მიწისძვრები. ხშირ შემთხვევაში მიწისძვრა არ იწვევს კატასტროფულ შედეგებს, როგორც მის მიერ ტრიგერირებული მეწყრულ/ღვარცოფული მოვლენები. დიდმასშტაბიანი ექსპერიმენტები და სავლე დაკვირვებები გვიჩვენებს, რომ მეწყრულ პროცესს შეიძლება ჰქონდეს სტიკ-სლიპის ხასიათი [1-3].

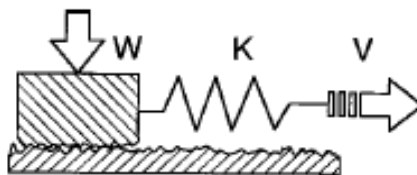
ზამბარა-მცოცის ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე მიღებული იქნა ემპირიული კანონი, სიჩქარეზე და მდგომარეობაზე დამოკიდებული ხახუნის კანონი [4-6]. სიჩქარეზე და მდგომარეობაზე დამოკიდებული ხახუნის კანონი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგნაირად:

$$\tau = \sigma_0 \left( \mu_0 + a \ln \left( \frac{V}{V_0} \right) + b \ln \left( \frac{V_0 \theta}{D_0} \right) \right), \quad (1)$$

სადაც  $\mu_0$  ხახუნის საწყისი კოეფიციენტია,  $V$  სრიალის სიჩქარე,  $V_0$  სრიალის საწყისი სიჩქარე,  $\theta$  არის მდგომარეობის მუდმივა და  $D_0$  სრიალის კრიტიკული მანძილი,  $a$  და  $b$  ორი ექსპერიმენტულად განსაზღვრული.

მდგომარეობის მუდმივა იცვლება შემდეგნაირად:

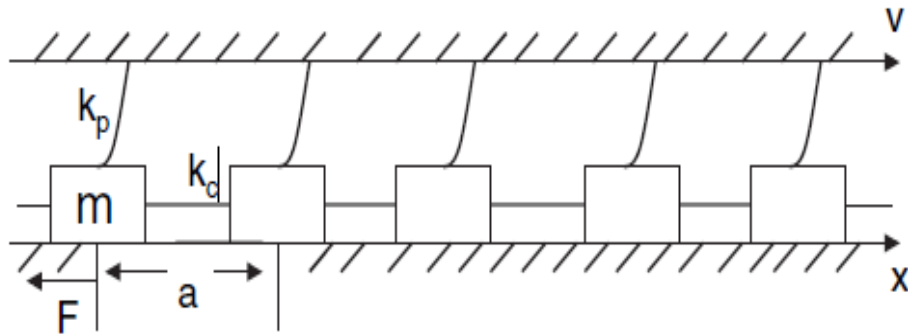
$$\frac{d\theta}{dt} = 1 - \frac{V\theta}{D_0}. \quad (2)$$



ნახ.1

ზამბარა-მცოცის მოდელის სქემატური წარმოდგენა

სტიკ-სლიპის პროცესის შესასწავლად ასევე გამოიყენება ბურიჯ-კნოპოვის მიერ შემოთავაზებული [7,8] მათემატიკური მოდელი (ნახ.2). მცირე ფილები განლაგებულია მასიურ ფილაზე და გაიქაჩება ზედა პლატფორმის საშუალებით. ზედა (გამწევი) ფილა მოძრაობს მუდმივი  $v$  სიჩქარით. ბლოკები  $m$  მასით შეერთებულია გამწევ ფილასთან  $k_p$  სიხისტის ზამბარებით. ფილები ასევე შეერთებულია ერთმანეთთან  $k_c$  სიხისტის ზამბარებით. ხახუნის ძალა მოქმედებს მასიურ ფილასა და თითოეულ ფილას შორის.



ნახ.2

#### ბურიჯ-კნოპოვის მოდელის სქემატური წარმოდგენა

ზამბარა-მცოცის მოდელი იძლევა სტიკ-სლიპის პროცესის და მის საფუძველზე სეისმური და მეწყრული პროცესების მოდელირების საშუალებას [9,10,11]. ასევე ბურიჯ-კნოპოვის მოდელი იძლევა ხახუნის მრავალი სცენარის როგორც ლაბორატორიული ასევე მათემატიკური მოდელირების საშუალებას კომპიუტერული დროის მცირე დანახარჯებით.

#### ექსპერიმენტები

ჩვენს ლაბორატორიაში ტარდება რიცხვითი ექსპერიმენტები ბურიჯ-კნოპოვის მოდელის საფუძველზე. ამასთანავე, ჩვენს ლაბორატორიაში აეწყო ბურიჯ-კნოპოვის ლაბორატორიული მოდელი (ნახ.3,5). ექსპერიმენტები შეიძლება ჩატარდეს ერთიდან ოთხამდე მოსრიალე ფილისათვის. აქ წარმოდგენილია ექსპერიმენტები ერთი და სამი ბაზალტის ფილისათვის (ნახ.3). ექსპერიმენტების შედეგების რეგისტრაცია ხდებოდა აქსელერომეტრების და პიეზოსენსორების საშუალებით. ერთი ფილის შემთხვევაში მასზე მიმაგრებული იყო სამი აქსელერომეტრი და ხდებოდა აჩქარების  $x$ ,  $y$  და  $z$  კომპონენტების ჩაწერა. ფილის გაწევის სიჩქარე იყო 1 მმ/წმ. (გაწევის სიჩქარე ჩვენს ექსპერიმენტში შეგვიძლია ვცვალოთ 01 მმ/წმ - დან 1 მმ/წმ - მდე). ექსპერიმენტები ჩატარდა სამი ფილის შემთხვევაშიც. თითოეულ ფილაზე მიმაგრებული იყო ერთი აქსელერომეტრი, რომელიც ზომავდა აჩქარების  $x$  კომპონენტას. აჩქარების და აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერები წარმოდგენილია ნახ.4-ზე. ჩაწერა ხდებოდა 8-არხიანი ოსცილოსკოპის (PicoScope 4824) საშუალებით. ექსპერიმენტებში გამოიყენებოდა სამღერძიანი MXR9500G/M აქსელერომეტრები და პიეზო სენსორები. თითოეული მოსრიალე ფილის მასა  $\approx 335$  გ, ზამბარების სიხისტეები  $k_c \approx 360 \frac{N}{m}$  და  $k_p \approx 155 \frac{N}{m}$ . გაწევის სიჩქარე  $v \approx 1$  მმ /წმ.

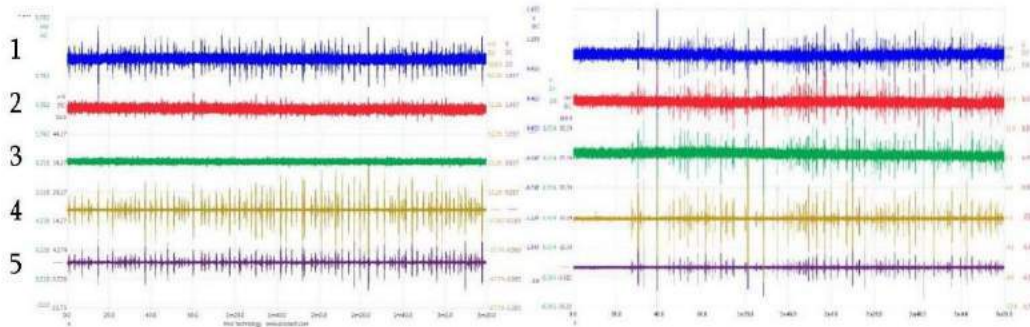


ნახ.3

ბურიჯ-კნოპოვი ერთ და სამფილიანი ექსპერიმენტები

ა)

ბ)



ნახ.4

ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტების აჩქარებების და აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერები: ა) ერთი ფილა და ბ) სამი ფილა

1) ლურჯი, 2) წითელი, 3) მწვანე - აჩქარებები, 4) ყვითელი და 5) იისფერი - აკუსტიკური ემისია.

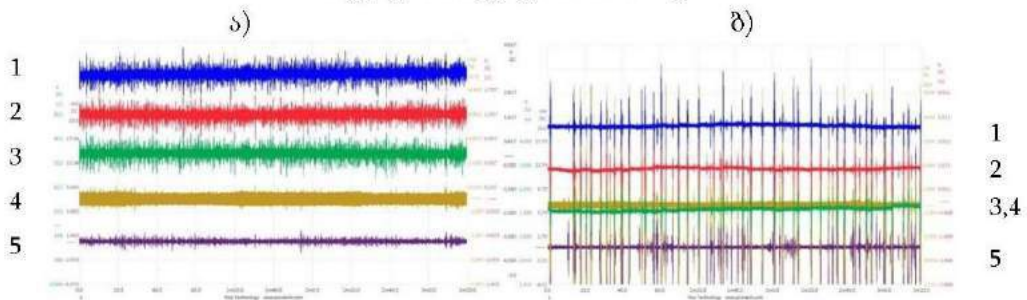
ჩატარდა ექსპერიმენტები ბურიჯ-კნოპოვის ლაბორატორიულ სისტემაზე ფილებს შორის სხვადასხვა მარცვლოვანი მასალის მოთავსებით, სეისმური და მეწყრული პროცესების მოდელირებისა და შესწავლისათვის (ნახ.5).





ნახ.5

ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტები სუფთა ფილებით და ფილებს შორის ქვიშის ფენით ზედა პლატფორმის მოძრაობის სიჩქარე იყო 1 მმ / წმ. ექსპერიმენტის მეთოდოლოგია იგივეა. ჩანაწერები ნაჩვენებია ნახ.6-ზე.



ნახ. 6

ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტების აჩქარებების და აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერები სუფთა ფილებისათვის (ა) და ფილებს შორის ქვიშის ფენით (ბ).

1)ლურჯი, 2) წითელი, 3) მწვანე - აჩქარებები,4) ყვითელი და 5) იისფერი - აკუსტიკური ემისია.

