

ISSN 1512-1135

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი
მიხეილ ნოდias 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. LXX

TRANSACTIONS
vol. LXX

СБОРНИК ТРУДОВ
т. LXX

*ეძღვნება მ. ნოდias სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს
თავიმჯდომარის, აკადემიკოს თ. ჭელიძის 85 წლისთავს*

*Dedicated to 85th anniversary of Academician Tamaz Chelidze, Head of Scientific Council
of M. Nodia Institute of Geophysics*

*Посвящается 85-летию со дня рождения
ТАМАЗА ЛУКИЧА ЧЕЛИДЗЕ*

თბილისი - Tbilisi - Тбилиси
2019

მთავარი რედაქტორი: **აბაშიძე ვ.** - Editor-in-Chief: **Abashidze V.**

Главный редактор: **Абашидзе В.Г.**

სარედაქციო-საგამომცემლო საბჭო:

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

THE EDITORIAL AND PUBLISHING BOARD:

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

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ:

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

კრებული გამოდის 1936 წლიდან და მოიცავს გეოფიზიკის ყველა მიმართულებას. კრებულში იბეჭდება სამეცნიერო სტატიები, მონოგრაფიები, მიმოხილვები, მოკლენფორმაციები, 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, обзоры 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;
geophysics.transactions@tsu.ge

Address of The Editorial and Publishing Board:

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

Адрес редакционно-издательского совета:

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

ელექტრონული ვერსიის მისამართი

The address of electronic version

Адрес электронной версии

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

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

ივ. ჯავახიშვილის სახ. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა

Publish Hous of Iv. Javakhishvili Tbilisi State University

Издательство Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили

დაიბეჭდა თსუ გამომცემლობის სტამბაში

Published by TSU Press

Напечатано в типографии ТГУ

0179 Tbilisi, ილია ჭავჭავაძის გამზირი 14

14 Iliа Chavchavadze Avenue, Tbilisi 0179

0179 Тбилиси, просп. И.Чавчавадзе, 14

Tel 995(32) 225 04 84, 6284/6279

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

ISSN 1512-1135

Ю Б И Л Е И

АКАДЕМИКУ ТАМАЗУ ЛУКИЧУ ЧЕЛИДЗЕ - 85 ЛЕТ

В этом году исполняется 85 лет со дня рождения и 60 лет научной деятельности известному грузинскому геофизику, создателю новых направлений в геофизической науке, ученому с высоким международным авторитетом, доктору химических и физико-математических наук, профессору, действительному члену Национальной академии наук Грузии ТАМАЗУ ЛУКИЧУ ЧЕЛИДЗЕ.



Профессиональная активность акад. Т.Л. Челидзе многообразна. Она охватывает экспериментальные и теоретические исследования в следующих направлениях: физика неоднородных (неупорядоченных) сред, включая такие объекты, как горные породы, гранулярные, коллоидные и биологические системы; экогеофизика, гидрогеофизика, геотермия; поверхностные физико-химические процессы, разведочная геофизика и археогеофизика; теория перколяции, фрактальные модели разрушения, упругости и сейсмичности; нелинейная динамика в геофизике; триггерирование сейсмических процессов и синхронизация; физика трения и стик-слипа; сейсмогидравлика подземных вод; оценка сейсмической опасности и сейсмического риска; физика землетрясений, прогноз землетрясений; мульти-риски, уменьшение

риска катастроф, системы ранних оповещений.

Т.Л. Челидзе родился 24 декабря 1934 г. в г. Кутаиси, в семье ректора Кутаисского государственного университета проф. Л.А. Челидзе. В 1952 году Т.Л. Челидзе на золотую медаль окончил среднюю школу, а в 1957 году - геологический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. С 1957 года он сотрудник Института геофизики АН Грузии: в 1967-1976 гг. - старший научный сотрудник отдела физики горных пород; 1976-2006 гг. - заведующий отделом физики горных пород; 1985-1992 гг. - заместитель директора института по научной части; 1996-2007 гг. - директор Института геофизики им. М.З. Нодиа АН Грузии. Ныне Т.Л. Челидзе - заведующий сектором прикладной и экспериментальной геофизики, председатель ученого совета

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

Т.Л. Челидзе в 1964 г. в Тбилисском государственном университете защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «К вопросу о зависимости электрических характеристик горных пород от частоты поля»; в 1975 г. в Киеве – на соискание ученой степени доктора химических наук на тему: «Поверхностные эффекты в диэлектрической спектроскопии гетерогенных систем»; а в 1985 г. в Москве, в Институте физики Земли - на соискание ученой степени доктора физико-математических наук на тему: «Перколяционные модели в механике геоматериалов». Звание ученой степени доктора по двум наукам говорит о высоком профессионализме Тамаза Лукича, о том, какие требования он предъявлял, прежде всего, себе: когда тематика отдела физики горных пород требовала наличия глубоких знаний по вопросам, касающимся коллоидных явлений, Т.Л. Челидзе пришлось изучать проблемы поляризации горных пород и он стал доктором химических наук; когда в повестке дня института было представлено новое направление – прогноз землетрясений, Тамаз Лукич снова защитил докторскую, но по физико-математическим наукам, чем и сумел достичь соответствия между своей квалификацией и новыми научными направлениями института. Вот, такова история двойного докторства. В 1990 году ВАКом (Высшая аттестационная комиссия при Совете Министров СССР) он утвержден в звании профессора по специальности «Геофизика», в 1997 г. избран в члены-корреспонденты АН Грузии, с 2013 г. – в действительные члены Национальной академии наук Грузии.

Как верный ученик и достойный продолжатель лучших научных традиций, заложенных первым поколением ученых Института геофизики, Тамаз Лукич на протяжении всей своей научной деятельности старается раскрыть тайны геофизической науки, обогатить ее, постоянно искать новое, передовое, способное двигать вперед грузинскую геофизику. В начале своего творческого пути Т.Л. Челидзе занимался электрическими, магнитными и термическими свойствами горных пород. В отделе физики горных пород было создано новое научное направление: электрическая спектроскопия поверхностных явлений, результаты исследований были использованы для создания петрофизических моделей земной коры Кавказского региона, что нашло отражение в монографии «Электрическая спектроскопия гетерогенных систем» (Киев, 1977г.). Далее, в этом же отделе был проведен цикл исследований, изучающий статистические процессы разрушения твердых тел и физики очагов землетрясений. В итоге, было создано новое направление: перколяционная (фрактальная) механика разрушения. Основные результаты этой работы, также были представлены в монографии Т.Л. Челидзе «Методы теории перколяции в механике геоматериалов» (Москва «Наука», 1987г.). Ученые-геофизики с мировым именем, акад. С.Н. Журков и акад. Г.А. Соболев считают, что перколяционный подход является перспективным методом в теории разрушения, послужил основой для развития нового направления в области физики разрушения твердых тел и прогноза землетрясений и Тамаз Лукич по праву считается основоположником этого направления. Действительно Т.Л. Челидзе является зачинателем и руководителем целого ряда научных проектов, успешное осуществление которых сыграло фундаментальную роль в формировании наших представлений о динамических процессах, протекающих в земной коре нашей планеты.

В 70-ых годах прошлого столетия Тамаз Лукич плодотворно занимался исследованиями электрических свойств таких неоднородных систем, как биологические ткани, в частности, кровь. Результаты этих исследований опубликованы в серии статей в журнале «Биофизика». Далее, Т.Л. Челидзе занимался исследованиями, касающимися статистических моделей разрушения твердых тел и физики очагов землетрясений. Под руководством Тамаза Лукича к концу прошлого столетия была построена новая карта общего сейсмического районирования Грузии. При построении карты был использован вероятностный подход Корнелла, а именно программный пакет SEISRISK III. В основу карты была положена новая схема активных разломов Кавказа и их каталог, предложенные акад. И.П. Гамкрелидзе, что повысило прогностическую ценность работы. Ретроспективная проверка карты свидетельствует об ее высокой эффективности. Методика SEISRISK III позволила рассчитать как ожидаемые интенсивности толчков, так и максимальные ускорения грунта с оценкой возможных неопределенностей. Карта построена с использованием ГИС-технологии (GIS), что значительно повышает информативность оценок. Карта была принята в качестве нормативной Министерством строительства Грузии в 1999 году. Тамаз Лукич значительный вклад внес в осуществлении проблем по прогнозу землетрясений. Хотя и проблема прогноза во времени пока не разрешима, но исследования по прогнозу интенсивно развиваются, для Кавказского региона составлена карта долгосрочного прогнозирования землетрясений.

Значительные исследования проведены акад. Т.Л. Челидзе вместе с коллегами и своими учениками. Ими, на основе перколяционной модели, разработана широко распространенная теория сейсмической критичности. С помощью методов нелинейной динамики проанализирован временной ряд землетрясений для разных временных и пространственных масштабов и установлена низкая фрактальная размерность распределения временных интервалов между землетрясениями. Лабораторным путем установлено влияние мощных электромагнитных импульсов на устойчивость приближенных к критическому состоянию механических систем, и обнаружена возможность контроля процесса неустойчивого трения (стик-слипа) пород с помощью наложения сравнительно слабых электромагнитных или механических колебаний. Этими опытами доказана принципиальная возможность синхронизации сильных сейсмических процессов сравнительно слабыми периодическими полями.

Неоценима роль акад. Т.Л. Челидзе в создании международного полигона Ингури ГЭС, в обновлении системы непрерывных наблюдений на территории полигона, в оснащении современными приборами, в создании в реальном времени действующей системы автоматического телеметрического мониторинга. С использованием методов нелинейной динамики проанализирована база данных наклонов и деформаций земной поверхности, созданная на основе многолетних непрерывных наблюдений на территории Ингури ГЭС.

Получены результаты, имеющие практическое значение для безопасной эксплуатации этого уникального объекта.

В связи с днем Ученого (10 ноября) Национальная академия наук Грузии учредила премию имени выдающегося грузинского геофизика, одного из основателей Института геофизики профессора М.З. Нодиа. 30 октября 2009 года первыми лауреатами этой почетной премии стали тогда еще член-корреспондент Академии наук Грузии Т.Л. Челидзе и его коллеги: доктор физ.-мат. наук Т. Н. Мачарашвили – специалист мирового уровня в сфере нелинейной динамики и блестящий экспериментатор, доктор физ.-мат. наук О.В. Лурсманашвили. К премированию был представлен цикл, выполненных за последние пять лет исследований, под общим заглавием «Использование методов нелинейной динамики для решения проблем сейсмологии». Отметим, что все статьи цикла, а их около 15, опубликованы в имеющих высокий рейтинг изданиях Англии, Голландии, Украины, соответствующие доклады были доложены на разных форумах в Австрии, Германии, Греции и т.д. Исследования касаются вопросов моделирования сейсмических процессов. Так как непосредственные наблюдения над процессами, протекающими в очагах

землетрясений пока невозможны, поэтому во всем мире используется лабораторная т.н. система прерывистого скольжения (Stick-slip) как модель сейсмического процесса, что и было осуществлено совместно грузинскими и иностранными учеными. Об этих исследованиях тогда так отозвался известный геофизик, основоположник гравиметрической школы в Грузии акад. Б.К. Балавадзе: «...эти исследования имеют большое практическое значение. С помощью современных методов нелинейной динамики детально изучается влияние резервуара Ингури ГЭС на локальную сейсмичность, для решения проблем индуцирования и синхронизации землетрясений».

С присущей Тамазу Лукичу энергией, он много делает для укрепления и расширения международного научного сотрудничества. Владение иностранными языками способствует свободному общению с выдающимися учеными мира. Тамаз Лукич принимает участие в разработке многих международных проектов. В международном проекте (Финляндия, Германия, Греция, Россия, Армения и Грузия) «Токсикал», целью которого была оценка уровня загрязнения подземных вод и разработка соответствующих рекомендаций, Тамаз Лукич был руководителем рабочей группы со стороны Грузии. Являясь постоянным представителем Грузии в «Соглашении по большим катастрофам при Совете Европы (EUR-OPA)», курирует работы, которые выполняются в рамках этого Соглашения. В 1997 году Тамаз Лукич назначен директором Европейского центра «Геодинамический риск высотных плотин» при Евросовете, созданного в рамках Соглашения. Геодинамический риск разрабатывает проблемы геодинамических рисков, связанных со строительством высотных плотин, прогнозирования реагирования больших плотин на ожидаемые геодинамические явления (тектонические движения, оползни, землетрясения) и т.д. Совместно с азербайджанскими и армянскими геофизиками издан первый региональный атлас «Гис-атлас опасности природных катастроф Южного Кавказа», для пан-европейской оползнеопасной карты создана карта части Грузии. Результаты, проведенных за последние годы под руководством и при участии Тамаза Лукича лабораторных, полевых исследований над таким катастрофическим для Грузии геодинамическим явлением, как оползень, представлены в двух монографиях, изданных в Институте.

Цель работы, представленной в монографии Н. Д. Варамашвили, Т.Л. Челидзе, М. Девидзе, В.А. Чихладзе «Лабораторное и математическое моделирование триггерированных внешними факторами оползней» (2017г.) заключалась в исследовании динамики процесса подготовки оползня. В частности, численным моделированием и лабораторными опытами оценен эффект влияния слабых внешних воздействий (влажность, сейсмические толчки, температура и т.д.) на вероятность возникновения оползневых или сейсмических процессов. Результаты этих исследований являются предметом значительных практических и фундаментальных научных ценностей, они подтверждают перспективу возможности контролирования движения масс и сейсмичности, с помощью сравнительно слабого искусственного (мощный электромагнитный импульс, механическая вибрация) или природного (землетрясения, ливневые осадки, гроза, ураганы и т.д.) воздействий. Конечной целью работ, представленных в монографии Т.Л. Челидзе, Н.Д. Варамашвили, З.Т. Челидзе, Т. Кириа, Н.Я. Глонти, Дж.К. Кириа, Т. Цамалашвили «Мониторинг оползней и создание экономической телеметрической системы раннего оповещения» (2018 г.), является создание системы раннего оповещения селей и оползней с помощью современных новых технологий. Было проведено тестирование системы на реальном опытном оползневом участке (Глданский оползень). Полученные результаты подтвердили, что по сравнению с существующими системами, система, разработанная в Институте геофизики намного дешевле и дает возможность, во-первых, установить уровни опасности в оползневом теле, и, главное, оперативно передать эту информацию. Полученные результаты были представлены и получили высокую оценку в 2018 году в Загребе, на встрече «Соглашения по большим катастрофам при Европейском совете». С работами в Тбилиси ознакомился также

господин Джанлука Сильвестрин –исполнительный секретарь Соглашения. Необходимо отметить, что этими работами уже заинтересованы разные инвестиционные фонды.

Акад Т.Л. Челидзе постоянно ведет интенсивную педагогическую и научно-организационную работу: читает лекции студентам Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили и Грузинского университета им. Святого Андрея Первозванного Патриаршества Грузии по физике горных пород, по космогонии, по электроразведке и экогеофизике; им изданы на грузинском языке следующие вспомогательные учебники для студентов: «Очерк по физике горных пород». (ТГУ. 1983), «Сложности в структуре и динамике природы» (в соавторстве с проф.Т.Н. Мачарашвили. 2000), « Геофизические методы в охране природы» (ТГУ. 2004); в 1997 году Т.Л. Челидзе был избран заведующим кафедрой поиска и разведки полезных ископаемых геофизическими методами в ТГУ им. Ив. Джавахишвили ; он имеет постоянные контакты с научными центрами Франции, Германии, где выступает с чтением лекций, проводит совместные работы по разным вопросам фрактальной механики; был приглашенным профессором в Чехословакии, в США в Колорадском университете, в Страсбургском университете, в университете г. Ренна, в Парижской школе «Эколь Нормаль Супериор».

Тамаз Лукич является членом следующих профессиональных и международных организаций: Американского геофизического общества (AGU), Американского сейсмологического общества (SSA), Всемирного общества разведочной геофизики (SEG), Нью-Йоркской академии, Всемирного инновационного фонда, экспертной комиссии по прогнозу землетрясений Европейской сейсмологической комиссии, научно-технической подкомиссии аэрокосмической системы Международного глобального мониторинга, был членом сейсмологической экспертной группы межгосударственного совета по чрезвычайным ситуациям стран СНГ, является президентом геофизической ассоциации Грузии, действительным членом Экологической академии Грузии; является приглашенным редактором международного журнала «Tectonophysics», членом редакционного совета международного журнала «Disaster Advances», членом редакционной комиссии журнала «Физика Земли» (Москва) и Геофизического журнала Украины; руководителем и исполнителем многих международных грантов, индивидуальных грантов, научных грантов Грузии.

В институте геофизики акад. Т.Л. Челидзе ведет большую научно-организационную работу. При его непосредственном участии организовано Грузинское геофизическое общество, президентом которого он был в течение многих лет. В те тяжелые политические и трудные экономические годы для нашей страны, Тамаз Лукич с большим успехом правил институтом. Именно тогда, по его инициативе на английском языке в 1995 году основан журнал Геофизического общества Грузии (в двух сериях: серия А – физика Земли и серия Б –физика атмосферы, океана и физика космических лучей) и у ученых нашего института появилась возможность безвозмездно опубликовывать результаты своих исследований. В настоящее время Тамаз Лукич является главным редактором обеих серий. Благодаря высокому авторитету Тамаза Лукича экспериментальные базы института были оборудованы современными автоматизированными системами и компьютерной техникой, библиотека института пополнилась новыми иностранными геофизическими журналами, при активной помощи Тамаза Лукича был решен ряд проблем молодых кадров и т.д.

Акад. Т.Л. Челидзе воспитал несколько аспирантов и соискателей научной степени, подготовивших под его руководством кандидатские (11) и докторские (4) диссертации. В институте он собрал вокруг себя молодой коллектив, с которым много и плодотворно работает. Им опубликовано свыше 300 научных работ, в том числе много монографий и учебников для студентов высших учебных заведений, большинство из них опубликовано в имеющих высокий научный рейтинг иностранных журналах.

Заслуги акад. Тамаза Лукича отмечены правительственными наградами: награжден Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Грузинской ССР (1984), орденом Чести (2000), медалью им. Ив. Джавахишвили (2014), он лауреат премии им. акад. М.А. Алексидзе (1999), лауреат премии им. проф. М.З. Нодиа (2009), с 2013 года Тамаз Лукич - Почетный гражданин города Тбилиси.

Невозможно в одной статье полностью описать все те человеческие достоинства, которые присущи Тамазу Лукичу. Это, прежде всего, интеллигентность, широкая эрудиция, высокий профессионализм, завидная коллегияльность, доброта. Мы гордимся, что академик Тамаз Лукич – действительно «лидер мирового ранга», так сказал о нем профессор Колорадского университета Гельмут Шпетцлер.

Дорогой Тамаз Лукич, весь коллектив Института геофизики им. М.З. Нодиа желает Вам доброго здоровья, долгих лет красивой жизни на благо Вашей семьи, на благо нашей Родины и науки, которой Вы отдаете много сил, энергии и знаний.

Директор Института геофизики им. М.З. Нодиа
академический доктор физ.-мат. наук Н.Я. Глonti.
Рук. научно-издательской группы института Л.К. Дарахвелидзе

ენგურჰესის კაშხლის მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე ნაპრალში მიმდინარე პროცესების შესწავლა ორკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის წინასწარი მონაცემების საფუძველზე

თ. ჭელიძე, ჯ. ქირია, თ. ცაგურია, თ. ქირია, ნ. დოვგალი, ლ. დავითაშვილი

მ. ნოდია სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

ენგურჰესის კაშხლის მარჯვენა ფრთის ძირში გადის ნაპრალი. ამ ნაპრალზე დაკვირვებას ინსტიტუტი რამდენიმე წელია აწარმოებს ერთკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის საშუალებით, კერძოდ იზომება ნაპრალის ბლოკების დაახლოება-დაცილება, მაგრამ არ ხდებოდა ნაპრალის გასწვრივ და ვერტიკალური მოძრაობების გაზომვა, რაც მნიშვნელოვანია რღვევის მექანიზმის დასადგენად.

ამ პროცესების შესწავლის მიზნით შეძენილი იქნა ორკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრი (Laser Position Sensor OBP-A-91), რომლის საშუალებით დაიწყო ზემოთ ნახსენები მოძრაობების შესწავლა.

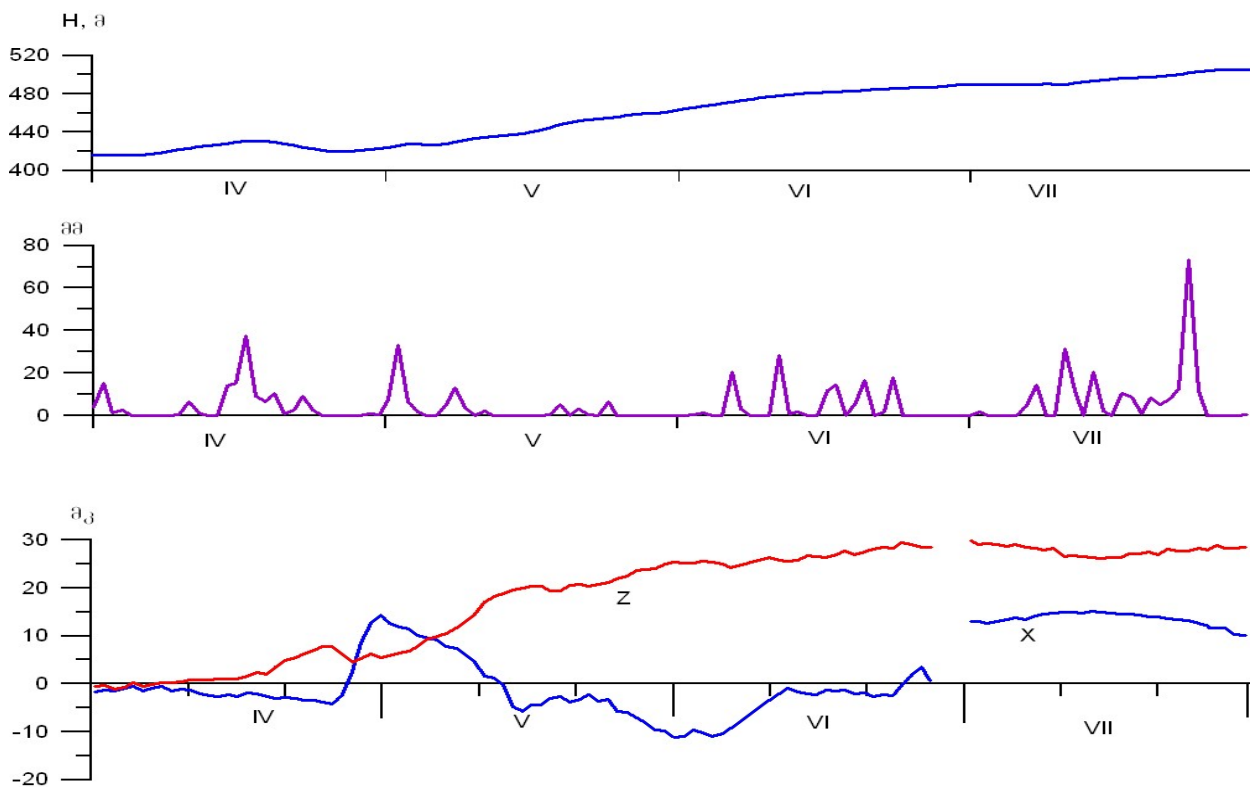
ხელსაწყო დაყენებულია ორ პოსტამენტზე და ამ პოსტამენტებს შორის გრძივ ფარდობით და ვერტიკალურ მოძრაობებს აფიქსირებს. ერთერთი პოსტამენტი დგას ნაპრალიდან დაახლოებით 11-12 მეტრის დაშორებით, მეორე პოსტამენტი მდებარეობს ნაპრალისა და მეორე ბლოკის შესაყარზე.

ჯერ განვიხილოთ ბლოკების ერთმანეთის მიმართ ფარდობითი ჰორიზონტალური (X) მოძრაობა 2019 წ. აპრილიდან ნოემბრამდე. როგორც ნახ.1 ჩანს აპრილის თვეში, როცა კაშხალში წყლის დონე მცირედ იცვლება ბლოკების მოძრაობა თითქმის არ დაიკვირვება. აპრილის ბოლოს და მაისის დასაწყისში მოხდა ბლოკების ფარდობითი მოძრაობა, რომელიც 15 მკ. ტოლია და მიმართულია კაშხლიდან ქვემო ბიეფისაკენ, მაგრამ 10 დღეში მოძრაობამ მიმართულება შეიცვალა საპირისპიროდ და მისი მნიშვნელობა გახდა დაახლოებით 20 მკ.