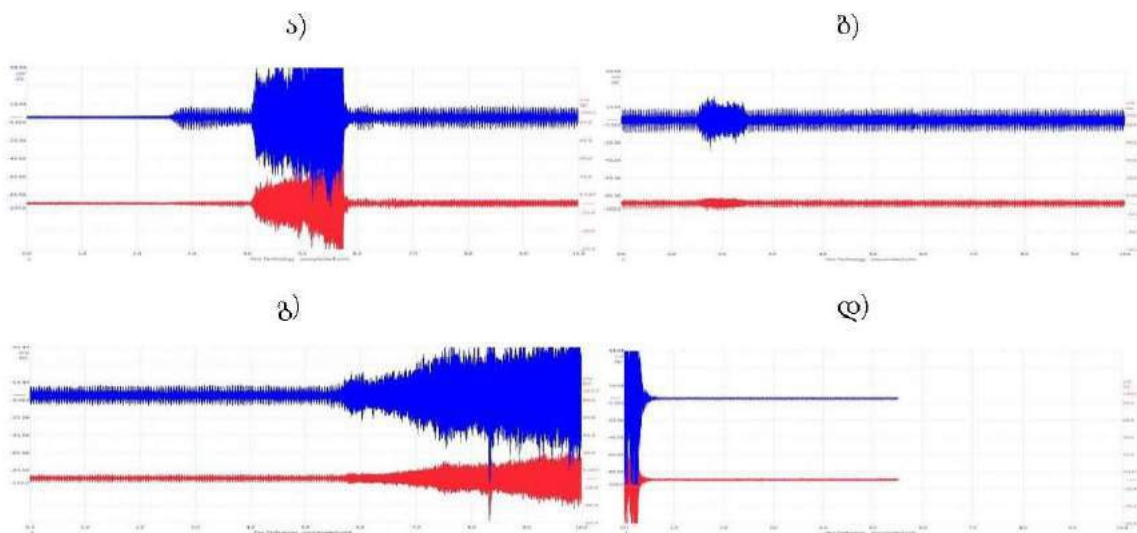
გრავიტაციული ძალის ზეგავლენით ბურიჯ-კნოპოვის და ზამბარა-მცოცის მოდელის სტიკ-სლიპის და ტრიგერირების მოვლენების შესასწავლად, აწყობილი იქნა ლაბორატორიული მოწყობილობა, სადაც შესაძლებელია სრიალის სიბრტყის დახრის ცვლილება (ნახ.7). ეს მოწყობილობა გრავიტაციული ძალების გავლენით მეწყრის სტიკ-სლიპის პროცესის ტრიგერირების შესწავლის საშუალებას იძლევა ბაზალტის მოსრიალე ფილებს შორის არსებულ სხვადასხვა პირობებში და მათი სხვადასხვა დახრისას. პროცესის შესასწავლად ხდებოდა სრიალის დროს აღძრული აკუსტიკური ემისიის რეგისტრაცია ბაზალტის მასიურ ფილაზე ზედა და ქვედა წერტილებში დამაგრებული პიეზო სენსორების საშუალებით. ტრიგერირების პროცესის შესასწავლად ერთ-ერთ მოსრიალე ფილაზე მიმაგრებული იყო სეისმური ვიბრატორი, რომლის საშუალებითაც კრიტიკული დახრის კუთხეზე ვსაწავლობდით ტრიგერირების პროცესს. ინფორმაციის ჩაწერა ხდებოდა 8-არხიანი ოსცილოსკოპის საშუალებით. ხდებოდა დახრის კუთხის გაზომვა.



ნახ.7

ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტების გრავიტაციული ძალის გავლენის პირობებში. ერთ-ერთ მსორიალე ფილაზე მიმაგრებულია სეისმური ვიბრატორი.

გრავიტაციული ძალის გავლენით, ერთი და სამი ფილით, ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები წარმოდგენილია ნახ.7-ზე. დასრიალების კრიტიკული კუთხე ერთ და სამ ფილიანი მოდელებისათვის განსხვავებულია. კრიტიკულ კუთხესთან ახლოს სტაბილურ მდგომარეობაში დასრიალების ტრიგერირება ხდება სეისმური ვიბრატორის საშუალებით. კერძოდ, სისტემა მიგვყავს და ვტოვებთ კრიტიკული კუთხესთან ახლოს 45 წუთის განმავლობაში. ამის შემდეგ, ფილაზე მიმაგრებულ სეისმურ ვიბრატორზე მოვდებთ 20 ჰც სიხშირის 1,6 ვ ძაბვას. შემდეგ ინფორმაცია იწერება 8-არხიანი ოსცილოსკოპის საშუალებით. როგორც ნახ.8-დან ჩანს დროს ექსპერიმენტის განმავლობაში რამდენიმე შუალედური გასრიალება მოხდა. ფილების დაცურების დაწყება გამოწვეულია სეისმური ვიბრატორის ზემოქმედებით. სეისმური ვიბრატორი თამაშობს ტრიგერის როლს სრიალის გამოწვევაში.



ნახ.8

ა) აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერი ერთი ფილის მოდელისათვის, ბ), გ), დ) აკუსტიკური ემისიის ჩანაწერი სამფილიანი მოდელისათვის.

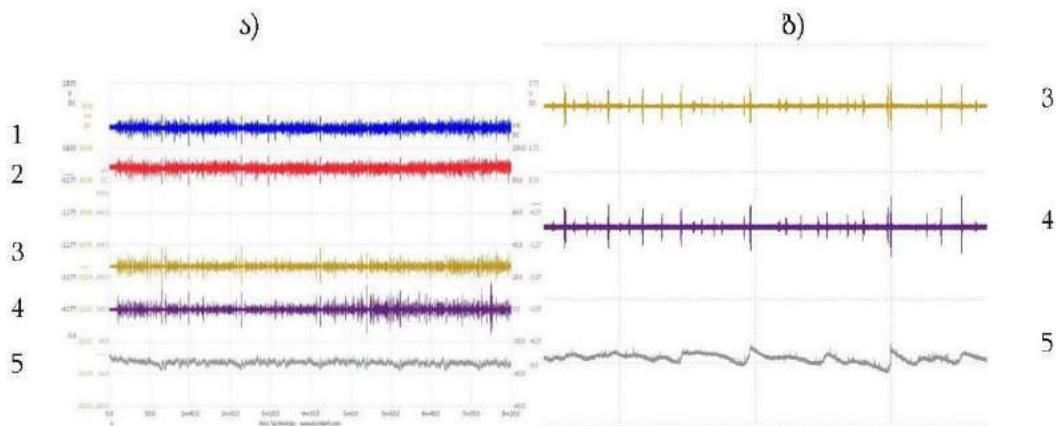
ექსპერიმენტების განვითარების შემდგომ ეტაპზე მოხდა გაწევის ძალის ციფრული რეგისტრაცია. ამისათვის მოვახდინეთ ციფრული დინამომეტრის გადაკეთება. ძალის

გაზომვა იძლევა პროცესის ენერგეტიკული პარამეტრების შეფასების საშუალებას. გუტენბერგ-რიხტერის მრუდის აგების შესაძლებლობას და არსებულ მათემატიკურ მოდელებთან შედარების შესაძლებლობას.



ნახ.9

ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტი ორი ფილის შემთხვევაში. ხდება ფილების აჩქარებების, აკუსტიკური ემისიის და გამწევი ძალის რეგისტრაცია.



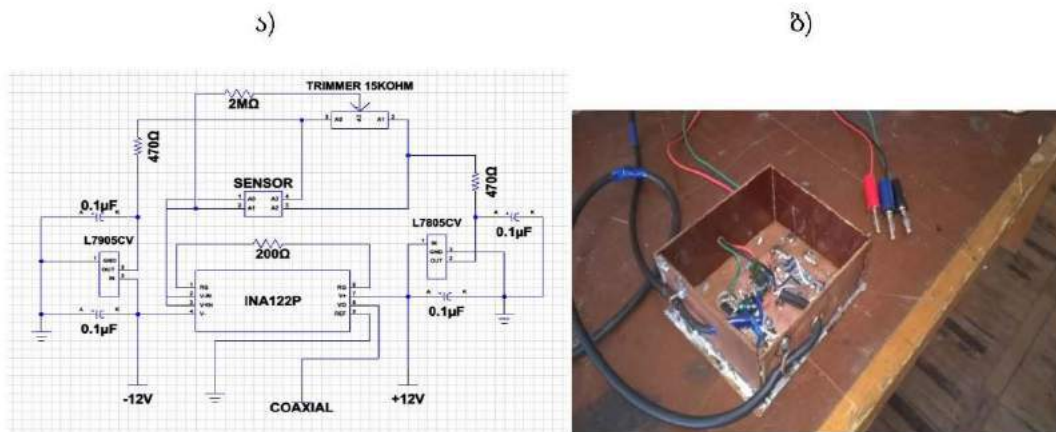
ნახ.10

ბურიჯ-კნოპოვის ექსპერიმენტი: ა) აჩქარებების, აკუსტიკური ემისიის და გამწევი ძალის ჩანაწერები ორფილიანი მოდელის შემთხვევაში, ბ) აკუსტიკური ემისიის და გამწევი ძალის ჩანაწერების მცირე ფრაგმენტი

1)ლორჯი, 2) წითელი - აჩქარებები, 3) ყვითელი, 4) იისფერი - აკუსტიკური ემისია, 5) ნაცრისფერი - გამწევი ძალა.

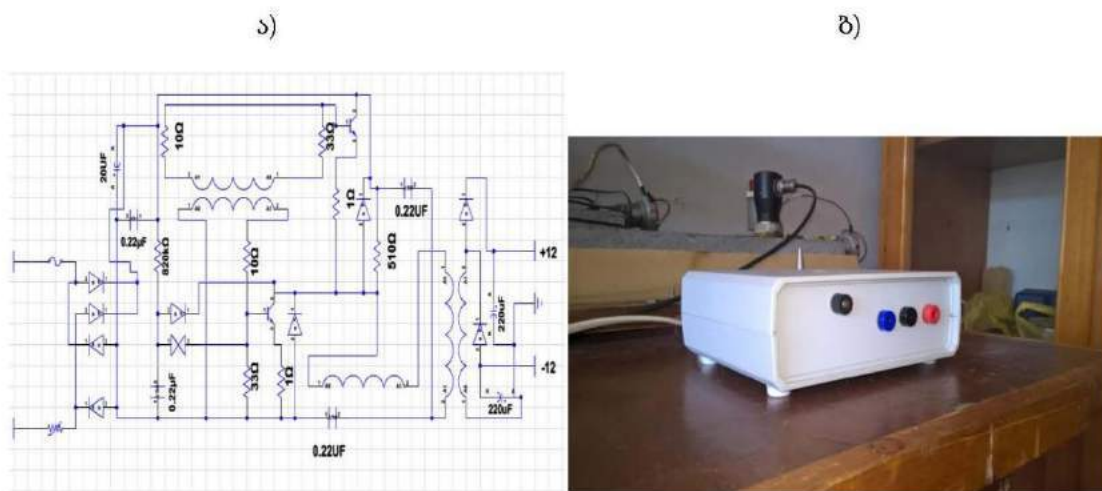
გამწევი ძალის გასაზომად ჩვენ, ავიღეთ სასწორის სენსორი. რომელსაც აქვს ორი გამოსავალი. მათ შორის ძაბვათა სხვაობით დგინდება სასწორზე დაკიდებული სხეულის წონა. მაგრამ გამომავალი ძაბვები იყო ძალიან მცირე, ამიტომ ჩვენ მოვიძიეთ [Instrumentation Amplifier ina 122p](#) , მოცემული ხელსაწყო წრფივად აძლიერებს მასზე

შემოსულ ძაბვათა სხვაობას. მოცემული გამაძლიერებლისთვის საჭირო იყო მუდმივი ძაბვის კვების ბლოკის შექმნა გამოსავალზე +12ვ და -12ვ ხოლო სენსორს ჭირდებოდა +5ვ და -5ვ. ამისთვის ჩვენ ავაწყეთ კვების ბლოკი რომელიც გამოსავალზე იძლეოდა +12ვ და -12ვ, გამაძლიერებლიდან კი ძაბვის მარეგულირებლების 17805 და 17905 ის მეშვეობით სენსორს მივაწოდეთ +5ვ -5ვ კვება.



ნახ.11

დიფერენციალური გამაძლიერებელი - ა) ელექტრული სქემა, ბ) გამაძლიერებლის ბლოკი.



ნახ.12

გამაძლიერებლის და სენსორის კვების ბლოკი - ა) კვების ბლოკის სქემა, ბ) კვების ბლოკი.

გამაძლიერებლისთვის საჭირო იყო მუდმივი ძაბვის კვების ბლოკის შექმნა გამოსავალზე +12ვ და -12ვ ხოლო სენსორს ჭირდებოდა +5ვ და -5ვ. ამისთვის ჩვენ ავაწყეთ კვების ბლოკი რომელიც გამოსავალზე იძლეოდა +12ვ და -12ვ, გამაძლიერებლიდან კი ძაბვის მარეგულირებლების 17805 და 17905 ის მეშვეობით სენსორს მივაწოდეთ +5ვ -5ვ კვება.

თითოეული ექსპერიმენტისათვის გვაქვს აჩქარების და აკუსტიკური მონაცემების დიდი მოცულობის ჩანაწერები. მონაცემების ჩაწერა ციფრული ფორმით ხდებოდა 2 კპც დისკრეტიზაციით. დისკრეტიზაციის სიხშირე შეიძლება ვცვალოთ დიდ დიაპაზონში. თითოეული ექსპერიმენტი მიმდინარეობდა დაახლოებით 10 წუთი. გრავიტაციულ ექსპერიმენტებში გასათვალისწინებელია უძრაობის ფაზა (სეისმური ვიბრატორის ზემოქმედების წინ) დაახლოებით 50 წუთის განმავლობაში. ამ ეტაპზე ჩვენი ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანაა, აჩქარებების სიჩქარეებში და წანაცვლებებში გადაყვანა, მათემატიკური მოდელირების მონაცემებთან და საერთო ანალიზი.

### ლიტერატურა

1. Boettcher, M. S., Marone C. Effects of normal stress variation on the strength and stability of creeping faults. *J. Geophys. Res.*, 109, B03406, doi:10.1029/2003JB002824, 2004.
2. Fabio Vittorio De Blasio. Introduction to the Physics of Landslides. Springer, 2011.
3. Helmstetter A., Sornette D., Grasso J.-R., Andersen J. V., Gluzman S., Pisarenko V. Slider block friction model for landslides: Application to Vaiont and La Clapie`re landslides. *Journal of Geophysical Research*, 109, 2004.
4. Dieterich J.H. Modeling of rock friction 1. Experimental results and constitutive equations. *Journal of Geophysical Research*, 84, B5, 1979, p. 2161-2168.
5. Ruina A. Slip instability and state variable friction laws. *Journal of Geophysical Research*, 88, 1983, p. 10359-10370.
6. Nasuno S., Kudrolli A., Bak A., Gollub J. P. Time-resolved studies of stick-slip friction in sheared granular layers. *Phys. Rev.*, E 58, 1998, p. 2161-2171.
7. Burridge R., Knopoff L. Model and theoretical seismicity. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 57(3), 1967, p. 341-371,
8. Matsukawa H., Saito T., Friction. Stick-Slip Motion and Earthquake. *Lect. Notes Phys.* 705, 2007, p. 169-189.
9. Chelidze T., Varamashvili N., Devidze M., Chelidze Z., Chikhladze V., Matcharashvili T. Laboratory study of electromagnetic initiation of slip. *Annals of Geophysics*, 45, 2002, p. 587-599.
10. Chelidze T., Gvelesiani A., Varamashvili N., Devidze M., Chikhladze V., Chelidze Z., Elashvili M. Electrmagnetic initiation of slip: laboratory model. *Acta Geophysica Polonica*, 52, 2004, p. 49-62.
11. Chelidze T., Lursmanashvili O., Matcharashvili T., Devidze M. Triggering and synchronization of stick slip: waiting times and frequency-energy distribution. *Tectonophysics*, 424, 2006, p. 139-155.

### მასების მოძრაობის და სეისმური პროცესის ლაბორატორიული მოდელირება

ამილახვარი დ., დვალი ლ.

#### რეზიუმე

მასების მოძრაობის და სეისმური პროცესების მარტივი მოდელები მნიშვნელოვან როლს თამაშობენ მათი მექანიზმების შესასწავლად. წარმოდგენილ სტატიაში ჩვენ ვაანალიზებთ, ჰორიზონტალურ და დახრილ სიბრტყეზე ზამბარა-ბლოკის და ბურიჯ-კნოპოვის მოდელის დინამიკას. ჩვენს ექსპერიმენტებში, დასრიალების გამორჩევა ხდება დასრიალების პროცესში გენერირებული აკუსტიკური ემისიის საშუალებით. ასევე ხდებოდა თითოეული მოსრიალე ბლოკის აჩქარების ჩაწერა. ასევე ხდებოდა გამწევი ძალის ჩაწერა ციფრული დინამომეტრის საშუალებით.

## **LABORATORY MODELING OF MASS MOVEMENT AND SEISMIC PROCESS**

**Amilakhvari D., Dvali L.**

### **Abstract**

Simple models of mass movement and seismic processes are important for understanding the mechanisms for their observed behavior. In the present paper, we analyze the dynamics of a single-block and Burridge-Knopoff model on a horizontal and inclined slope. In our experiments, the slip events are distinguished by acoustic emission bursts, which are generated by slider displacement. Acceleration on each sliding plate was recorded using attached accelerometer. Pulling force was also recorded using digital dynamometer.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ МАСС И СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА**

**Амилахвари Д., Двали Л.**

### **Реферат**

Простые модели движения масс и сейсмических процессов имеют важное значение для понимания механизмов их наблюдаемого поведения. В настоящей работе мы анализируем динамику пружины-блока и модели Бурриджа-Кнопова на горизонтальной и наклонной плоскости. В наших экспериментах события скольжения регистрируются с помощью акустической эмиссии, которая генерируется проскальзыванием. Также ускорение записывается с помощью прикрепленного к каждой скользящей плите акселерометра. Сила тяги также была записана с использованием цифрового динамометра.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НОВОГО  
ЛАЗЕРНОГО ЭКСТЕНЗОМЕТРА, УСТАНОВЛЕННОГО ДЛЯ КОНТРОЛЯ  
ВОЗМОЖНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЛОКОВ ВДОЛЬ ПРАВОБЕРЕЖНОГО  
РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ИНГУРСКОЙ ГЭС**

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

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им.  
И. Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, abash\_geo@hotmail.com*

Как известно, поведение правобережного разлома, проходящего под правым крылом Ингурской арочной плотины, на отметке 400 м постоянно контролируется геодезическими и геофизическими наблюдениями. На разломе в непрерывном режиме проводятся наблюдения с обратными отвесами, высокочастотными наклономерами и фотооптическим и лазерным экстензометрами. Эти экстензометры фиксируют возможные перемещения блоков разлома лишь вкрест его простирания. Однако не следует забывать, что при образовании этого разлома амплитуда смещения блоков разлома по вертикали равнялась 100 м, а по горизонтали, в сторону водохранилища 80 м. Исходя из этого следует внимательным быть к тому, что не возобновятся ли в какой-то степени смещения этих блоков по какому-либо направлению в связи с тектонической или техногенной активностью района, связанной с изменениями нагрузки на земную поверхность ежегодным непрерывным регулированием воды в водохранилище. Ведь изменения нагрузки от водохранилища в основании плотины в этих случаях не редко достигают  $800 \cdot 10^6$  тонн.

Исходя из этого, с благодарностью хотим отметить, что дирекция Ингурской ГЭС поддержала наше мнение о необходимости проведения стационарного наблюдения также вдоль разлома и в конце 2015 года был приобретен лазерный экстензометр. После отрегулирования прибора в Тбилиси в лабораторных условиях, в феврале 2016 г. он был установлен в нижнем бьефе Ингурской плотины на разломе в правобережной штольне № 183. Устье этой штольни находится на высоте 310 м от уровня Черного моря. На рис.1 представлена схема расположения лазерной установки относительно разлома в этой штольне. Прибор фиксирует смещение блоков в двух направлениях. Составляющая X записывает возможное смещение блоков вдоль разлома, а другая составляющая Y записывает смещение блоков в вертикальном направлении.

Как видно из рис. 1, постаменты для установки прибора устроены на расстоянии 10 м друг от друга и в 2х-3х метрах от краев разлома. На переднем постаменте от входа в штольню, т.е. на блоке Б, установлен лазер, а записывающее устройство - детектор на заразломном блоке А. Остальные обозначения хорошо видны на представленном рисунке.

На следующем рис. 2 вместе с графиками показаний нового экстензометра (3), нанесены также графики заполнения водохранилища (1), атмосферных осадков (2) и другого более ранее установленного лазерного экстензометра (4), записывающего возможные смещения блоков лишь вкрест простирания разлома.

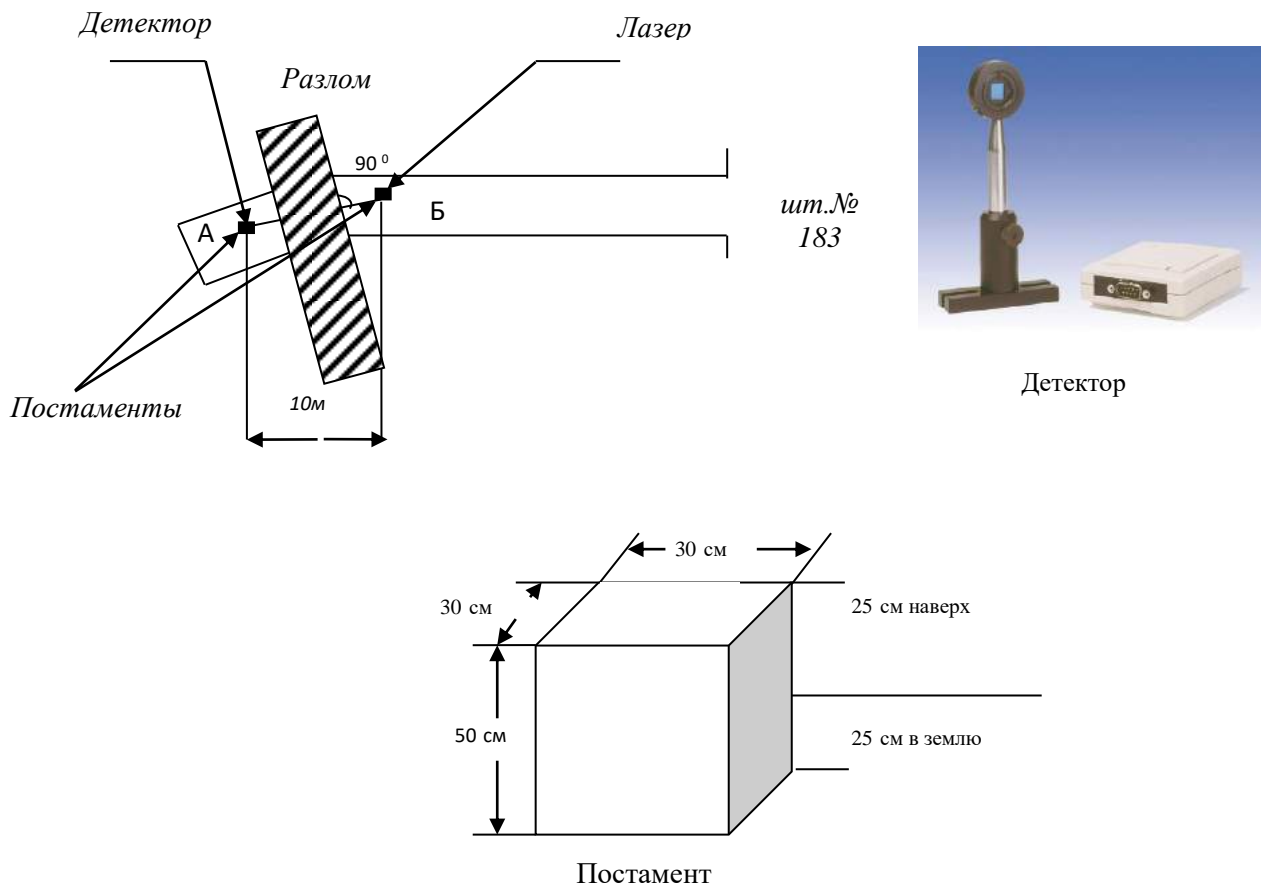


Рис. 1

Схема расположения лазерного экстензометра в правобережной штольне № 183

При рассмотрении графиков (1) и (4) убеждаемся в том, что основным фактором, влияющим на ход смещения блоков разлома вкrest его распостронения, являются изменения уровня воды в водохранилище, соответственно и нагрузки на основание при его регулировании. Как видно из графика (1), до первых чисел апреля в водохранилище шло понижение воды. В этом случае ввиду уменьшения нагрузки в основном на приречный блок Б, идет его поднятие, что фиксируется экстензометром. С 8-го апреля до первых чисел июля идет наполнение водохранилища, тем самым и повышение нагрузки на основание, что сопровождается опусканием того же блока, что видно из графика (4). С 10 июля до конца августа уровень воды в водохранилище с точностью 1 м держался постоянным, и только в сентябре началось более заметное изменение уровня. В этом случае, как видно из графика (4), при удержании уровня, блоки тоже показывают спокойное состояние, а затем начинают изменять свой ход. При рассмотрении графика (4) видно влияние дождя на записи прибора, хотя оно не меняет общего хода записи. Механизм этого процесса был описан в работе [4], и здесь не будем повторяться.