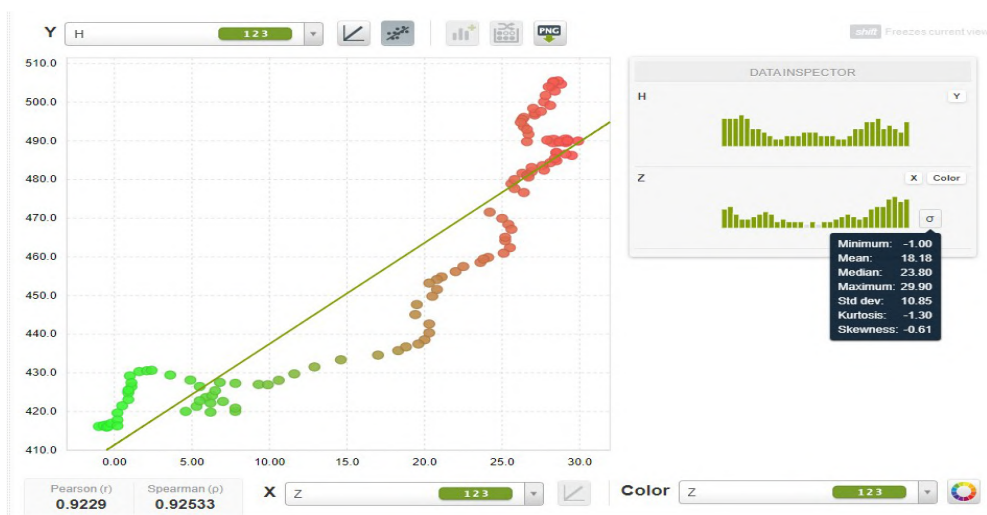
მსგავს პროცესს ადგილი აქვს მაისის ბოლოს ივნისის შუა რიცხვებამდე, როდესაც წყლის დონე იცვლება (იზრდება) ბლოკების მოძრაობის მიმართულებაც ორჯერ იცვლება და მნიშვნელობებიც იცვლება. როგორც ჩანს, ეს ფარდობითი მოძრაობები წყლის დონის ცვლილებით არ არის გამოწვეული. სავარაუდოდ ეს დაკავშირებული უნდა იყოს ნაპრალში მიმდინარე პროცესებთან. დაკვირვების პროცესში (აპრილიდან სექტემბრის ჩათვლით) საერთო ჯამური ფარდობითი მოძრაობა არ აღემატება 5-6 მკრ-ს.

განვიხილოთ ბლოკების ფარდობითი ვერტიკალური (Z) მოძრაობა. როგორც ნახ. 1-დან ჩანს აპრილის დასაწყისში კაშხალში წყლის დონე არ იცვლება და ბლოკების ვერტიკალურ მოძრაობას ადგილი არ აქვს. აპრილის შუა რიცხვებიდან მოხდა წყლის დონის აწევა 20 მეტრით, რასაც მოყვა ბლოკების ვერტიკალური მოძრაობა 5 მკრ-ის ფარგლებში (ამ მომენტში ბლოკების ამოწევა ხდება). წყლის დონის აწევა გაგრძელდა

ივლისის ბოლომდე, რასაც მოყვა ბლოკების მოძრაობა რომელიც შეადგენს დაახლოებით 41 მკრ?

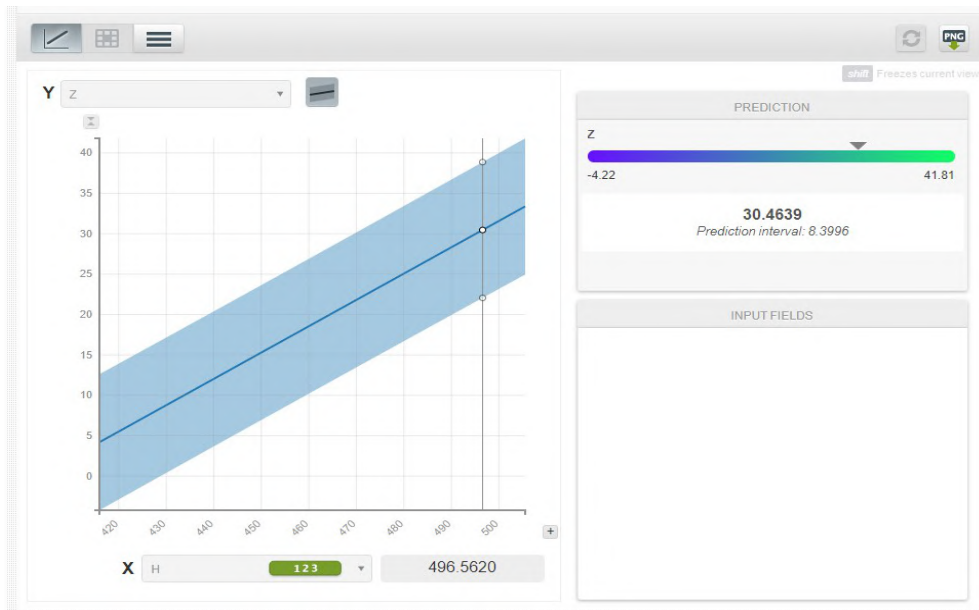


ნახ. 1 მარჯვენა სანაპიროს რღვევაზე დაყენებული ახალი ლაზერის 2019 წლის აპრილ-ივლისის თვეებში მიღებული მონაცემები.



ნახ.2

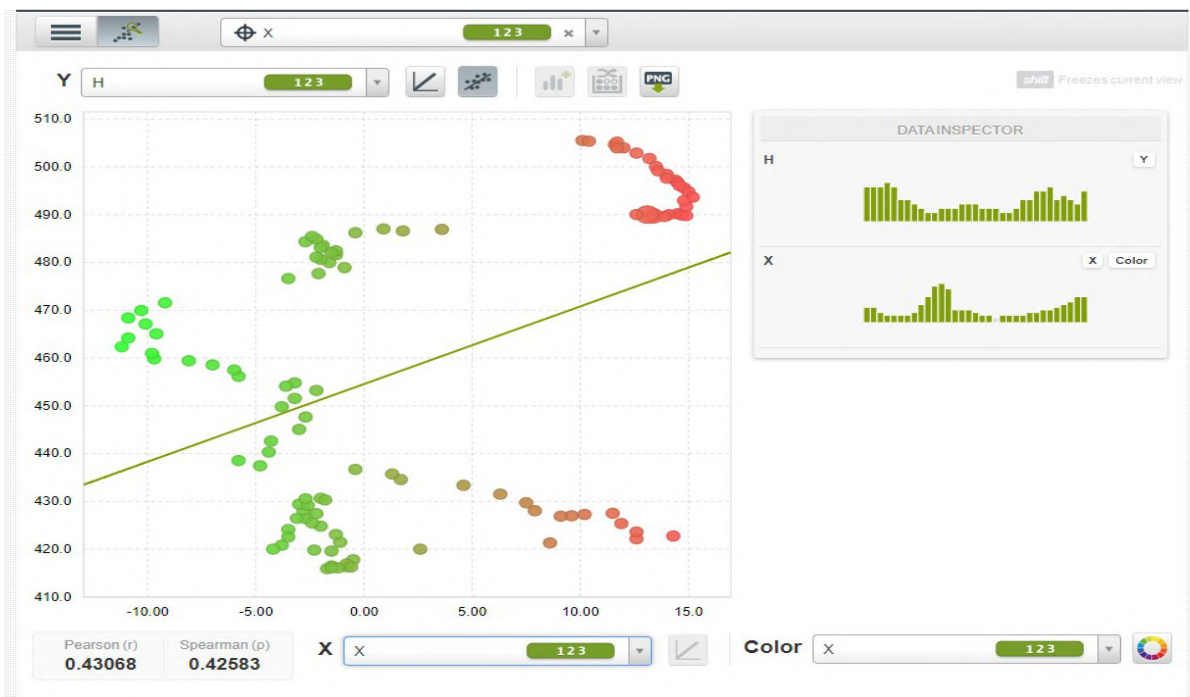
ნახ. 2. მოცემულია H და Z ის ჰისტოგრამული შედარება. ამ ორ დაკვირვებას შორის ვიზუალურად, ჰისტოგრამებით ჩანს მაღალი კორელაცია, რაც დადასტურებულია პირსონის და სპირმანის კორელაციების კოეფიციენტებით, შესაბამისად 0,922 და 0,925



ნახ. 3

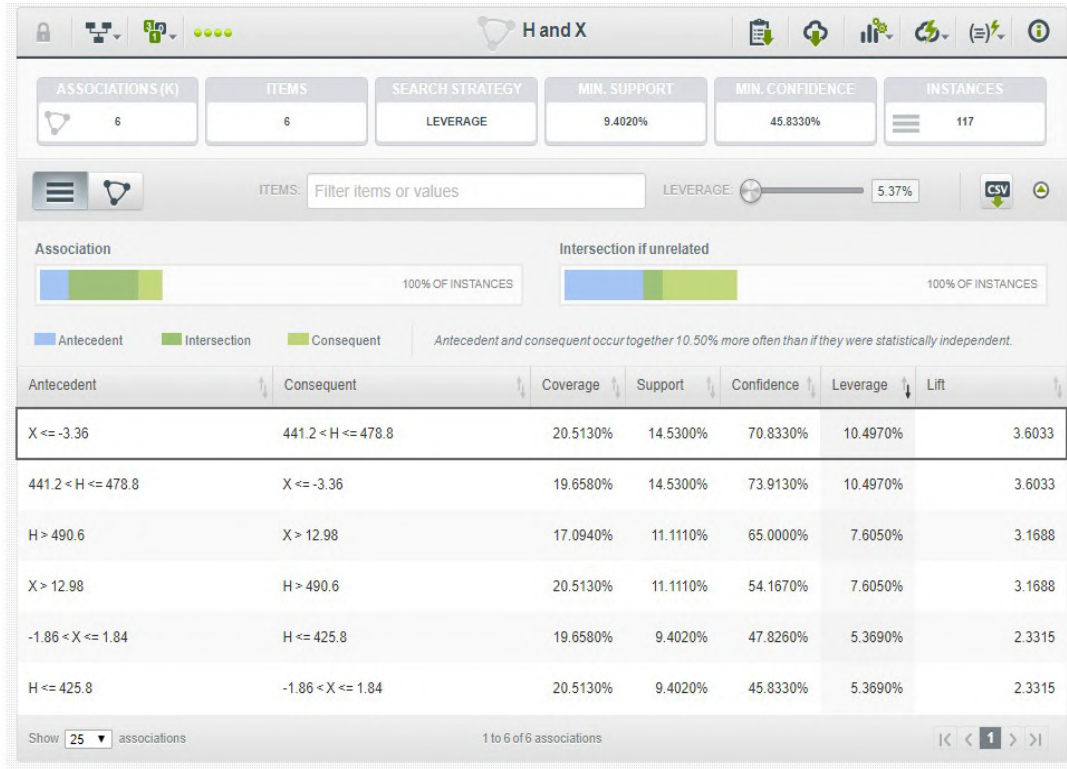
ასევე, დათვლია პროგნოზის ინტერვალები ალბათობით 0,95 Z ვერტიკალური მნიშვნელობისთვის, როცა წყლის დონე იცვლება. რაც ყველა წერტილისთვის იძლევა კანონზომიერების სახეს. საპროგნოზო მოდელი პასუხობობს წყლის კონკრეტული დონისთვის Z-ის მოსალოდნელ ინტერვალურ პროგნოზს (ნახ. 3).

შეიძლება დავასკვნათ, რომ წყლის დონესა და ვერტიკალურ გადაადგილებას (Z) შორის არის პირდაპირ პროპორციული დამოკიდებულება. როდესაც წყლის დონე მაქსიმუმია Z -ის მნიშვნელობაა 41 მკ 95% ალბათობით.



ნახ. 4

ნახ. 4-ზე შესწავლილია წყლის დონე H -სა და X გადაადგილებას შორის. როგორც ჩანს მათ შორის კორელაციური კავშირები უფრო დაბალია და პირსონის და სპირმანის გამოთვლებით აღწევს შესაბამისად 0,43 და 0,42-ს. როგორც ირკვევა კავშირი საკმაოდ სუსტია. ნახ.-დან ირკვევა, რომ ეს სუსტი დამოკიდებულება სტაციონარულია და არ იცვლება მთელი დაკვირვების სიგრძეზე.



ნახ. 5

ნახ. 5-ზე მოყვანილია წყლის დონის და ჰორიზონტალური X გადახრის ასოციაციური (არაწრფივი) კავშირები. სხვა სიტყვებით მონაცემთა გარკვეულ კლასტერებში იმეზნება ეპიზოდური, მაგრამ მაღალ კორელირებული კავშირები, სადაც პროგნოზის ხარისხი არანაკლებ 65% - 74% -ია.

დაკვირვებებში აღმოჩენილია ასოციაციური სამი ძირითადი სიმრავლური კავშირი, რომელიც არის ერთგვარი ფარული კანონზომიერება წყლის დონესა და X გადახრას შორის. სხვა სიტყვებით არსებობს ისეთი F ფუნქცია, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

$$\begin{aligned}
 F(441,2 < H \leq 478,8] &\rightarrow (X \leq -3.36) && \text{სანდოობა 71\%} && \text{დაფარვა 20.51\%} \\
 F(H > 490,6] &\rightarrow (X > 12.98) && \text{სანდოობა 73\%} && \text{დაფარვა 19.65\%} \\
 F(H \leq 425,8] &\rightarrow (-1,86 < X \leq 1.84) && \text{სანდოობა 73\%} && \text{დაფარვა 19.65\%}
 \end{aligned}$$

აქ მოყვანილი მონაცემთა საერთო მოცულობის 60%-ია. დარჩენილ 40% მონაცემები ცალკე კვლევის საგანია.

ენგურჰესის კაშხლის მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე ნაპრალში მიმდინარე პროცესების შესწავლა ორკოორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის წინასწარი მონაცემების საფუძველზე

თ. ჭელიძე, ჯ. ქირია, თ. ცაგურია, თ. ქირია, ნ. დოვგალი, ლ. დავითაშვილი

რეზიუმე

ნაშრომში განხილულია ენგურჰესის კაშხლის მარჯვენა ფრთის ძირში გამავალი ნაპრალის ჰორიზონტალური (x) და ვერტიკალური (Z) მოძრაობის ამსახველი დაკვირვების მასალები. დადგენილია წყლის დონესა და ვერტიკალურ გადაადგილებას (Z) შორის არის პირდაპირ პროპორციული დამოკიდებულება. როდესაც წყლის დონე მაქსიმუმია Z -ის მნიშვნელობაა 41 მკ 95% ალბათობით. ასევე შესწავლილია წყლის დონის და ჰორიზონტალური X გადახრის ასოციაციური-სიმრავლური (არაწრფივი) კავშირები.

Изучение процессов, протекающих в разломе расположенном на правом берегу Ингури ГЭС, на основе предварительных данных двух координатного лазерного экстензометра

Т. Челидзе, Дж. К. Кириа, Т. А. Цагурия, Т. В. Кириа, Н. Д. Довгаль, Л. А. Давиташвили

Реферат

В статье рассматриваются материалы наблюдений, отражающих горизонтальное (X) и вертикальное (z) движения в разломе, проходящем на дне правого крыла плотины Ингури.

Установлено, что между уровнем воды и вертикальным перемещением существует прямопропорциональная зависимость. Также изучены ассоциативные – множественные связи между уровнем воды и горизонтальным отклонением X.

The Study of the Processes in the Fault on the Right Bank of the Enguri Dam on the Basis of the Preliminary Data Obtained by Biaxial Laser Extensometer

T. Chelidze, J. Kiria, T. Tsaguria, T. Kiria, N. Dovgal, L. Davitashvili

Abstract

The work considers the observation materials on the horizontal (x) and vertical (z) movements in the fault on the right bank of the Enguri Dam. We determined that there is a direct proportionality between the water level and vertical movement (z). When the water level is maximal the value of z is 41micron in 95% probability. We also studied the associative- multiple (nonlinear) relationships between the water level and horizontal x tilts.

ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის სამხრეთი ტერიტორიის დაფარული არქეოლოგიური ძეგლების გეორადიოლოკაციური ძიების შედეგები

დ. ოდილაგაძე, თ. ჭელიძე, ნ. ლლონტი, ჯ. ქირია, ო. იავოლოვსკაია, ა. თარხნიშვილი

მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

შესავალი

2016 წ. ოქტომბერში, ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის ეზოს გალავანის შიდა ტერიტორიის სამხრეთ ნაწილში ჩატარდა არქეოგეორადიოლოკაციური სამუშაოები თსუ მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური სექტორის თაოსნობით.

სამუშაო მიზნად ისახავდა ტერიტორიის სამხრეთის მხარეს მიმდინარე არქეოლოგიური კვლევებისთვის შემდგომი პერსპექტიული საკვლევი უბნის საზღვრების დადგენა-შემოფარგვლას. გეორადიოლოკაციური სამუშაოების საფუძველზე, შემდგომში ჩატარებულმა არქეოლოგიურმა სამუშაოებმა ნაყოფიერი შედეგი გამოიღო: გათხრებმა დაადატურა რადაროგრამებზე გამოკვეთილი არქეოლოგიური ობიექტების რეალურად არსებობა, მათი ლოკაცია და სტრუქტურა.

მასალები და მეთოდები

გეორადიოლოკაციური სამუშაოები შესრულდა გეორადარ „ზონდ-12ე“ და მისი საშტატო ანტენების (ეკრანირებული 500, 300 მჰც და 150 მჰც დიპოლური) გამოყენებით. მონაცემები მიღებული და დამუშავებულ იქნა საშტატო პროგრამული უზრუნველყოფის „პრიზმ2.5“- ის და „ვოქსლერ 3D“ გამოყენებით. გეორადიოლოკაციის მეთოდი ახლოქვეზედაპირული კვლევებისთვის (1,2,3,4,5), გეორადიოლოკაციური ფიზიკური მოდელირება და მისი შედეგები სხვადასხვა რადიოსახის მქონე ობიექტებისთვის გამოიყენება რიგი ავტორების მიერ (6,7,8,9,10,11).

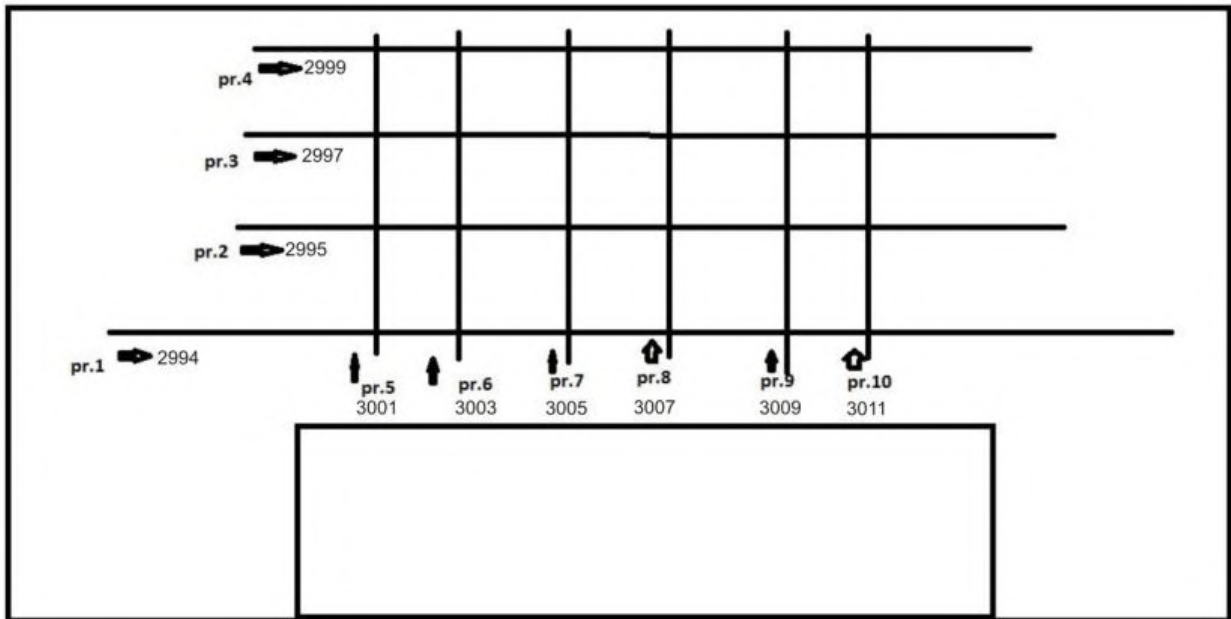
„ვოქსლერ-3D“/Voxler-3D გამოიყენება გეოფიზიკასა და გეოლოგიაში. გეორადიოლოკაციური მონაცემები, დამუშავებული პროგრამული უზრუნველყოფით „პრიზმ2.5“/„Prism 2.5“, ნათელი სიცხადით წარმოჩინდება 3D- განზომილებაში, Voxler- ის მოდელირების 3D საშუალებებით. „ვოქსლერი“-მრავალ კომპონენტის მონაცემების ვიზუალიზაციით გეოლოგიურ და გეოფიზიკურ მოდელებზე ხაზს უსვამს გეორადიოლოკაციურად მნიშვნელოვან ინფორმაციას, რასაც ვუკავშირებთ არქეოლოგიურ ინფორმაციას სამ განზომილებაში.

Golden Software Voxler - ეს არის სამგანზომილებიანი მონაცემების გეოფიზიკური წარმოდგენის ინოვაციური საშუალება. პროგრამა სხვადასხვა წყაროებიდან მონაცემების იმპორტირებისა და მონაცემებს შორის რთული ურთიერთდამოკიდებულებების გამომწვევი მაღალხარისხოვანი გრაფიკების შექმნის საშუალებას იძლევა. Golden Software Voxler წარმოადგენს მრავალფუნქციურ გრაფიკულ გარემოს ნებისმიერი სირთულის მოდელებისა და

მონაცემების დასამუშავებლად. მოხერხებული ინტერფეისი უზრუნველყოფს სწრაფ ვიზუალიზაციას, შეფასებას, მონაცემების გამოკვლევასა და შემოწმებას.

Voxler 3D პროგრამის საშუალებით ჩვენ ავაგეთ გეორადარული მონაცემების სამგანზომილებიანი (3D კუბ) გამოსახულება. ამისათვის ყველა აუცილებელი პროფილი უნდა იყოს იდენტური რაოდენობისა და ათვლის წერტილის მიხედვით. ამდენად აუცილებელია წინასწარ მოვამზადოთ პროფილები პროგრამაში „Prizm2.5” შევასრულებთ რა 3D დაყვანის ოპციას.

გეორადიორლოკაციური საკვლევი ტერიტორია, არქეოლოგიის ინტერესებიდან გამომდინარე, დაიყო 10 პროფილად, აქედან 4 პროფილი გასდევდა ტაძარის სიგრძის პარალელურად და 6 პროფილი კი მათ კვეთდა. განხილვის დროს შემოვიფარგლებით პირველი ოთხი პარალელური 500მმ-ის სიხშირის გეორადიორლოკაციური პროფილის მონაცემების შედეგებითა და დისკუსიით.

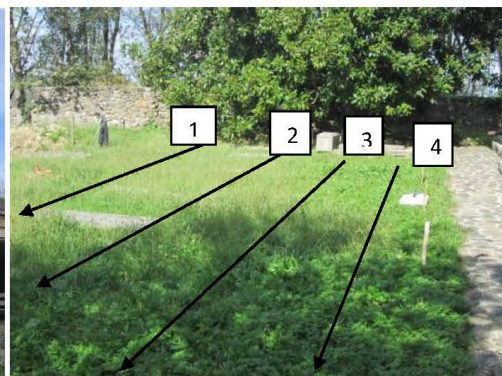


სქემა-1. სქემაზე დატანილია პროფილები მონასტრის (მართკუთხედი) ეზოს მხარეს და გალავანს შორის ტერიტორიაზე, სადაც შემდგომში ჩატარდა არქეოლოგიური გათხრები.

ფოტოებზე- ა,ბ.გ.დ წარმოდგენილია საკვლევი ტერიტორიის ფოტოები სხვადასხვ რაკურსით, არქეოლოგიურ გათხრებამდე.



ფოტო1-ა



ფოტო1- ბ.



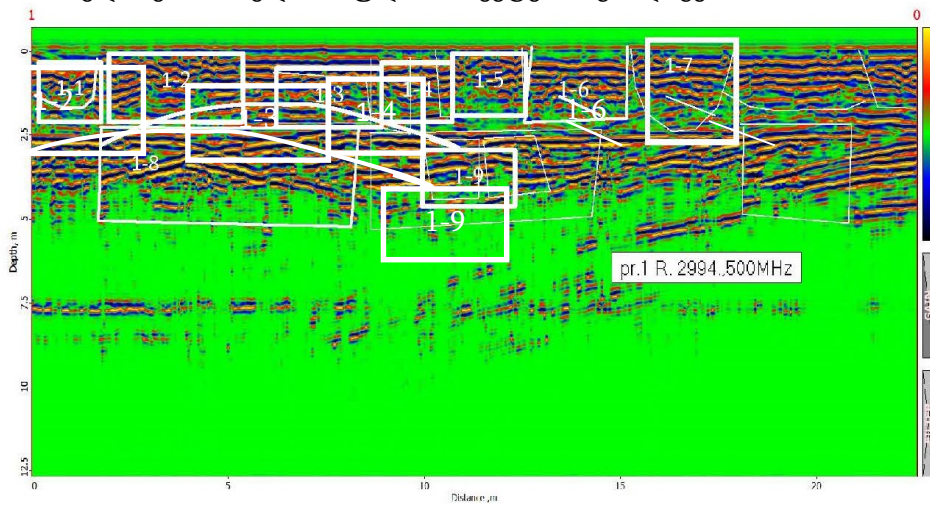
ფოტო1- გ.

ფოტო1-დ.