Проанализируем показания нового экстензометра. Прибор начал работать, как было отмечено выше, в феврале месяце текущего года. В момент установки лазера уровень воды в водохранилище был сравнительно минимальным и равнялся 430 м.

Потом подняли воду до 436 м, а затем медленно стали уменьшать до 426 м. Начиная с 8-го апреля постепенно стали поднимать уровень воды до высоты 510 м. Этот уровень держался до конца августа. В сентябре уровень воды медленно стали понижать до 505 м, а в конце сентября он стал равняться 508 м, то есть приблизился к максимальному уровню.



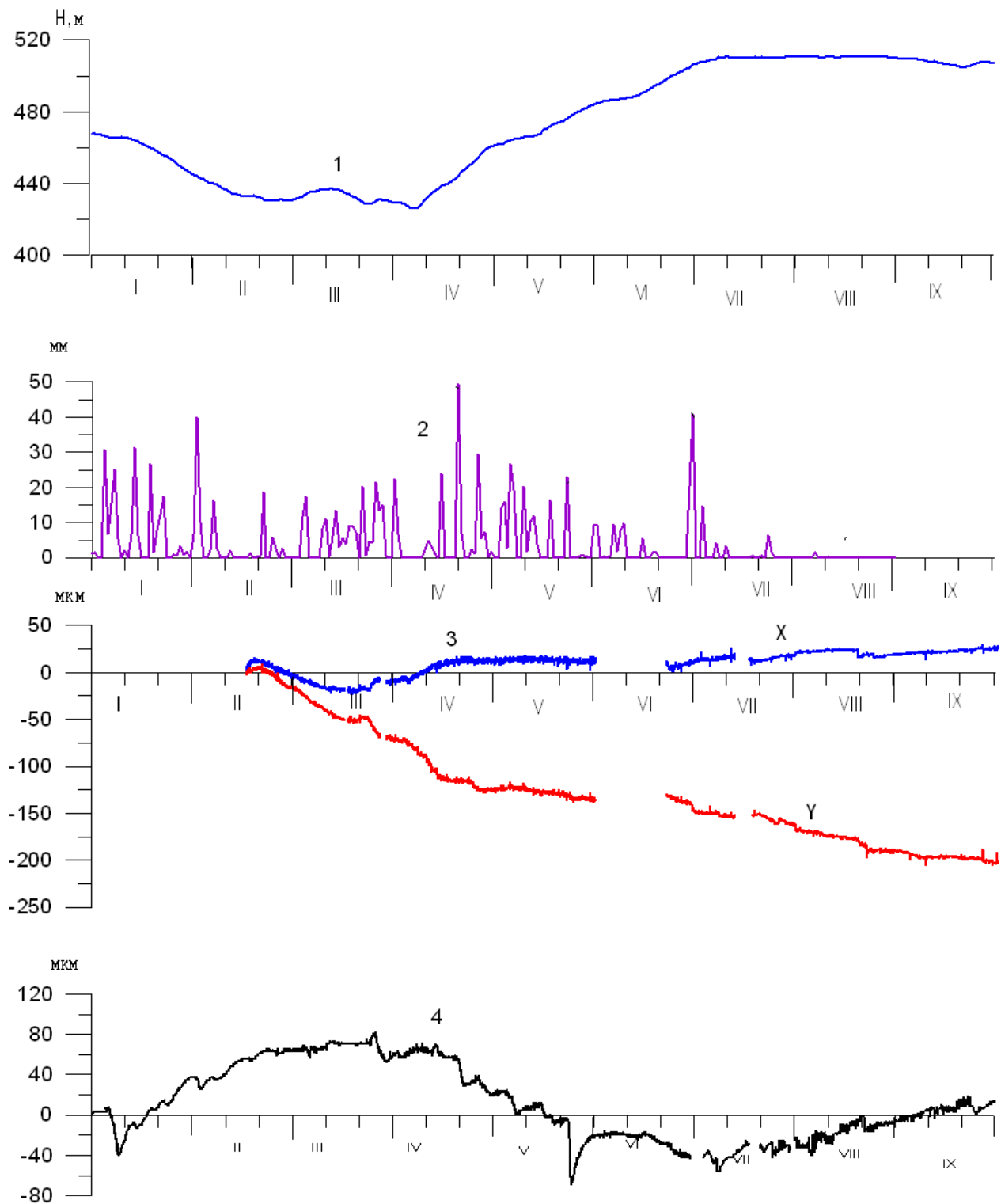


Рис. 2

Графики наполнения водохранилища (1), атмосферных осадков (2) и лазерных экстензометров, установленных вдоль (3) и поперек (4) распространения правобережного разлома в нижнем бьефе Ингурской ГЭС с 1 января по 30 сентября 2016 года.

Как видно из представленного графика в первые дни установки прибора, в частности до 20 апреля, прибор нестабильно показывал, хотя, тогда вводохранилище воду то поднимали, то отпускали в пределах 5 м. После того, как воду стали равномерно поднимать вверх, прибор

показывал постоянный ход по X и медленное опускание по Y. Мы были в ожидании, что если такой равномерный горизонтальный ход сохранится по направлению X, это было бы доказательством отсутствия перемещения блока Б вдоль разлома. Однако, в первых числах июня блоки автоматики вышли из строя из-за частого изменения напряжения в сети, что, к сожалению, часто случается на этом очень важном объекте, и прибор перестал работать.

После ремонта блоков в Тбилиси, с 22 июня работа лазера была восстановлена. Как видно из последующей записи лазера, ход составляющей X опять держится почти постоянным, что приводит к мысли, что вдоль разлома нет перемещения блоков. Что касается другой составляющей Y, при повышении и постоянстве уровня, ход кривой медленно начинает опускаться вниз, что показывает смещение блока в вертикальном направлении. С момента установки прибора, т.е. с февраля до конца сентября смещение блока составляет 200 мкм, т.е., 0.2 мм. Уверены, что при понижении воды в водохранилище и снятии нагрузки блок начнет подниматься вверх и эта величина нейтрализуется. Блок постепенно придет в начальное положение.

В связи с этим, не будет лишним вспомнить результаты наблюдений на разломе обратных отвесов и наклономеров. Обратные отвесы на разломе были установлены в 1980 г. под 12-ой секцией плотины на отметке 360 м. В 2000 г. была проведена реконструкция этих приборов. С 1998 г. мы ведем наблюдения в 12-ой секции плотины высокоточными наклономерами американской фирмы «Applied Geomechanics». В работе [2] были сопоставлены результаты этих двух различных видов наблюдений: наклономерных и обратных отвесов с 2000 г., как наиболее точных данных после их реконструкции. На основе совместного анализа этих 2-х видов наблюдений пришли к выводу, что смещение блоков правобережного разлома, в основном, было связано с регулированием уровня воды в водохранилище и тенденция перемещения блоков в каком-либо направлении не наблюдалась. При регулировании воды в водохранилище амплитуды изменения отвеса, стоящего на приречном блоке Б, всегда больше амплитуд изменения отвеса, стоящего на заразломном блоке А. К такому же результату приходим многолетними наблюдениями с помощью оптического экстензомера [3]. Как видно из этой работы, приречный блок Б более подвижен при регулировании воды в водохранилище, чем заразломный блок А, и постепенное смещение блоков в каком-либо направлении не наблюдалось. Надеемся, что в скором будущем новый лазерный экстензомер даст на это окончательный ответ.

## Литература

1. Abashidze V., Chelidze T., Jibladze I., Tsaguria T. Installation and Utilization of Automated data Acquisition and Transmission System of the Tiltmetric Network in the Enguri Dam. Bulletin of the Georgian Academy of Sciences, New Series, v.4, № 3, 2010, p. 58-62.
2. აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლის მარჯვენა ფრთის ქვეშ გამავალ რვევაზე დაყენებული უკუმვეულებისა და კაშხლის მე-12 სექციაში მუდმივ რეჟიმში მომუშავე დახრისმზომითი სადგურების მონაცემების ერთობლივი ანალიზი. ჟურნ. "ენერჯია", № 2(78), 2016, გვ. 23-28.
3. აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურის თაღოვანი კაშხლის მარჯვენა ფრთის ქვეშ გამავალ რვევაზე დაყენებული უკუმვეულებისა და დეფორმოგრაფის მონაცემების ერთობლივი ანალიზი. ჟურნ. "ენერჯია", № 1(69), 2014, გვ. 44-49.
4. Абашидзе В.Г., Челидзе Т. Л., Цагурия Т.А., Довгаль Н. Д., Давиташвили Л.А. Новые данные в поведении блоков правобережного разлома в районе Ингури ГЭС при регулировании воды в водохранилище и выпадении атмосферных осадков. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодиа, т. 65, ISSN 1512-1135, Тбилиси, 2015, с. 9-14.

ენგურჰესის რაიონში მარჯვენა სანაპიროს რღვევის გასწვრივ ბლოკების შესაძლო გადაადგილებების კონტროლისათვის დაყენებული ახალი ლაზერული ექსტენზომეტრის გაზომვების წინასწარი შედეგები

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

**რეზიუმე**

ენგურჰესის თაღოვანი კაშხლის მარჯვენა ფრთის ქვეშ გამავალ რღვევის ყოფაქცევაზე მუდმივად მიმდინარეობს კონტროლი გეოფიზიკური და გეოდეზიური მეთოდებით. რღვევის გასწვრივ ბლოკების შესაძლო გადაადგილების დამატებითი კონტროლისათვის 2016 წლის თებერვლის თვიდან დაყენებულ იქნა ახალი ლაზერული ექსტენზომეტრი. დღემდე მიღებული მონაცემების მიხედვით რღვევის სიბრტყეში ბლოკების გადაადგილებები ფიქსირდება მხოლოდ ვერტიკალური მიმართულებით. დაკვირვებები გრძელდება.