შედეგები და დისკუსია

ორგანზომილებიანი ინტერპრეტაცია

წარმოვადგენთ პირველ ოთხ პროფილზე გეორადარ „ზონდ 12 ე“ -ს საშტატო მიმღებ-გადამცემი ეკრანირებული 500 მჰც-იანი ანტენით მიღებულ გეორადარულ პროფილებს. ამ სიხშირეზე ჩაწვდომის სიღრმე არქეოლოგიის ინტერესებიდან გამომდინარე ძირითადად შემოიფარგლა 7-8მ ის საზღვრებით. 500მჰც ანტენა საშუალებას იძლევა უფრო დეტალურად წარმოვადგინოთ შედარებით ზედაპირული ობიექტების განლაგება.

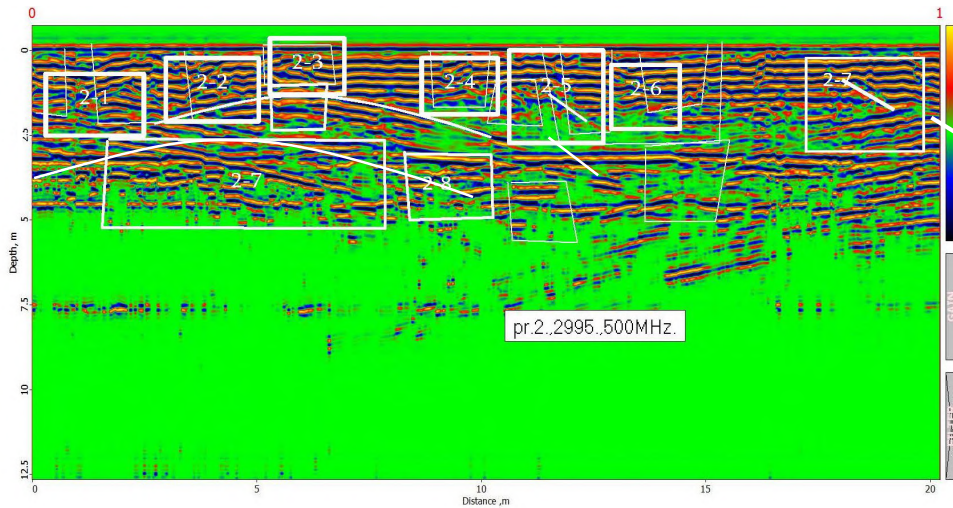


ნახ.1. წარმოდგენილია პროფილ-1-ზე, შესრულებული გეორადაროგრამა მიმღებ-გადამცემი 500 მჰც სიხშირის ეკრანირებული ანტენით. პროფილის სიგრძე - 23 მ.

ნახ.1 წარმოდგენილია პროფილი-1, რომელზედაც იკითხება ორი გარემო, ზედა დაახლოებით 2.5 მ სიმძლავრით და ქვემოთა გარემო ზედა საზღვრით 2.5 მ-დან, სიღრმით დაახლოებით 7 მეტრამდე. პირველი გეორადიოლოკაციური ფენა შეიცავს რიგი ობიექტების რადიოსახეებს, რომლებიც იდენტიფიცირდებიან, როგორც მიწისქვეშ განთავსებული ობიექტები [1 - 10].

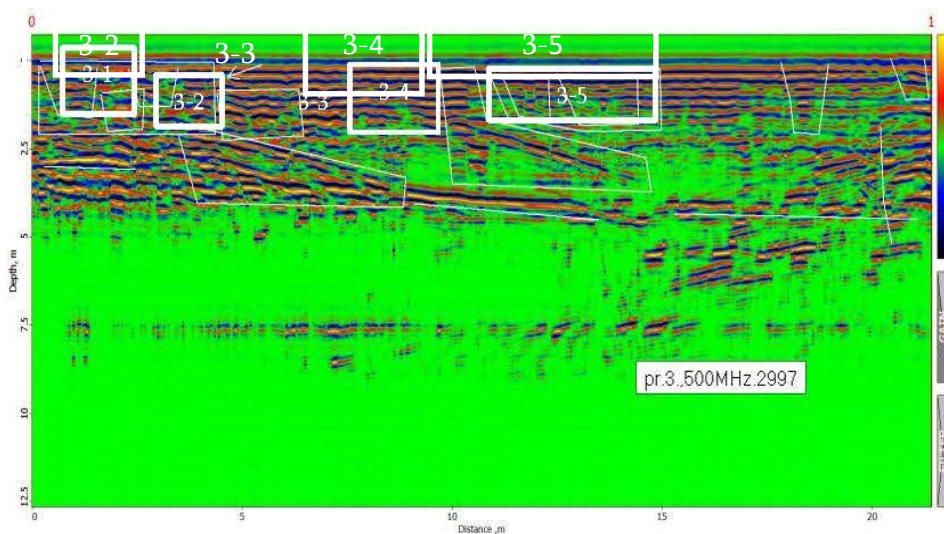
პირველ ფენში წარმოდგენილი ობიექტების რადიოსახეები შეესაბამებიან პარალელური ზედაპირებით შემოსაზღვრულ და გამოყოფილ სიღრუვეებს (რადიოსახე ე.წ. „ბოუ-თაი“), ისინი მონიშნულნი არიან თეთრი წირებით(1,1-1,1-2,1-3,1-4,1-5), ხოლო 1-6 და 1-7, „კიბის“ ტიპის

ობიექტის რადიოსახეუბია. „თაღვანი გადაფარვა“ ან ბორცვის ტიპის გეოლოგიური სხეულის შემოსვლა- მონიშნულია თეთრი წირით, სიღრმეზე-2-2.5 მ, დისტანციებისთვის 2-12 მ. მეორე ფენში ნათლად იკითხება კედლის ფუნდამენტის ნარჩენებით შემოსაზღვრული სიღრუვის რადიოსახე 1-8 ცენტრით 5 მ დისტანციაზე. ასევე შემოსაზღვრება სავარაუდო სხვადასხვა გაბარიტის სიღრუვეები (მკრთალად მონიშნული) .

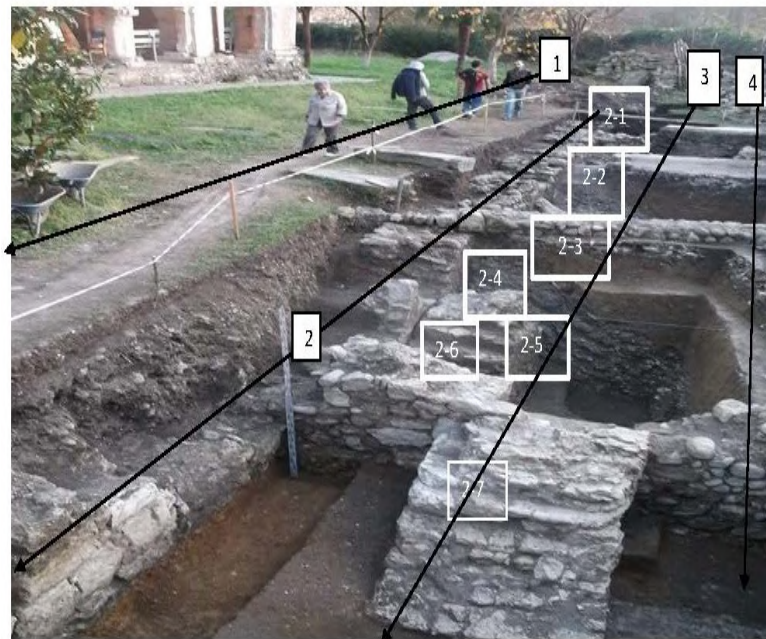


ნახ.2. წარმოდგენილია პროფილ 2-ზე შესრულებული გეორადაროგრამა მიმღებ-გადამცემი 500 მჰც სიხშირის ეკრანირებული ანტენით, პროფილის სიგრძე -20 მ.

გეორადარული პროფილი-2 (ნახ.2) ნათლად უჩვენებს პირველ პროფილზე გამოვლენილი ობიექტების რადიოსახეუბის გაგრძელების არსებობას მეორე პროფილზე. განსაკუთრებით აღსანიშნავია დისტანცია 5მ ცენტრით დაფიქსირებული, კედლების ფუნდამენტით შემოსაზღვრული დიდი ზომის არქეოლოგიური ობიექტის არსებობა 1-6, 2-6 -ზე . მეტ-ნაკლები მკაფიოობით ფიქსირდება 2-1,2-2,2-3,2-4 სიღრუვეები, „კიბე“ 2-5, 2-7 და თაღური ტიპის გადაფარვის (განსხვავებული მასალის გადამფარავი) ნიშნების მქონე ობიექტის სიღრმე-2-2.5მ , დისტანცია 3-11მ, მონიშნულია თეთრი წირით.



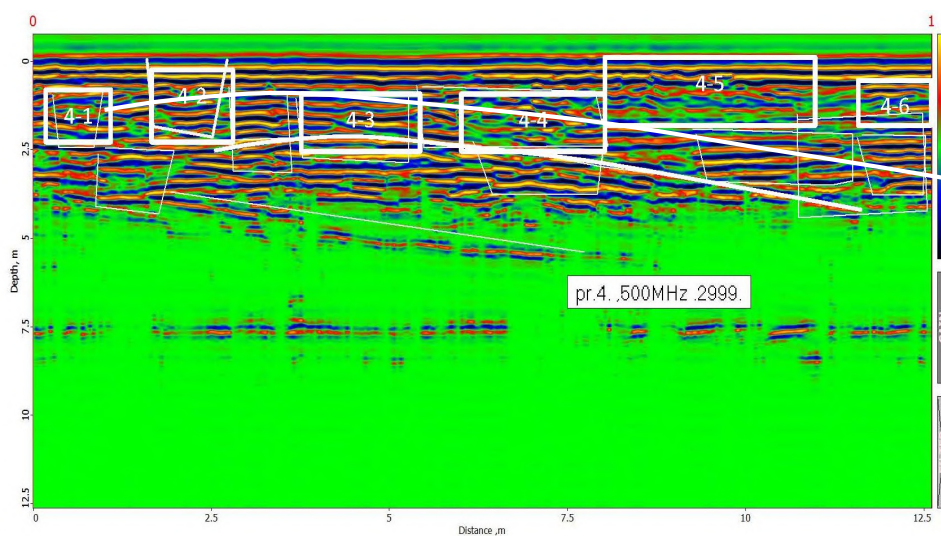
ნახ.3.-ზე წარმოდგენილია პროფილ-3 (სიგრძე-20მ) შესრულებული გეორადაროგრამა მიმღებ-გადამცემი 500 მჰც სიხშირის ეკრანირებული ანტენით, ნომრები:3-1,3-2,3-3,3-4,3-5.



ნახ.4 არქეოლოგიური გათხრების ფოტო. პროფილ-2 გასწვრივ ჩატარებული გათხრების შედეგი ფოტო მასალაზე 2-1, 2-2, 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7.

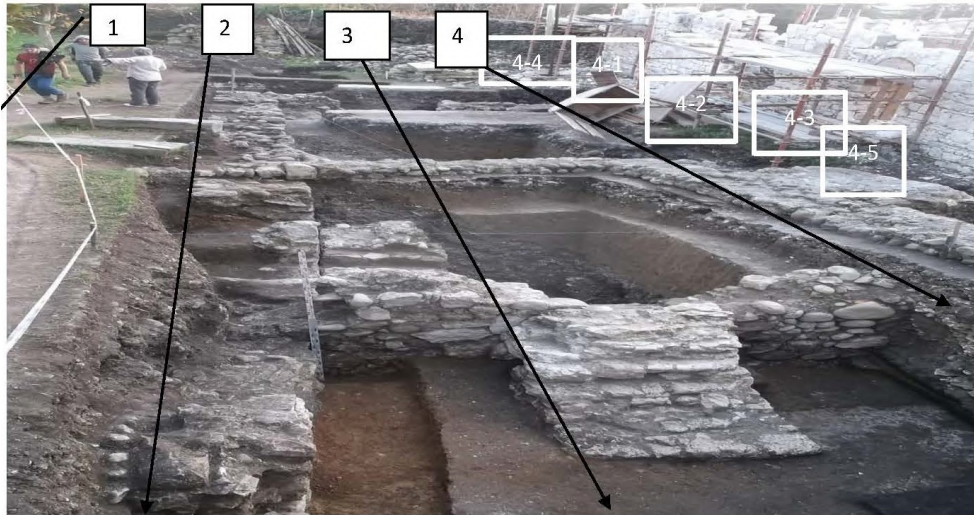
პროფ1, 2, 3 -ზე აღმოჩენილი ანომალიები შემდგომში დადასტურდა გათხრებით ნახ.4-ზე როგორც ჩამოშლილი კედლის ნაწილი 2-1 და კიბეები 1-6, 1-7, ასევე 10 -15 მ დისტანციებზე არსებული 2-5, 2-7 კიბე. რადაროგრამაზე დანარჩენი მონიშნული ობიექტები 2-3, 2-4 2-5, კედლების ფუნდამენტების ნარჩენები სრულიად დაემთხვა გათხრების შედეგებს. კედლების, ფუნდამენტის ნარჩენები გამოირჩევიან პარაბოლის (მომვლების) ტიპის დიფრაგირებული ტალღის რადიოსახით ხოლო მათ შორის ერთგვაროვანი სივრცე მონიშნება როგორც „ბოლ-თაი“ (ორმო) ტიპის რადიოსახე. კიბეებს შეესაბამება კიბის დამრეცობის და მომვლების ტიპის შერეული სინფაზურობის ღერძების რადიოსახე, როდესაც კიბის ქვეშ სიცარიელაა ის კიდევ ართულებს სურათს და უმატებს მცირე ბოლ-თაის შესაბამის რადიოსახეს.

პროფ-3 ზე მონიშნულია მიწისქვეშა განთავსების ობიექტების რადიოსახეები (ნახ.3). ამათგან პროფ. 1,2 -ზე დაფიქსირებული ობიექტის რადიოსახე ცენტრით 5 მ ნაწილობრივ შეცვლილია, სავარაუდოდ ჩამოშლის შედეგად.

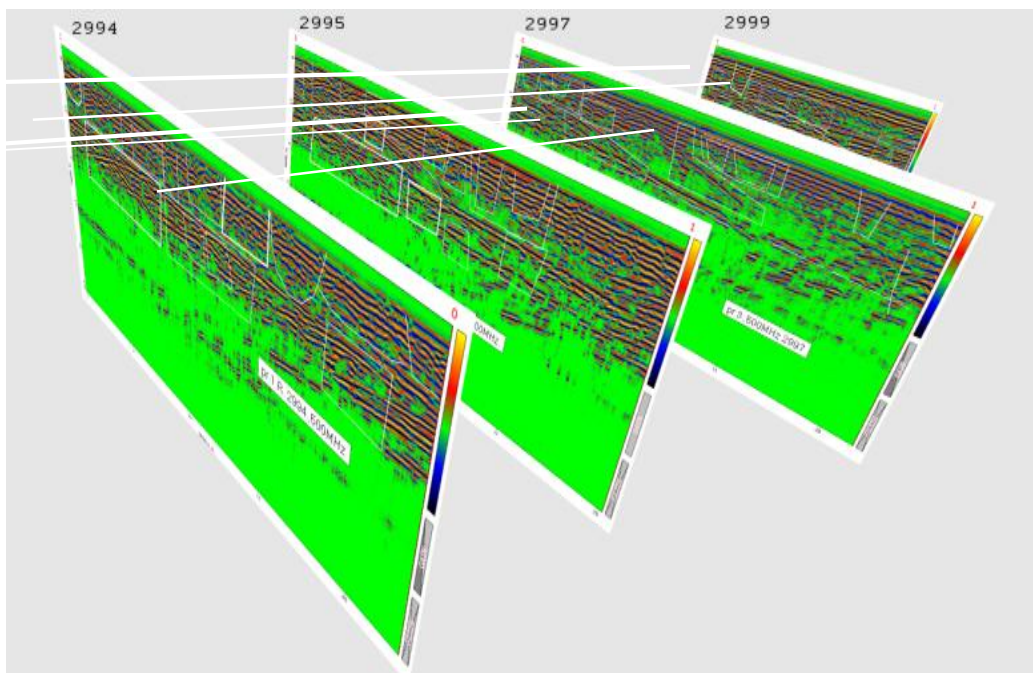


ნახ.5.-ზე წარმოდგენილია პროფილ-4 (სიგრძე-12.5მ) შესრულებული გეორადაროგრამა მიმღებ-გადამცემი 500 მჰც სიხშირის ეკრანირებული ანტენით გამოიყო ანომალიები, ნომრები: 4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5, 4-6.

პროფ- 4 ზე მონიშნულია მიწისქვეშა განთავსების ობიექტების რადიოსახეები, რიგი მათგანი ფიქსირდება პროფ.3-ზე (4-1, 4-2, 4-3, 4-4, 4-5).

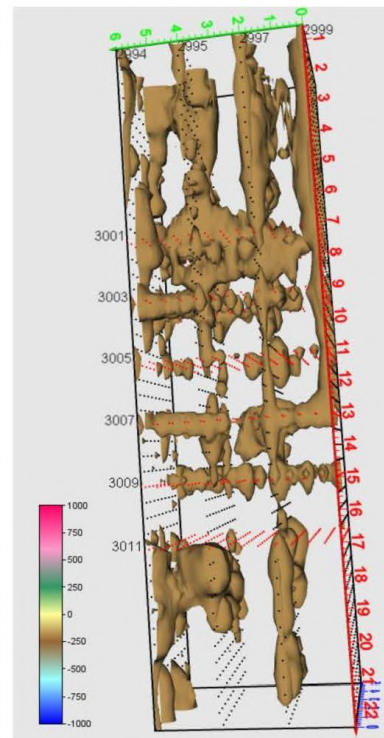
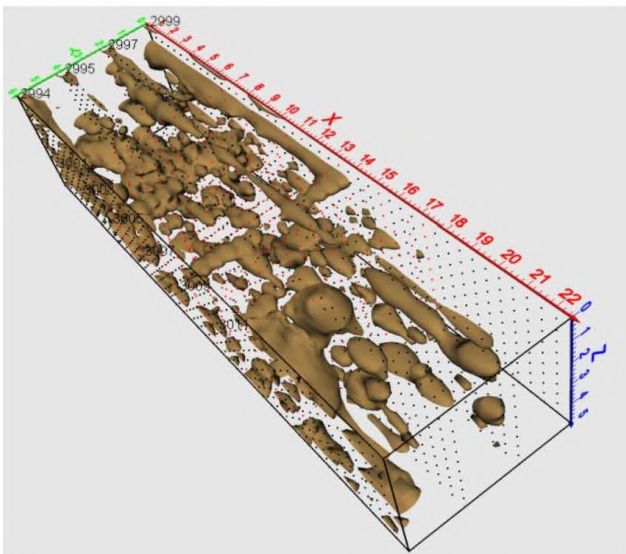
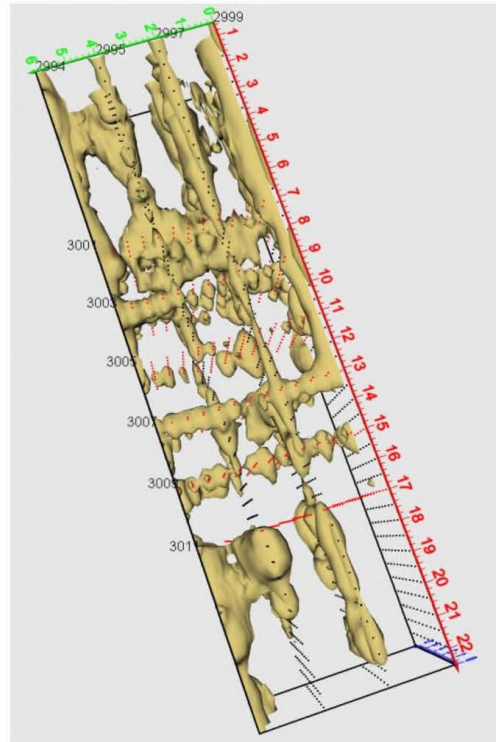


ნახ.5. გათხრები გატარდა პროფ.4-ის გასწვრივ. რადაროგრამა ნახ.4-ზე წარმოდგენილი და ფოტო ნახ.5 ზე სრულიად ადასტურებს გეორადიოლოკაციური კვლევის შედეგებს. ანომალიათა ნომრები 4-1, 4-2,4-3,4-4,4-5. მეტი თვალსაჩინოებისთვის მოგვყავს გეორადიოლოკაციური ჭრილების 1,2,3,4 გაერთიანებული პროფილები.



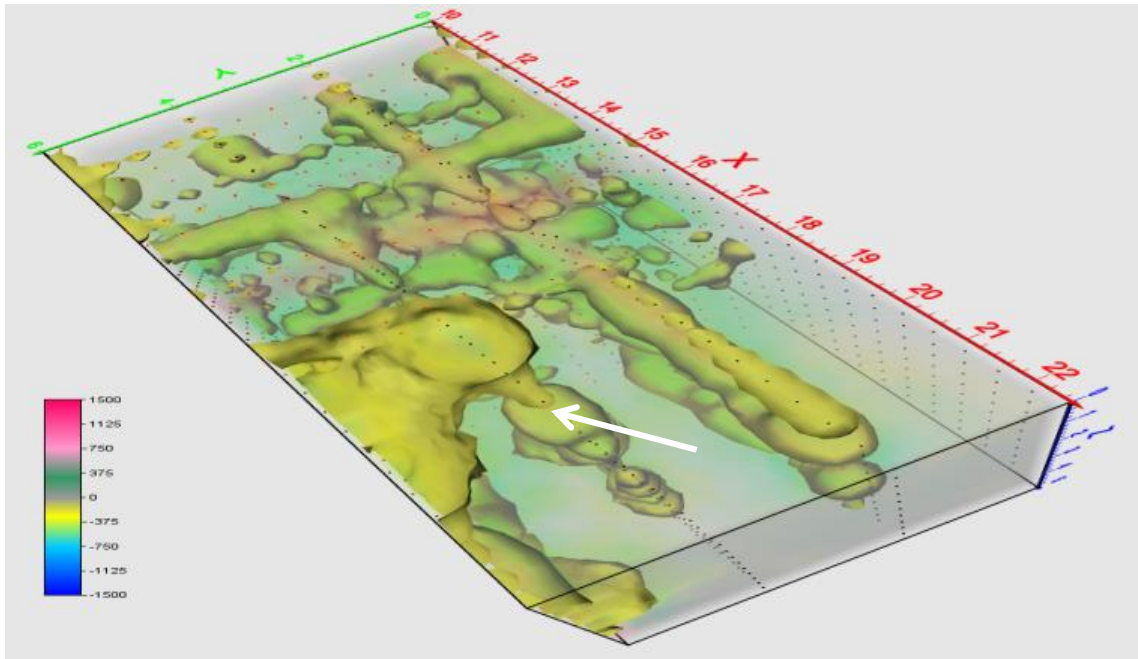
ნახ.6 გრძივად ტაძრის პარალელური პროფილები (1, 2, 3, 4) 500 მჰც სიხშირის ანტენისთვის, ჩანს ობიექტების რადიოსახეების განგრძობა მომდევნო პარალელურ პროფილებზე (გამოყენებულია პროგრამული უზრუნველყოფა „ვოქსლერი“).

აქვე მოგვყავს იგივე უბნის 1,2,3,4 პროფილების სამ განზომილებიანი წარმოდგენა „ვოქსლერის პროგრამის გამოყენებით სხვადასხვა რაკურსში.



ნახ.7, არქეოლოგიური გათხრების ფოტოგრაფია და სიგრძივი პარალელური პროფ-1,2,3,4 პროფილების პროგრამული უზრუნველყოფა „პრიზმ 2.5“ და „ვოქსლერით“ დამუშავების შედეგად მიღებული 3-დ რადიოსახეების გამოსახულება. ლეგანდაზე მოტანილია და ჩვენს მიერ გამოყენებულია 500მ³ც ცენტრალური სიხშირის რადარის ელექტრომაგნიტური ტალღის ამპლიტუდის შერჩეული(უკეთესი ვიზუალიზაციისათვის) სეგმენტი (-500+500) ფარდობით ერთეულებში.

აქვე მოგვყავს პროფილების სიგრძის მეათე მეტრიდან დაწყებული სამგანზომილებიანი ნაწილი, სადაც მკაფიოდ იკვეთება კიბის რადიოსახე (მითითებულია ისრით) და მიმდებარე ობიექტების რადიოსახეები 5მ სიღრმეებამდე.



ნახ.8,ოთხი პროფილის მიერ, მე 10- მეტრიდან დაწყებული მიწის ახლოქვედაპირული განლაგების ობიექტების რადიოსახეები (მონიშნული ფრაგმენტის უკეთესი წარმოჩენით). ლეგენდაზე დატანილია 500მ³ც ცენტრალური სიხშირის ტალღისთვის შერჩეული ამპლიტუდების სეგმენტით შემოსზღვრული (-500+500) ფარდობით ერთეულებში.

არქეოლოგიური გათხრების შედეგების შედარებით გეორადიოლოკაციურ კვლევებთან დადასტურდა მათი ურთიერთ შესაბამისობა.

დასკვნა: ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის სამხრეთ ტერიტორიის გეორადიოლოკაციური დაზვერვითი სამუშაოს შედეგების ორ და სამგანზომილებიანი სივრცული ინტერპრეტაციის მიხედვით შესრულებულმა არქეოლოგიურმა კვლევებმა ფოტოგრაფიულად დადასტურეს რადაროგრამებზე გამოკვეთილი სავარაუდო ობიექტების რეალურად არსებობა , მათი ლოკაცია და მათი რაობა.