**PRELIMINARY RESULTS OF MEASUREMENTS OF THE NEW LASER EXTENSOMETER INSTALLED TO OBSERVE PROBABLE BLOCK MOVEMENTS ACROSS THE FAULT ON THE RIGHT BANK OF THE ENGURI DAM**

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

**Abstract**

The fault behavior under the right wing of the Enguri Arch Dam is permanently monitored by geophysical and geodesic methods. In February 2016 a new laser extensometer was installed for additional observation of probable movements of the blocks across the fault. According to the obtained data movements of the blocks have been observed only in vertical direction. Observations are being continued.

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НОВОГО ЛАЗЕРНОГО ЭКСТЕНЗОМЕТРА, УСТАНОВЛЕННОГО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВОЗМОЖНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БЛОКОВ ВДОЛЬ ПРАВОБЕРЕЖНОГО РАЗЛОМА В РАЙОНЕ ИНГУРСКОЙ ГЭС**

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

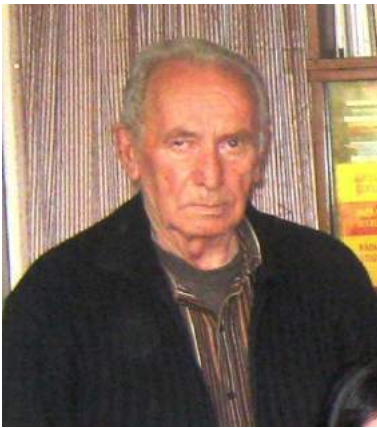
**Реферат**

На правобережном разломе, проходящем под правым крылом Ингурской арочной плотины, проводятся постоянные наблюдения геофизическими и геодезическими методами. Для контроля возможного смещения блоков вдоль разлома с февраля месяца 2016 года был установлен новый лазерный экстензометр. Результаты, полученные по сегодняшний день, показывают смещение блоков только по вертикальной плоскости. Наблюдения продолжаются.

## ПАМЯТИ Н.Г. ЧИАБРИШВИЛИ (1937-2016)

Гвелесиани А.И.

*Институт геофизики им. Михаила Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ивана Джавахишвили, 0160, Тбилиси, ул. М. Алексидзе, 1, anzor\_gvelesiani@yahoo.com*



Кандидат физико-математических наук, научный сотрудник сектора физики атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили **Нодар Георгиевич Чиабришвили** родился 10 октября 1937 года. В 1961 году окончил физический факультет Тбилисского государственного университета. После окончания университета начал работать в Институте кибернетики Академии наук Грузии. В 1971 году в Вильнюсском государственном университете им. В. Капсукаса защитил кандидатскую диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Исследование люминесценции эпитаксиальных слоев и р-п-структур арсенида галлия».

В 1973 году им было зарегистрировано авторское свидетельство «Способ определения типов излучательных переходов в полупроводниках».

С 1978 года вплоть до своей кончины работал в секторе физики атмосферы Института геофизики им. М. Нодиа.

Н. Чиабришвили принимал активное участие в лабораторных экспериментах по моделированию процессов электризации искусственной облачной среды и способов воздействия на эти процессы. В частности, в результате этих экспериментов было получено, что путем введения твердых частиц в искусственную облачную среду, состоящую из жидкого водного аэрозоля, можно изменить её электрическое состояние. Для порошкообразных реагентов удалось получить некоторые количественные характеристики воздействия, позволившие оценить коэффициенты передачи заряда при контактировании твердых и жидких частиц с последующим разрушением контакта, коэффициент отскока и др. Целая серия лабораторных экспериментов по исследованию влияния различных льдообразующих и гигроскопических реагентов на электризацию и микрофизические характеристики переохлажденной и теплой облачной среды позволила провести оценку норм их расхода для регулирования электрической и градовой активности облаков, их микрофизической структуры, оптических свойств. Были также проведены эксперименты по моделированию процессов окисления атмосферного аэрозоля озонем, а также изучению заряжения частиц аэрозоля в результате этого окисления. Отдельно проводились эксперименты по изучению механизмов заряжения аэрозолей в ионизированной среде [1-8].

Позднее с его участием изучалось влияние ионизирующего излучения (радон, гамма-излучение, космические лучи) на образование вторичных аэрозолей в атмосфере по схеме газ → частица. Получено, что все указанные типы ионизирующего излучения являются катализатором образования субмикронных аэрозолей из газов [9].



Н. Чиabriшвили за наладкой установки по измерению содержания парниковых газов в атмосфере.

В конце 90-х годов прошлого столетия - начале 2000-х годов с его участием была создана установка по измерению содержания парниковых газов в атмосфере [10]. Во второй половине 2000-х годов Н. Чиabriшвили занимался исследованиями содержания в воздухе Тбилиси массовых концентраций аэрозолей [11-13]. В 2010-2013 гг. он начал изучение вопросов глобального потепления климата Земли [14-15].

За последние годы (2014-2016 г.г.) с участием Н. Чиabriшвили был разработан лабораторный метод моделирования вертикальной конвекции, протекающей в различных флюидных слоях геосфер (атмосфера-океан-термальные воды-гейзеры-вулканы и др.). Оригинальный метод, названный авторами «метод пузырькового кипения жидкости», позволяет определить термодинамические параметры искусственных растворов и естественных вод, взаимосвязь между ними в точках смены режима пузырькового кипения (разрывов непрерывности первого рода) посредством системы универсальных экспериментальных кривых. Метод позволяет за короткое время достаточно точно определить плотность, температуру, энтропию и интенсивность нагрева раствора любого вещества в переходных точках режимов кипения, обойти трудоёмкие построения Nu-Ra кривых. Простота и дешевизна разработанного метода позволяют рекомендовать его разного уровня учебным и исследовательским физико-химическим лабораториям для внедрения [16-18].

Н. Чиabriшвили был образцовым супругом и любящим отцом единственного сына.

28 февраля 2016 года Нодара Чиabriшвили не стало. Светлая память о нем навсегда останется в сердцах его коллег.

## Литература

1. Карцивадзе А.И., Гзиришвили Т.Г., Окуджава А.М., Чиabriшвили Н.Ш., Нодия А.Г., Варамашвили Н.М., Мирцхулава М.К., Имянитов И.М., Чубарина К.В., Климин Н.Н., Морозов В.Н., Мордовина Л.С., Фабер О.А. Лабораторные опыты по электризации облачных элементов в результате взаимодействия разнородных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 49, Тбилиси, "Мецниереба", 1982.
2. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д. Лабораторные опыты по исследованию процесса заряжения капли во время ее падения в облачной среде. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т.52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 40-45.

3. Гзиришвили Т.Г., Амиранашвили А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чхаидзе Г.П., Степаненко В.Д., Имянитов И.М. Электризация взаимодействующих дисперсных аэрозольных частиц. Тр. Ин-та геофизики АН ГССР, т. 52, Тбилиси, "Мецниереба", 1984, с. 12-34.
4. Амиранашвили А.Г., Гзиришвили Т.Г., Харчилава Д.Ф., Трофименко Л.Т., Нехотина Л.М., Нодия А.Г., Чиabriшвили Н.Г., Мирцхулава М.Д. Заряжение частиц аэрозоля в результате окисления их озоном. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 65.
5. Гзиришвили Т.Г., Нодия А.Г., Мирцхулава М.Д., Чиabriшвили Н.Г. Лабораторное исследование влияния дисперсности частиц SiO<sub>2</sub> на заряджение теплых туманов. Тез. Докл. 3-го Всесоюзн. Симп. по атмосферному электричеству, Тарту, Эстония, 28-31 октября 1986, с. 124.
6. Gzirishvili T.G., Khorghuani V.G., Chiabrishvili N.G., Bakradze N.G., Keshelashvili D.R., Peikrishvili Sh. K. Phase Transitions in an Adsorbed Water Layer on Aerosol Particles. Proc. 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Atmospheric Aerosols and Nucleation, Vienna, Austria, August 22-27, 1988, pp. 634-637.
7. Amiranashvili A.G., Bliadze T.G., Chiabrishvili N.G., Gzirishvili T.G., Kirkitadze D.D., Nodia A.G., Odisharia M.A., Okujava A.M. Laboratory modelling of the transformation of microphysical and electrical properties of artificial water fogs. Proc. 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Fog and Fog Collection, Vancouver, Canada, July 19-24, 1998, pp. 333-335
8. Amiranashvili A., Bliadze T., Chiabrishvili N., Chikhladze V., Gzirishvili T., Kirkitadze D., Nodia A., Odisharia M., Okujava A. Complex for laboratory modelling of microphysical and electrical properties of aerodisperse formations. Proc. Int. Conf. Dedicated to Memory of Prof. A. Sutugin, Moscow, Russia, June 26-30, 2000, pp. 54-55.
9. Амиранашвили А.Г., Амиранашвили В.А., Киркитадзе Д.Д., Чиabriшвили Н.Г., Чочишвили К.М. К вопросу об образовании вторичных аэрозолей в атмосфере. Тр. Института геофизики АН Грузии, ISSN 1512-1135, т. 58, Тбилиси, 2004, с. 119-126 .
10. Одишария М.А., Чиabriшвили Н.Г., Каландадзе Е.М., Киркитадзе Д.Д. Спектры поглощения атмосферных парниковых газов (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO). Тр. Ин-та геофизики им. М. Нодия АН Грузии, ISSN 1512-1135, т. 58, Тбилиси, 2004, с. 192-196.
11. Чиabriшвили Н.Г. Исследование содержания твердого аэрозоля в приземном слое атмосферы г. Тбилиси. Тр. Ин-та гидрометеорологии, т. № 115, ISSN 1512-0902, Тбилиси, 2008, с. 412-416.
12. Чиabriшвили Н.Г. Определение массовой концентрации твердого аэрозоля в приземном слое атмосферы г. Тбилиси. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 277-280.
13. Чиabriшвили Н.Г. Корреляционная зависимость между массовой концентрацией твердого аэрозоля и относительной влажностью воздуха в приземном слое атмосферы г. Тбилиси. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 60, Тбилиси, 2008, с. 281-284.
14. Чиabriшвили Н.Г., Салуквадзе Т.Г. Глобальное потепление и его динамика. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 62, Тбилиси, 2010, с. 152 – 159.
15. Чиabriшвили Н. О прогнозе глобального потепления климата на Земле в течение 21 века. Тр. Ин-та геофизики им. М.З. Нодия, ISSN 1512-1135, т. 64, Тбилиси, 2013, с. 202-213.
16. Gvelesiani A., Chiabrishvili N. Laboratory modeling of thermals generation in geophysical environments by means of fluid bubble boiling method. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B., v. 16B, 2013, pp. 129-137.
17. Gvelesiani A., Chiabrishvili N. Additional experiments about investigation of the peculiarities of the bubble boiling of clear water, H<sub>2</sub>O, and sugar, C<sub>12</sub>H<sub>22</sub>O<sub>11</sub>, and edible salt, NaCl, water solutions of different densities. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue A., v. 17A, 2014, pp. 132-139.
18. Gvelesiani A., Chiabrishvili N. Study of Georgian Natural Waters Thermodynamic Parameters Behavior by Means of Original Fluids Bubble Boiling Method. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B., v. 18B, 2015, pp. 52-63.

**ნ. ჭიაბრიშვილის ხსოვნისათვის (1937-2016)**

**გველესიანი ა.**

**რეზიუმე**

მოყვანილია ბიოგრაფიული მონაცემები მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის ატმოსფეროს ფიზიკის სექტორის უფროსი მეცნიერ თანამშრომლის ნ. ჭიაბრიშვილის შესახებ და ინსტიტუტში მუშაობის დროს მისი შრომების მოკლე მიმოხილვა.