ლიტერატურა

1. Bigman D. 2018. GPR Basics. Bigman Geophysicsl, LCC, Suwanee, USA
2. Одилавадзе Д.Т., Челидзе Т.Л., Глonti Н.Я., Кирия Д.К., Тархнишвили А.Г. Физическое моделирование модели типа, слоистый клин” в прямых и обратных задачах георадиолокации, 2018.

3. Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Physical modeling of lava tubes in the GPR. Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXVII; ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2017, pp. 129-142.
4. Odilavadze D., Chelidze T., Tskhvediasvili G. Georadiolocation physical modeling for disk-shaped voids. JOURNAL OF THE GEORGIAN GEOPHYSICAL SOCIETY, , PHYSICS OF SOLID EARTH, Vol 18, 2015.
5. Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Физическое моделирование георадиолокационного поля в прямой и обратной задачах электродинамики .Geophysical Journal, V.35, № 4, 2013, (in Russian).
6. Chelidze T., Odilavadze D., Pitskhelauri K. Archaeogeophysics in Georgia-New Results, New Prospects. Proceedings of the Georgian National Academy of Sciences, Series of History, Archeology, Ethnology and Art History, № 1, 2012.
7. Odilavadze D.T., Chelidze T.L. A Preliminary GPR investigation of Metekhi Cathedral and the surrounding area. Journal of the Georgian Geophysical Society, № 14, 2011.
8. Neal A. Ground-Penetrating Radar and its Use in Sedimentology: Principles, Problems and Progress Earth-Sci. Rev., 66, 2004, 261—330.
9. Negi J. G., Gupta C. P. Models in Applied Geoelectromagnetics // Earth Sci. Rev., 1968, pp 219—241.
10. Sena D’Anna A. R. Modeling and Imaging of Ground Penetrating Radar Data. — Texas: The University of Exas at Austin, 2004, 251 p. (repositories. Lib.Utexas. edu).
11. Sharma P.V. Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის სამხრეთი ტერიტორიის დაფარული არქეოლოგიური ძეგლების გეორადიოლოკაციური ძიების შედეგები

დ.ოდიავაძე, თ. ჭელიძე, ნ.ლლონტი, ჯ. ქირია, ო.იავოლოვსკაია, ა.თარხნიშვილი

რეზიუმე

თსუ გეოფიზიკის ინსტიტუტის გამოყენებითი და ექსპერიმენტალური სექტორის თაოსნობით, ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის გალავანის შიდა ტერიტორიის სამხრეთ ნაწილში ჩატარდა არქეოგეორადიოლოკაციური სამუშაოები. გეორადიოლოკაციური სამუშაო მიზნად ისახავდა ტერიტორიის სამხრეთის მხარეს არქეოლოგიური კვლევებისთვის პერსპექტიული საკვლევი უბნის საზღვრების დადგენა- შემოფარგვლას.

ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის სამხრეთ ტერიტორიის გეორადიოლოკაციური პროფილების, დაფიქსირებული რადიოსახეების ორ და სამგანზომილებიანი სივრცული ინტერპრეტაციის მიხედვით შემოიფარგლა პერსპექტიული უბანი. აღნიშნულ უბანზე შესრულებულმა არქეოლოგიურმა კვლევებმა ფოტოგრაფიულად დაადასტურეს რადაროგრამებზე გამოკვეთილი სავარაუდო ობიექტების რეალურად არსებობა, მათი ლოკაცია და მათი რაობა.

Результаты георадиолокационных поисков погребенных археологических памятников на южной территории Хобского монастыря Успения Пресвятой Богородицы

Д. Одилавадзе, Т. Челидзе, Н. Глонти, Дж. Кириа, О. Яволовская, А. Тархнишвили

Реферат

Под руководством сектора Экспериментальной и Разведочной геофизики Института геофизики ТГУ проводились археогеорадиолокационные исследования южной части территории Хобского монастыря Успения Пресвятой Богородицы. Георадиолокационная работа была направлена на выявление и оконтуривание предполагаемого перспективного места для археологических исследований на южной стороне внешней территории Монастыря.

Выделенная область была ограничена георадиолокационными профилями территории монастыря Успения Пресвятой Богородицы. Георадиолокационные данные представлены двух и трёх-мерной пространственной интерпретацией записанных профильных георадиоизображений. Археологические раскопки, проведенные на месте, подтвердили фактическое наличие предполагаемых объектов, выявленных на интерпретированных радарограммах, их местонахождение и соответствие образа оригиналу.

Results of GPR Survey of Buried Archaeological Objects on the Southern Part of Territory of the Blessed Virgin Mary Assumption Khobi Monastery

D. Odilavadze, T. Chelidze, N. Ghlonti, J. Qiria, O. Iavolovskaia, A. Tarkhnishvili

Abstract

Under the leadership of the Experimental and Field Geophysics sectors of the Institute of Geophysics, TSU, archaeogeoradiological studies were conducted in the southern part of the territory of the Blessed Virgin Mary Assumption Khobi Monastery. GPR work was aimed at identifying and outlining the promising places for archaeological research on the southern part of the monastery's outer territory.

The selected area was limited by georadar profiles of the territory of the monastery. We present by two and three-dimensional spatial interpretation of the recorded GPR profile images. Archaeological trenching conducted on the spot confirmed the presence of the alleged objects on the interpreted georadar recordings. The location and depth of georadar images correspond to these of the excavated buried objects.

ახლო ქვეზედაპირული განთავსების, აგრესიულ ნივთიერებათა შემცველი სამარხ/საცავთა მონიტორინგი სეისმოაქტიურ ტერიტორიაზე

დ. ოდილავაძე, ნ. ლლონტი, ა. თარხნიშვილი, ამილახვარი, გ.ჯაში

მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

შესავალი

საქართველოს რესპუბლიკის საბჭოთა კავშირის შემადგენლობაში ყოფნის დროს, საქართველოს ტერიტორიაზე ხორციელდებოდა სპეციფიკური საკვლევი და საწარმოო დანიშნულების სამუშაოები, რომელთა შედეგად წარმოიშობოდა ადამიანის ჯანმრთელობისათვის მავნე ნივთიერებებით დაბინძურებული საგნები, მასალები და სხვა. ვინაიდან დაბინძურებული ობიექტები მოითხოვდნენ უტილიზაციასა თუ დასაწყობებას, შეიქმნა გარემო სივრცისაგან მათი უსაფრთხოდ გამოყოფისათვის დამცავი ნაგებობები. ასეთი ნაგებობებისათვის **გამოიყენებოდა დაცული ტერიტორიები, მათ შორის ყოფილი საბჭოთა სამხედრო ბაზების შემოღობილი სივრცეები**. საცავთა ფორმა და დანიშნულება იყო სხვადასხვა საჭიროების, როგორც მყარი, ასევე, თხევად მასალათა თუ მათგან დაბინძურებული საგნების დასაწყობებისათვის. მსგავს სიტუაციასთან მოგვიხდა შეხება აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ერთ-ერთი ყოფილი სჭოთა სამხედრო ბაზის საზღვრებში მყოფი სამარხ/საცავის მონიტორინგის დროს. მყარი ნარჩენების დასაწყობებისთვის გამიზნული მიწისქვეშა ნაგებობისთვის ჩატარებული გეოფიზიკური/გეოელექტრული კვლევებიდან მოგვყავს გეორადიოლოკაციური [1-3] არაინვაზიური მეთოდით შესრულებული სამუშაოს შედეგების ნაწილი.

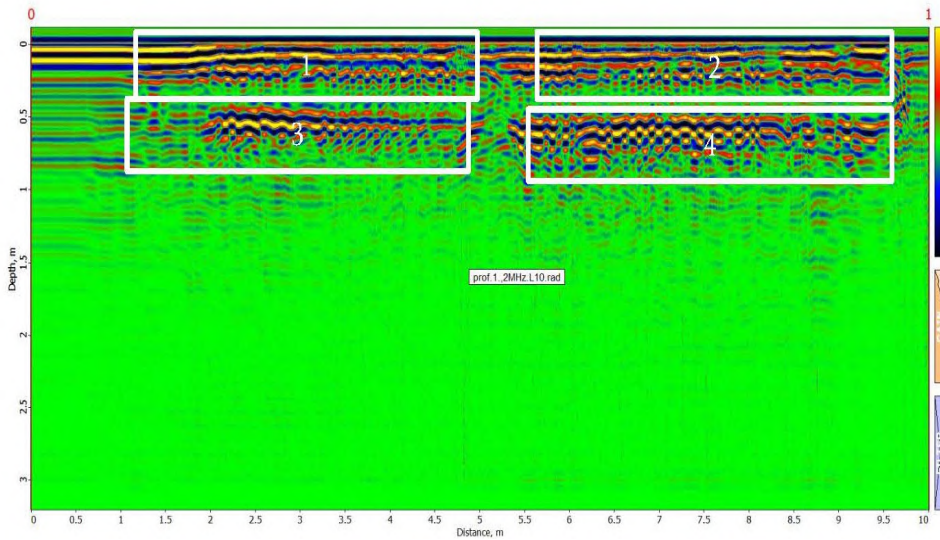
მასალები და მეთოდები

ახლო ქვეზედაპირული განთავსების სამარხი წარმოადგენს ბეტონის, 10-10 მეტრი სიგრძის სინკარის ტიპის ფილებით გადახურულ სივრცეს, შუაში ორი მხრიდან დაფენილს საყრდენ რიგელზე და პერიმეტრულად დაფუძნებულს ბეტონის ცოკოლზე.

სამარხის ნაგებობის სახურავის მთლიანობის გეორადიოლოკაციური კვლევისთვის [4,5,6,7] გამოყენებულ იქნა გეორადარი „ზონდ 12“ თავისი საშტატო ზემადალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, მონაცემების მიღება-დამუშავება მოხდა გეორადარის საშტატო პროგრამული უზრუნველყოფით „პრიზმ 2.5“ („Prizm 2.5“). ახლო ქვეზედაპირული განთავსების სამარხის მიწისპირა ბიტუმით/ფისით დაფარული ბეტონის ფილებისგან შემდგარ სახურავზე გატარებულ იქნა 10-10 მეტრი სიგრძის ექვსი გეორადიოლოკაციური პროფილი.

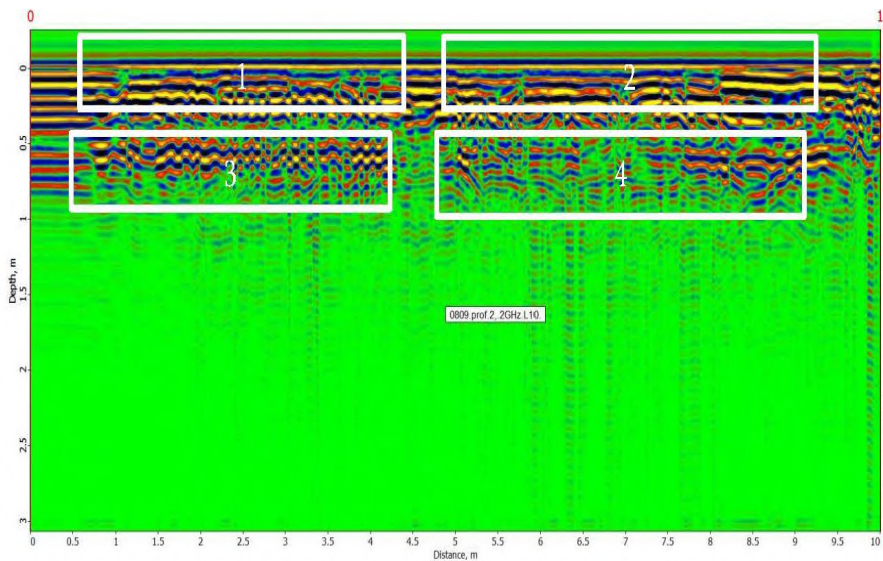
შედეგები და დისკუსია.

გეორადარული პროფილების მონაცემების დამუშავებისა და ინტერპრეტაციის შედეგად გამოიკვეთა საცავის სახურავის კონსტრუქციული სახე. კერძოდ, საცავის ნაგებობის გადაფარვა/სახურავი შედგება არმირებული ბეტონის ორი პარალელური ერთმანეთის მიმართ ვერტიკალურად განლაგებული ფილებისგან, რომელთა შუაში განთავსებული უნდა იყოს დამცავი მასალით შევსებული არე.