**MEMORIES OF N. CHIABRISHVILI (1937-2016)**

**Gvelesiani A.**

**Abstract**

The biographical information about scientist of the Sector of Physics of Atmosphere of M. Nodia Institute of Geophysics N. Chiabrishvili and the brief survey of his scientific works during the years of his work at the institute are given.

**ПАМЯТИ Н.Г. ЧИАБРИШВИЛИ (1937-2016)**

**Гвелесиани А.И.**

**Реферат**

Приводятся биографические сведения о научном сотруднике сектора физики атмосферы института геофизики им. М. Нодиа Н. Чиабришвили и краткий обзор его научных работ за годы работы в институте.

## ავტორთა სია

გვარი, ს.	გვ.	გვარი, ს.	გვ.	გვარი, ს.	გვ.
აბაიძე, ო.	28,53	კერესელიძე, ზ.	199	ლონტი, ნ.	5,14
აბაშიძე, ვ.	287	კვესელავა, ნ.	14,108,116	შავლიაშვილი, ლ.	156
აგზაგოვა, მ.	228,236	კირკიტაძე, დ.	152,156,178	შერგილაშვილი, გ.	199
ავლოხაშვილი, ხ.	28,60,123	კობზევი, გ.	265	ჩარგაზია, ხ.	14,60,66
ამილახვარი, დ.	278	ლომაძე, ე.	260	ჩიხლაძე, ვ.	14,28,39
ამირანაშვილი, ა.	14,28,39	ლომთაძე, ჯ.	14,28,39	ჩოჩიშვილი, ქ.	152
არველაძე, ლ.	53	მანაგაძე, ი.	53	ჩხაიძე, ბ.	53,66,75
აფხაიძე, ა.	191	მელიქაძე, გ.	265	ჩხაიძე, გ.	178,191
ბალავაძე, ა.	129,191	მირცხულავა, მ.	164	ცაგურია, თ.	287
ბანეთაშვილი, ვ.	60,66,75	მიტინი, მ.	60,66,75	ცინცაძე, თ.	5
ბარეკიანი, ი.	39,53	მკურნალიძე, ი.	139	ციცქიშვილი, მ.	129,156,222
ბერიტაშვილი, ბ.	139	ნიკიფოროვი, გ.	178,191	ცხვედიაშვილი, გ.	28,60,75
ბლიაძე, თ.	90,139,152	ნიკოლაიშვილი, მ.	246	მაგანაშვილი, დ.	53
ბუაჩიძე, ნ.	156	ორჯონიკიძე, ა.	186	ძოდუაშვილი, უ.	14,28,39
ბურნაძე, ა.	14,108,116	ოსეფაშვილი, ა.	14,28,39	წერეთელი, ა.	66,75
გელოვანი, გ.	14,60,75	ოსიძე, ი.	135	ჭანკვეტაძე, ა.	265,139,178
გველესიანი, ა.	186,292	რაზმაზიშვილი, რ.	53	ჭელიძე, თ.	287
გრებენცოვა, ა.	66,75	საგინაშვილი, ნ.	66,75	ჭიაბრიშვილი, ნ.	164
დავითაშვილი, ლ.	287	სალუქვაძე, მ.	156	ჭუმბურიძე, ზ.	139
დარახველიძე, ლ.	5	სამხარაძე, ი.	60,75,84	ხაზარაძე, რ.	222
დვალი, ლ.	278	სანაია, მ.	123	ხაზარაძე, ქ.	222
დვალიშვილი, კ.	14,39	საური, ი.	14,28,39	ხარჩილავა, ჯ.	191
დოვგალი, ნ.	287	სურმავა, ა.	156	ხეთაშვილი, ა.	28
ვარამაშვილი, ნ.	108,116,164	ტატიშვილი, გ.	39,53	ხორგუანი, ფ.	139,228,236
ზურაშვილი, ზ.	135	ტროფიმენკო, ლ.	139,164	ხუროძე, თ.	139,186
თავიდაშვილი, ხ.	90	უნდილაშვილი, გ.	53	ხურციძე, გ.	60,66,75
თელია, შ.	14,28,39	ფიფია, მ.	96	ჯავახიშვილი, ნ.	60,66,75
ინჭირველი, ლ.	156	ქართველიშვილი, გ.	246,254,260	ჯამრიშვილი, ნ.	66,90,108
იობაძე, კ.	75,90	ქართველიშვილი, კ.	246,254,260	ჯაფარიძე, ნ.	222
კაიშაური, მ.	14,60,66	ქირია, ჯ.	28,53,135	ჯიმშელაძე, თ.	265



## Author Index

<b>Surname, N.</b>	<b>P.</b>	<b>Surname, N.</b>	<b>P.</b>	<b>Surname, N.</b>	<b>P.</b>
Abaiadze, O.	28,53	Dzodzuashvili, U.	14,28,39	Mirtslhulava, M.	164
Abashidze, V.	287	Gelovani, G.	14,60,75	Mitin, M.	60,66,75
Agzagova, M.	228,236	Ghlonti, N.	5,14	Mkurnalidze, I.	139
Amilakhvari, D.	278	Grebentsova, A.	66,75	Nikiforov, G.	178,191
Amiranashvili, A.	14,28,39	Gvelesiani, A.	186,292	Nikolaishvili, M.	246
Apkhaidze, A.	191	Intskirveli, L.	156	Orjonikidze, A.	186
Arveladze, L.	53	Iobadze, K.	75,90	Osepashvili, A.	14,28,39
Avlokhshvili, Kh.	28,60,123	Jamrshvili, N.	66,90,108	Osidze, I.	135
Balavadze, A.	129,191	Japaridze, N.	222	Pipia, M.	96
Banetashvili, V.	60,66,75	Javakhishvili, N.	60,66,75	Razmazishvili, R.	53
Barekchian, I.	39,53	Jimsheladze, T.	265	Saginasvili, N.	66,75
Beritashvili, B.	139	Kaishauri, M.	14,60,66	Salukvadze, M.	156
Bliadze, T.	90,139,152	Kartvelishvili, G.	246,254,260	Samkharadze, I.	60,75,84
Buachidze, N.	156	Kartvelishvili, K.	246,254,260	Sanaia, M.	123
Burnadze, A.	14,108,116	Kereselidze, Z.	199	Sauri, I.	14,28,39
Chankvetadze, A.	265,139,178	Kharchilava, J.	191	Shavliashvili, L.	156
Chargazia, Kh.	14,60,66	Khazaradze, K.	222	Shergilashvili, G.	199
Chelidze, T.	287	Khazaradze, R.	222	Surmava, A.	156
Chiabrishvili, N.	164	Khetashvili, A.	28	Tatishvili, G.	39,53
Chikhladze, V.	14,28,39	Khorguani, F.	139,228,236	Tavidashvili, Kh.	90
Chkhaidze, B.	53,66,75	Khurodze, T.	139,186	Telia, Sh.	14,28,39
Chkhaidze, G.	178,191	Khurtsidze, G.	60,66,75	Trofimenko, L.	139,164
Chochishvili, K.	152	Kiria, J.	28,53,135	Tsaguria, T.	287
Chumburidze, Z.	139	Kirkitadze, D.	152,156,178	Tsereteli, A.	66,75
Darakhvelidze, L.	5	Kobzev, G.	265	Tsintsadze T.	5
Davitashvili, L.	287	Kveselava, N.	14,108,116	Tsitskishvili, M.	129,156,222
Dovgal, N.	287	Lomadze, E.	260	Tskhvediasvili, G.	28,60,75
Dvali, L.	278	Lomtadze J.	14,28,39	Undilashvili, G.	53
Dvalishvili, K.	14,39	Managadze, I.	53	Varamashvili, N.	108,116,164
Dzaganashvili, D.	53	Melikadze, G.	265	Zurashvili, Z.	135

## Авторский указатель

<b>Фамилия, И.О.</b>	<b>Стр.</b>	<b>Фамилия, И.О.</b>	<b>Стр.</b>	<b>Фамилия, И.О.</b>	<b>Стр.</b>
Абаиадзе, О.А.	28,53	Довгаль, Н.Д.	287	Саури, И.П.	14,28,39
Абашидзе, В.Г.	287	Зурашвили, З.И.	135	Сурмава, А.А.	156
Авлохашвили, Х.В.	28,60,123	Инцкирвели, Л.Н.	156	Тавидашвили, Х.З.	90
Агзагова, М.Б.	228,236	Иобадзе, К.В.	75,90	Татишвили, Г.З.	39,53
Амилахвари, Д.	278	Кайшаури, М.Н.	14,60,66	Телия, Ш.О.	14,28,39
Амиранашвили, А.Г.	14,28,39	Картвелишвили, Г. Д.	246,254, 260	Трофименко, Л.Т.	139,164
Апхаидзе, А.А.	191	Картвелишвили, К.З.	246,254, 260	Ундилашвили, Г.Д.	53
Арвеладзе, Л.В.	53	Квеселава, Н.С.	14,108,1 16	Хазарадзе, К.Р.	222
Балавадзе, А.Ш.	129,191	Кереселидзе, З.	199	Хазарадзе, Р.Р.	222
Банеташвили, В.Г.	60,66,75	Кириа, Дж.К.	28,53,1 35	Харчилава, Дж.Ф.	191
Барекчян, И.Ю.	39,53	Киркитадзе, Д.Д.	152,156, 178	Хеташвили, А.А.	28
Бериташвили, Б.Ш.	139	Кобзев, Г.Н.	265	Хоргуани, Ф.А.	139,228, 236
Блиадзе, Т.Г.	90,139,152	Ломадзе, Е. Д.	260	Хуродзе, Т.В.	139,186
Буачидзе, Н.С.	156	Ломтадзе, Дж. Д.	14,28,39	Хурцидзе, Г.Т.	60,66,75
Бурнадзе, А.С.	14,108,116	Манагадзе, И.Б.	53	Цагурия, Т.А.	287
Варамашвили, Н.Д.	108,116,16 4	Меликадзе, Г.И.	265	Церетели, А.Г.	66,75
Гвелесиани, А.И.	186,292	Мирицхулава, М.Д.	164	Цинцадзе, Т.Н.	5
Геловани, Г.Т.	14,60,75	Митин, М.Н.	60,66,75	Цицкишвили, М.С.	129,156, 222
Глонти, Н.Я	5,14	Мкурналидзе, И.П.	139	Цхведиашвили, Г.Н.	28,60,75
Гребенцова, А.В.	66,75	Никифоров, Г.В.	178,191	Чанкветадзе, А.Ш.	265,139, 178
Давиташвили, Л.А.	287	Николайшвили, М.М.	246	Чаргазия, Х.З.	14,60,66
Дарахвелидзе, Л.К.	5	Орджоникидзе, А.А.	186	Челидзе, Т.Л.	287
Двали, Л.	278	Осепашвили, А.Р.	14,28,39	Чиабришвили, Н.Г.	164
Двалишвили, К.С.	14,39	Осидзе, И.Г.	135	Чихладзе, В.А.	14,28,39
Джавахишвили, Н.Р.	60,66,75	Пипия, М.	96	Чочишвили, К.М.	152
Джамришвили, Н.К.	66,90,108	Размазишвили, Р.Н.	53	Чумбуридзе, З.А.	139
Джапаридзе, Н.Д.	222	Сагинашвили, Н.М.	66,75	Чхаидзе, Б.Д.	53,66,75
Джимшеладзе, Т.Дж.	265	Салуквадзе, М.Т.	156	Чхаидзе, Г.П.	178,191
Дзаганашвили, Д.Р.	53	Самхарадзе, И.Н.	60,75,84	Шавлиашвили, Л.У.	156
Дзодзуашвили, У.В.	14,28,39	Саная, М.С.	123	Шергилашвили, Г.	199

## სარჩევი-CONTENT-СОДЕРЖАНИЕ

1. ლლონტი ნ., დარახველიძე ლ., ცინცაძე თ. ამირან ქარცივაძე. დაბადებიდან 95 წლისთავისათვის  
*Ghlonti N., Darakhvelidze L., Tsintsadze T. Amiran Kartsivadze. To the 95 - anniversary from the birthday* 5  
*Глонти Н.Я., Дарахвелидзе Л.К., Цинцадзе Т.Н. Амиран Ильич Карцивадзе. К 95-летию со дня рождения*
2. ამირანაშვილი ა., ბურნაძე ა., დვალიშვილი კ., გელოვანი გ., ლლონტი ნ., ძოდუაშვილი უ., კაიშაური მ., კვესელავა ნ., ლომთაძე ჯ., ოსეფაშვილი ა., საური ი., თელია შ., ჩარგაზია ხ., ჩიხლაძე ვ. კახეთში სეტყვასთან ბრძოლის სამუშაოების განახლება  
*Amiranashvili A., Burnadze A., Dvalishvili K., Gelovani G., Ghlonti N., Dzodzuashvili U., Kaishauri M., Kveselava N., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia Sh., Chargazia Kh., Chikhladze V. Renewal works of anti-hail service in Kakheti* 14  
*Амиранашвили А.Г., Бурнадзе А.С., Двалишвили К.С., Геловани Г.Т., Глонти Н.Я., Дзодзуашвили У.В., Кайшаури М.Н., Квеселава Н.С., Ломтадзе Дж. Д., Осепашивили А.Р., Саури И.П., Телия Ш.О., Чаргазия Х.З., Чихладзе В.А. Возобновление работ по борьбе с градом в Кахетии*
3. აბაიძე ო., ავლოხაშვილი ხ., ამირანაშვილი ა., ძოდუაშვილი უ., ქირია ჯ., ლომთაძე ჯ., ოსეფაშვილი ა., საური ი., თელია შ., ხეთაშვილია., ცხვედიაშვილი გ., ჩიხლაძე ვ. კახეთში სეტყვასაწინააღმდეგო სამსახურის რადიოლოკაციური უზრუნველყოფა  
*Abaiadze O., Avlokhshvili Kh., Amiranashvili A., Dzodzuashvili U., Kiria J., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Telia Sh., Khetashvili A., Tskhvediasvili G., Chikhladze V. Radar providing of anti-hail service in Kakheti* 28  
*Абаиадзе О.А., Авлохашвили Х.В., Амиранашвили А.Г., Дзодзуашвили У.В., Кириа Дж.К., Ломтадзе Дж. Д., Осепашивили А.Р., Саури И.П., Телия Ш.О., Хеташвили А.А., Цхведиашвили Г.Н., Чихладзе В.А. Радиолокационное обеспечение противорадовой службы в Кахетии*
4. ამირანაშვილი ა., ბარეკჩიანი ი., დვალიშვილი კ., ძოდუაშვილი უ., ლომთაძე ჯ., ოსეფაშვილი ა., საური ი., ტატიშვილი გ., თელია შ., ჩიხლაძე ვ. კახეთში სეტყვის პროცესებზე ზემოქმედების სახმელეთო საშუალებების მახასიათებლები  
*Amiranashvili A., Berekchian I., Dvalishvili K., Dzodzuashvili U., Lomtadze J., Osepashvili A., Sauri I., Tatishvili G., Telia Sh., Chikhladze V. Characteristics of ground means action on hail process in Kakheti* 39  
*Амиранашвили А.Г., Барекчян И.Ю., Двалишвили К.С., Дзодзуашвили У.В., Ломтадзе Дж. Д., Осепашивили А.Р., Саури И.П., Татишвили Г.З., Телия Ш.О., Чихладзе В.А. Характеристики наземных средств воздействия на градовые процессы в Кахетии*
5. აბაიძე ო., არველაძე ლ., ბარეკჩიანი ი., ძაგანაშვილი დ., ქირია ჯ., მანაგაძე ი., რაზმაზიშვილი რ., ტატიშვილი გ., უნდილაშვილი გ., ჩხაიძე ბ. კახეთში სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების მართვის დისტანციური სისტემები  
*Abaiadze O., Arveladze L., Berekchian I., Dzaganaashvili D., Kiria J., Managadze I., Razmazishvili R., Tatishvili G., Undilashvili G., Chkhaidze B. The distance system control of active action on hail process in Kakheti* 53  
*Абаиадзе О.А., Арвеладзе Л.В., Барекчян И.Ю., Дзаганашвили Д.Р., Кириа Дж.К., Манагадзе И.Б., Размазишвили Р.Н., Татишвили Г.З., Ундилашвили Г.Д., Чхаидзе Б.Д. Дистанционная система управления активными воздействиями на градовые процессы в Кахетии*
6. ავლოხაშვილი ხ., ბანეტაშვილი ვ., გელოვანი გ., ჯავახიშვილი ნ., კაიშაური მ., მიტინი მ., სამხარაძე ი., ცხვედიაშვილი გ., ჩარგაზია ხ., ხურციძე გ. «METEOR 735CDP10» მეტეოროლოგიური რადიოლოკატორის პროდუქტები  
*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»* 60  
*Авлохашвили Х.В., Банеташвили В.Г., Геловани Г.Т., Джавахишвили Н.Р., Кайшаури М.Н., Митин*

*М.Н., Самхарадзе И.Н., Цхведиашвили Г.Н., Чаргазия Х.З., Хурцидзе Г.Т.* Продукты метеорологического радиолокатора «METEOR 735CDP10»

7. *ბანეთაშვილი ვ., გრებენცოვა ა., ჯავახიშვილი ნ., ჯამრიშვილი ნ., კაიშაური მ., მიტინი მ., საგინაშვილი ნ., ხურციძე გ., წერეთელი ა., ჩარგაზია ხ., ჩხაიძე ბ.* კახეთში სეტყვის პროცესების ზოგიერთი მაგალითი 2015 წელს რადიოლოკაციური დაკვირვებების მიხედვით  
*Banetashvili V., Grebentsova A., Javakhishvili N., Jamrishvili N., Kaishauri M., Mitin M., Saginashvili N., Khurtsidze G., Tsereteli A., Chargazia Kh., Chkhaidze B.* Some examples of hail processes in Kakheti according to the data of radar surveillance in 2015 66  
*Банеташивили В.Г., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. П., Джамришвили Н.К., Кайшаури М.Н., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Хурцидзе Г.Т., Церетели А.Г., Чаргазия Х.З., Чхаидзе Б.Д.* Некоторые примеры градовых процессов в Кахетии по данным радиолокационных наблюдений в 2015 году

8. *ბანეთაშვილი ვ., გელოვანი გ., გრებენცოვა ა., ჯავახიშვილი ნ., იობაძე კ., მიტინი მ., საგინაშვილი ნ., სამხარაძე ი., ხურციძე გ., წერეთელი ა., ცხვედიაშვილი გ., ჩხაიძე ბ.* აღმოსავლეთ საქართველოში ძლიერი თავსხმა წვიმების ზოგიერთი მაგალითი 2015 წელს რადიოლოკაციური დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით  
*Banetashvili V., Gelovani G., Grebentsova A., Javakhishvili N., Iobadze K., Mitin M., Saginashvili N., Samkharadze I., Khurtsidze G., Tsereteli A., Tskhvediashevili G., Chkhaidze B.* Some examples of strong precipitation in eastern Georgia according to the data of radar surveillance of 2015 75  
*Банеташивили В.Г., Геловани Г.Т., Гребенцова А.В., Джавахишвили Н. П., Иобадзе К.В., Митин М.Н., Сагинашвили Н.М., Самхарაძე И.Н., Хурциძე Г.Т., Церетელი А.Г., Цხვედიაშვილი Г.Н., Чхаიძე Б.Д.* Некоторые примеры сильных ливней в восточной Грузии по данным радиолокационных наблюдений 2015 года

9. *სამხარაძე ი.* ატმოსფერული პროცესების კვლევის ზოგიერთი მეთოდი  
*Samkharadze I.* Some methods of the studies of atmospheric processes 84  
*Самхарაძე И.Н.* Некоторые методы исследований атмосферных процессов

10. *ბლიაძე თ., ჯამრიშვილი ნ., იობაძე კ., თავიდაშვილი ხ.* კახეთში 2015 წლის სეტყვასაწინააღმდეგო სამუშაოების სეზონში ნულოვანი იზოთერმის სიმაღლის ცვალებადობა  
*Bliadze T., Jamrishvili N., Iobadze K., Tavidashvili Kh.* Changeability of height of zero isotherm in Kakheti into the season of the anti-hail works of 2015 90  
*Блиаძე Т.Г., Джамришвили Н.К., Иобაძე К.В., Тавиდაшვილი Х.З.* Изменчивость высоты нулевой изотермы в Кахетии в сезон противоградовых работ 2015 года

11. *ფიფია მ.* სეტყვისაწინააღმდეგო სამუშაოების წარმოების პერსპექტივები ზოგიერთი კლიმატური მახასიათებლების გათვალისწინებით კახეთის რეგიონში (საქართველო)  
*Pipia M.* Prospects for the development of anti-hail works in Kakheti region (Georgia) taking into account some climatic indices 96  
*Пипия М.* Перспективы проведения противоградовых работ в Кахетинском регионе (Грузия) с учетом некоторых климатических показателей

12. *ბურნაძე ა., ვარამაშვილი ნ., ჯამრიშვილი ნ., კვესელავა ნ.* სეტყვისგან დაცვის ფიზიკური ეფექტურობის შეფასების შესახებ  
*Burnadze A., Varamashvili N., Jamrishvili N., Kveselava N.* On the estimations of the physical effectiveness of anti-hail protection 108  
*Бурнаძე А.С., Варамашвили Н.Д., Джамришвили Н.К., Квеселавა Н.С.* Об оценках физической эффективности противоградовой защиты

13. *ბურნაძე ა., ვარამაშვილი ნ., კვესელავა ნ.* სეტყვისაწინააღმდეგო სამუშაოების ეკონომიკური ეფექტურობის შეფასების ძირითადი მეთოდები  
*Burnadze A., Varamashvili N., Kveselava N.* Basic methods of the estimation of economic effectiveness in the anti-hail works 116

Бурнадзе А.С., Варамашвили Н.Д., Квеселава Н.С. Основные методы оценки экономической эффективности противоградовых работ

14. ავლოხაშვილი ხ., სანაია მ. საქართველოში ამინდის მოდიფიკაციის სამუშაოებში უპილოტო საფრენი აპარატების გამოყენების პერსპექტივები 123  
*Avlokhshvili Kh., Sanaia M.* Prospects of using the unmanned aircraft system in the works on weather modification in Georgia  
*Авлохашвили Х.В., Саная М.С.* Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в работах по модификации погоды в Грузии
15. ბალავაძე ა., ციციშვილი მ. ხელოვნური აეროზოლური რადიომრეკლავები ატმოსფეროში და ღრუბლებში დინამიკური პროცესების გამოსაკვლევად 129  
*Balavadze A., Tsitskishvili M.* Artificial aerosol radio-reflectors for investigating the dynamic processes in the atmosphere and clouds  
*Балавадзе А.Ш., Цицкишвили М.С.* Искусственные аэрозольные радиоотражатели для исследования динамических процессов в атмосфере и облаках
16. ზურაშვილი ზ., კირია ჯ., ოსიძე ი. თეორიული სამუშაოები სეტყვის კოაგულაციური ზრდის შესახებ, სეტყვის პროცესების რიცხვითი მოდელირება 135  
*Zurashvili Z., Kiria J., Osidze I.* Theoretical works on a coagulation increase in the hail, the numerical simulation of hail processes  
*Зурашвили З.И., Кириа Д.К., Осидзе И.Г.* Теоретические работы по коагуляционному росту града, численное моделирование градовых процессов
17. ბერიტაშვილი ბ., ბლიაძე თ., მკურნალიძე ი., ტროფიმენკო ლ., ხორგუანი ფ., ხუროძე თ., ჭანკვეტაძე ა., ჭუმბურიძე ზ. ატმოსფერული ელექტრობის, ელჭექის პროცესების და მათზე ანტროპოგენური ზემოქმედების კვლევა საქართველოში 139  
*Beritashvili B., Bliadze T., Mkurnalidze I., Trofimenko L., Khorguani F., Khurodze T., Chankvetadze A., Chumburidze Z.* Study of atmospheric electricity, thunderstorm processes and anthropogenic action on them in Georgia  
*Бериташвили Б.Ш., Блиадзе Т.Г., Мкурналидзе И.П., Трофименко Л.Т., Хоргуани Ф.А., Хуродзе Т.В., Чанкветაძე А.Ш., Чумბურიძე З.А.* Исследование атмосферного электричества, грозовых процессов и антропогенного воздействия на них в Грузии
18. ბლიაძე თ., კირკიტაძე დ., ჩოჩიშვილი კ. სეტყვის ღრუბელზე ზემოქმედებისათვის საჭირო ყინულწარმოქმნელი რეაგენტების ეფექტურობის ევოლუცია 152  
*Bliadze T., Kirkitadze D., Chochishvili K.* Evolution in the effectiveness of the ice-forming reagents for the action on the hail clouds  
*Блиадзе Т.Г., Киркიტაძე დ.დ., Чочишвили К.М.* Эволюция в эффективности льдообразующих реагентов для воздействия на градовые облака
19. ბუაჩიძე ნ., ინჭირველი ლ., კირკიტაძე დ., სალუკვაძე მ., სურმავა ა., ციციშვილი მ., შავლიაშვილი ლ. კახეთში სეტყვის პროცესებზე აქტიური ზემოქმედების ზოგიერთი ეკოლოგიური ასპექტები 156  
*Buachidze N., Intskirveli L., Kirkitadze D., Salukvadze M., Surmava A., Tsitskishvili M., Shavliashvili L.* Some ecological aspects of active actions on the hail processes in Kakheti  
*Буачидзе Н.С., Инчирвели Л.Н., Киркიტაძე დ.დ., Салუკვაძე М.Т., Сурмаვა А.А., Цицкишვილი М.С., Шавлиаშვილი Л.У.* Некоторые экологические аспекты активных воздействий на градовые процессы в Кахетии
20. ვარამაშვილი ნ., მირცხულავა მ., ტროფიმენკო ლ., ჭიაბრიშვილი ნ. საღრუბლო გარემოს კონტაქტური ელექტრიზაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება 164  
*Varamashvili N., Mirtshulava M., Trofimenko L., Chiabrishvili N.* The experimental simulation of the processes of the contact electrization of cloud medium  
*Варамашვილი Н.Д., Мирцхулаვა М.Д., Трофименко Л.Т., Чиабришვილი Н.Г.* Экспериментальное моделирование процессов контактной электризации облачной среды

21. კირკიტაძე დ., ნიკიფოროვი გ., ჭანკვეტაძე ა., ჩხაიძე გ. მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფერული აეროზოლების გამოკვლევის ზოგიერთი შედეგი  
*Kirkitadze D., Nikiforov G., Chankvetadze A., Chkhaidze G.* Some results of studies of atmospheric aerosols in M. Nodia institute of geophysics in the recent three decades 178  
*Киркитадзе Д.Д., Никифоров Г.В., Чанкветадзе А.Ш., Чхаидзе Г.П.* Некоторые результаты исследований атмосферных аэрозолей в институте геофизики им. м. Нодиа за последние три десятилетия
22. გველესიანი ა., ორჯონიკიძე ა., ხუროძე თ. სეტყვის ზრდისა და დნობის, წვეთების გაყინვისა და ყინულის ჰეტეროგენური ნუკლეაციის პროცესების ექსპერიმენტული მოდელირება  
*Gvelesiani A., Orjonikidze A., Khurodze T.* Experimental simulation of the processes of growth and thawing of hail stones, freezing of drops, heterogeneous nucleation of ice 186  
*Гвелесиანი А.И., Орджоникидзе А.А., Хуродзе Т.В.* Экспериментальное моделирование процессов роста и таяния градин, замерзания капель, гетерогенной нуклеации льда
23. აფხაიძე ა., ბალავაძე ა., ნიკიფოროვი გ., ხარჩილავა ჯ., ჩხაიძე გ. მ. ნოდის სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტში ატმოსფერული ოზონის კვლევების შესახებ  
*Apkhaidze A., Balavadze A., Nikiforov G., Kharchilava J., Chkhaidze G.* On the studies of atmospheric ozone in M. Nodia institute of geophysics 191  
*Апхაидзе А.А., Балавадзе А.Ш., Никифоров Г.В., Харчилава Дж.Ф., Чхаидзе Г.П.* Об исследованиях атмосферного озона в институте геофизики им. М. Нодиа
24. კერესელიძე ზ., შერგილაშვილი გ. მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დახურული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა  
*Kereselidze Z., Shergilashvili G.* Overflow of Vere river on 13 june 2015 and hydrodynamic problem of closed channel 199  
*Кереселидзе З., Шергилашвили Г.* Паводок реки Вере 13.06.2015 года и гидродинамическая проблема закрытого русла
25. ციციქიშვილი მ., ჯაფარიძე ნ., ხაზარაძე კ., ხაზარაძე რ. ეკოლოგიური მეცნიერების ამოცანები საქართველოში ეკოლოგიური კრიზისის დაძლევისათვის  
*Tsitskishvili M., Japaridze N., Khazaradze K., Khazaradze R.* Challenges for ecological science address 222  
*ციციქიშვილი М.С., Джапаридзе Н.Д., Хазарадзе К.Р., Хазарадзе Р.Р.* Задачи экологической науки для преодоления экологического кризиса в Грузии
26. ხორგუანი ფ., აგზაგოვა მ. საშიში მეტეოროლოგიური მოვლენების კლიმატური დახასიათება ჩრდილოეთ კავკასიის ტერიტორიასა და კრასნოდარის მხარეში  
*Khorguani F., Agzagova M.* Climatic characteristic of dangerous meteorological phenomena in the territory of North Caucasus and Krasnodar krai 228  
*Хоргуани Ф.А. Агзагова М.Б.* Климатическая характеристика опасных метеорологических явлений на территории Северного Кавказа и Краснодарского края
27. ხორგუანი ფ., აგზაგოვა მ. ქარიშხლები და ქარბორბალა სამხრეთ ფედერალური ოლქის ტერიტორიაზე და ჩრდილოეთ კავკასიაში  
*Khorguani F., Agzagova M.* Hurricanes, water spouts on the territory of Southern Federal Region and North Caucasus 236  
*Хоргуани Ф.А., Агзагова М.Б.* Ураганы, смерчи на территории Южного Федерального округа и Северного Кавказа
28. ქართველიშვილი კ., ქართველიშვილი გ., ნიკოლაიშვილი მ. დედამიწის მიმოქცევითი დეფორმაციების შესწავლა თბილისში  
*Kartvelishvili K., Kartvelishvili G., Nikolaisvili M.* A study of the tidal deformation processes of the earth in Tbilisi 246  
*Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д., Николайшвили М.М.* Изучение приливных

29. ქართველიშვილი კ., ქართველიშვილი გ. თბილისში ვერტიკალური ექსტენზომეტრით მიღებული მიმოქცევითი დეფორმაციების შედეგები <i>Kartvelishvili K., Kartvelishvili G. Results of tidal deformations with a vertical extensometer in Tbilisi</i> <i>Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д. Приливные деформации земли по данным Тбилисского вертикального экстензометра</i>	254
30. ქართველიშვილი კ., ქართველიშვილი გ., ლომაძე ე. დაკვირვებები ატმოსფერული წნევის ცვლილებებით გამოწვეულ დედამიწის ზედაპირის დეფორმაციებზე <i>Kartvelishvili K., Kartvelishvili G., Lomadze E. Observations of the earth's surface deformations caused by atmospheric pressure variations</i> <i>Картвелишвили К.З., Картвелишвили Г. Д., Ломадзе Е. Д. Дрейф вертикального экстензометра, связанный с изменениями атмосферного давления</i>	260
31. მელიქაძე გ., ჯიმშელაძე თ., კობზევი გ., ჩანკვეტაძე ა. საქართველოში საშუალო კლასის მიწისძვრების წინმსწრები ჰიდროდინამიკური ანომალიები <i>Melikadze G., Jimsheladze T., Kobzev G., Chankvetadze A. Hydrodynamic anomalies as precursors of average degree earthquakes in Georgia</i> <i>Меликадзе Г. И., Джимшеладзе Т. Дж., Кобзев Г. Н., Чанкветадзе А. Ш. Гидродинамические аномалии, предшествующие землетрясениям среднего класса в Грузии</i>	265
32. ამილახვარი დ., დვალი ლ. მასების მოძრაობის და სეისმური პროცესის ლაბორატორიული მოდელირება <i>Amilakhvari D., Dvali L. Laboratory modeling of mass movement and seismic process</i> <i>Амилахвари Д., Двали Л. Лабораторная модель движения масс и сейсмического процесса</i>	278
33. აბაშიძე ვ., ჭელიძე თ., ცაგურია თ., დოვგალი ნ., დავითაშვილი ლ. ენგურჰესის რაიონში მარჯვენა სანაპიროს რღვევის გასწვრივ ბლოკების შესაძლო გადაადგილებების კონტროლისათვის დაყენებული ახალი ლაზერული ექსტენზომეტრის გაზომვების წინასწარი შედეგები <i>Abashidze V., Chelidze T., Tsaguria T., Dovgal N., Davitashvili L. Preliminary results of measurements of the new laser extensometer installed to observe probable block movements across the fault on the right bank of the Enguri dam</i> <i>Абашидзе В. Г., Челидзе Т.Л., Цагурия Т. А., Довгаль Н. Д., Давиташвили Л.А. Предварительные результаты измерений нового лазерного экстензометра, установленного для контроля возможного перемещения блоков вдоль правобережного разлома в районе Ингурской ГЭС</i>	287
34. გველესიანი ა. ნ. ჭიაბრიშვილის ხსოვნისათვის (1937-2016) <i>Gvelesiani A. Memories of N. Chiabrishvili (1937-2016)</i> <i>Гвелесиани А.И. Памяти Н.Г. Чиabriшвили (1937-2016)</i>	292
ავტორთა სია- Author Index-Авторский указатель	296
სარჩევი-Content-Содержание	299

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი  
IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY  
ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. И. ДЖАВАХИШВИЛИ

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXVI, 2016

Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXVI, 2016

Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. LXVI, 2016

ტირაჟი 100 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 100 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 100 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

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

თბილისი - Tbilisi - Тбилиси

2016