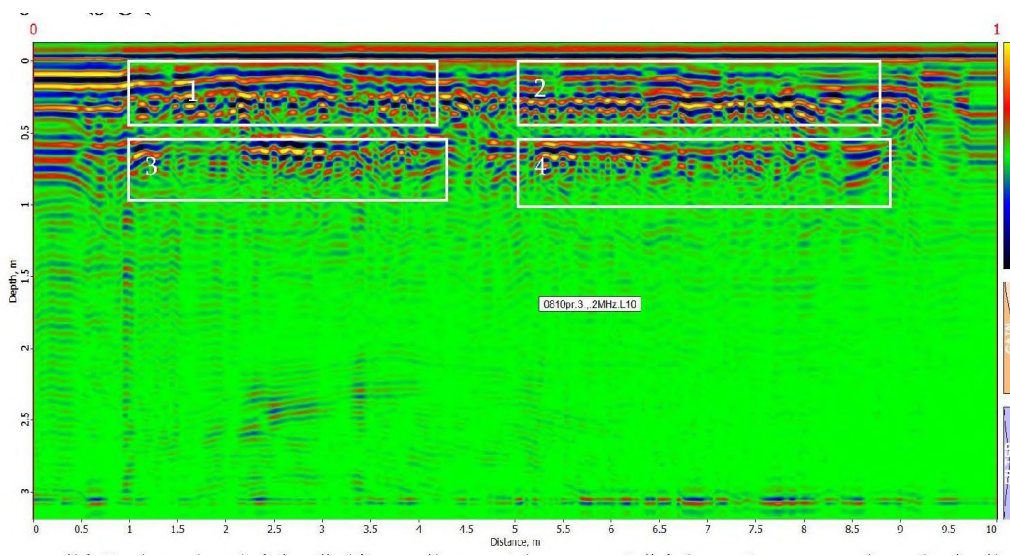
ნახ.1. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფილი-1 შესრულებული გეორადარ „ზონდ 12ე“, საშტატო ზემადალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, პროფილის სიგრძე -10 მ.

ნახ.1 წარმოდგენილი რადაროგრამიდან ნათლად იკვეთება, რომ სახურავი/გადაფარვა შედგება 10მ-იანი და ერთმანეთზე ვერტიკალურად განთავსებული არმირებული ფილების რადიოსახეებისგან. გამოვყავით ფილების მდებარეობა და შემოვაკონტურეთ მათი მარჯვენა და მარცხენა ნაწილები თეთრი მართკუთხედებით. სახეზეა ბეტონის დეზინტეგრაციის/დაშლის ნიშნები, რაც არღვევს ფილების მთლიანობას, მათ მონოლითურობას.



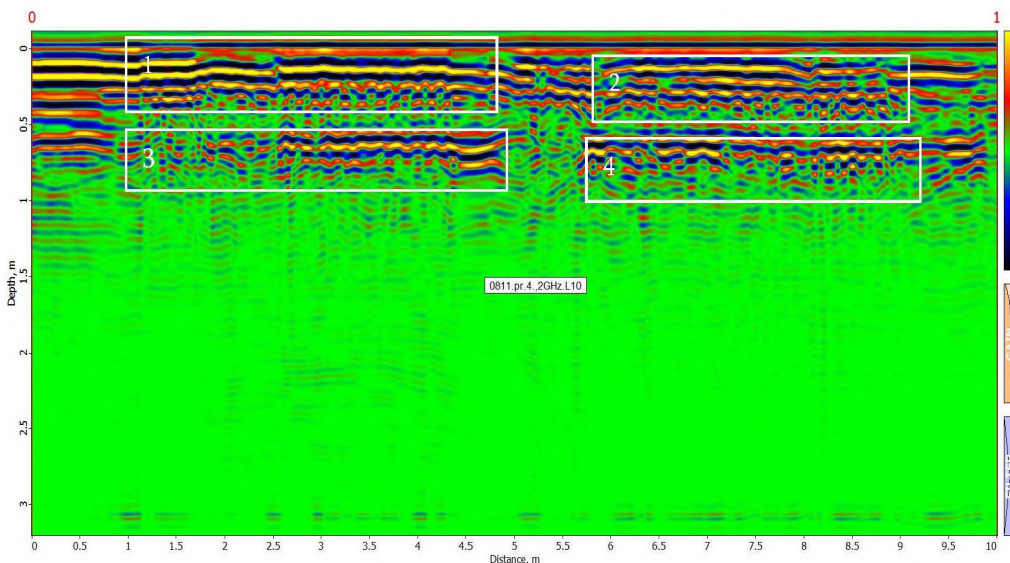
ნახ.2. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფილი-2 შესრულებული გეორადარ „ზონდ 12ე“, საშტატო ზემადალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, პროფილის სიგრძე -10 მ.

რადაროგრამაზე, პროფილ 2-ის დამუშავებისა და ინტერპრეტაციის შედეგად ორივე ფილის ოთხივე ნაწილი შემოკონტურებულია თეთრი მართკუთხედებით. პირველი ფილის 2 ნაწილში აღინიშნება ძაბრის ფორმის დაშლის სახის არსებობა 7მ დისტანციაზე, ამავე დროს, მეორე ფილის ნაწილი კონტური 4-ით შემოვარგლური ფილის მხარე ნახევრად დაშლილია 6 დან 8მ დისტანციების შესაბამის მონაკვეთზე, რაც შეიძლება მნიშვნელოვანი საფრთხის შემცველად იქნას აღქმული.



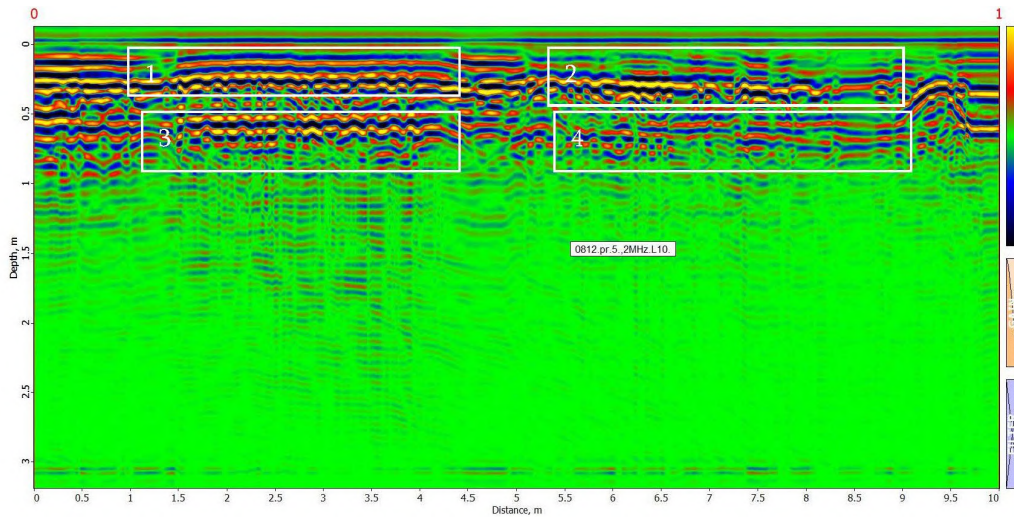
ნახ.3. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფილი-3 შესრულებული გეორადარ „ზონდ 12ე“, საშტატო ზემაღალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, პროფილის სიგრძე -10 მ.

რადაროგრამაზე, პროფილ 3-ის დამუშავებისა და ინტერპრეტაციის შედეგად ორივე ფილის ოთხივე ნაწილი შემოკონტურებულია თეთრი მართკუთხედებით. პირველი ფილის 1 ნაწილში 3.5მ დისტანციაზე, აღინიშნება ბეტონის მონოლითის განლევა. ამავე დროს, მეორე ფილის ნაწილი 3-ის დისტანციებისთვის 1.5-2.5 მ და 3.5-4.5 მ ბეტონი ნახევრად დაშლილია. ასევე ქვედა ფილის ნაწილი-4 მონიშნული კონტურის შიგნით 7.5-8.5 მ დისტანციებზე ბეტონი დაშლილია, რაც შეიძლება მნიშვნელოვანი საფრთხის შემცველად იქნას მიჩნეული.



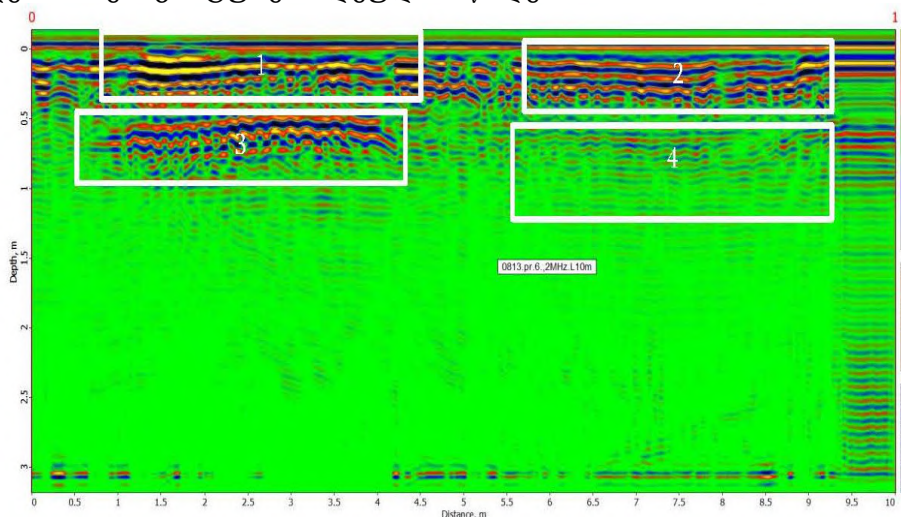
ნახ.4. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფილი-4 შესრულებული გეორადარ „ზონდ 12ე“, საშტატო ზემაღალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, პროფილის სიგრძე -10მ.

რადაროგრამაზე, პროფილ 4-ის დამუშავებისა და ინტერპრეტაციის შედეგად ორივე ფილის ოთხივე ნაწილი შემოკონტურებულია თეთრი მართკუთხედებით. ზედა ფილის 1 და 2 ნაწილები მეტ-ნაკლებად მდგრად მდგომარეობაშია. ქვედა ფილის ნაწილი 3 ნახევრად დეზინტეგრირებულია 1-2.5 მ დისტანციებზე, ხოლო ნაწილი 4 მნიშვნელოვნად განლეულია.



ნახ.5. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფილი-5 შესრულებული გეორადარ „ზონდ 12ე“, სამტატო ზემაღალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, პროფილის სიგრძე -10 მ.

რადაროგრამაზე, პროფილ 4-ის დამუშავებისა და ინტერპრეტაციის შედეგად ორივე ფილის ოთხივე ნაწილი შემოკონტურებულია თეთრი მართკუთხედებით. განსაკუთრებულ საშიშროებას ბეტონის განღვევის მხრივ წარმოადგენენ კონსტრუქციის 2 და 4 თეთრი მართკუთხედებით შემოკონტურებანლელი ნაწილები.



ნახ.6. რადაროგრამაზე წარმოდგენილია პროფილი-6 შესრულებული გეორადარ „ზონდ 12ე“, სამტატო ზემაღალი სიხშირის 2გჰც ანტენით, პროფილის სიგრძე 10 მ.

რადაროგრამაზე, პროფილ-6 დამუშავებისა და ინტერპრეტაციის შედეგად, ორივე ფილის ოთხივე ნაწილი შემოკონტურებულია თეთრი მართკუთხედებით. ამავე დროს, მეორე ფილის ნაწილი 4-ით შემოფარგლური მხარე სრულიად დაშლილია, რაც შეიძლება უაღრესად მნიშვნელოვანი საფრთხის შემცველად იქნას აღქმული.

დასკვნა:

მოტანილი პროფილების 1-6 ინტერპრეტაციის შედეგად დგინდება, რომ არმირებული ფილებისაგან ფორმირებული საცავის სახურავის გადამფარავი ბეტონის ფილები შეიცავენ დაშლილ და არათანაბრად განლაგებულ არმატურას; სახეზეა ბეტონის მონოლითის დაშლის მკაფიო ნიშნები, ხოლო პროფ 6-ის მიხედვით მეორე, ქვედა ფილის ნახევრის არსებობა

სრულებით არ აღინიშნება. ე.ი. იგი ან მთლიანად დეზინტეგრირებულია, ან ჩავარდნილია, ან არც დადებულა...

დეზინტეგრირებულია როგორც ბეტონის მონოლითი ასევე არმირებული რკინის მნიშვნელოვანი ნაწილი.

რეკომენდაცია: საცავი საჭიროებდა სასწრაფო სარემონტო დამცავი ღონისძიებების გატარებას.

დასასრულს ავლნიშნავთ, რომ გეორადიოლოკაციური მეთოდით მონიტორინგის რეკომენდაციის შედეგად მომწამლავ ნივთიერებათა შემცველი სამარხი/სათავსი გარემონტდა და დაფარულ იქნა 80 სმ სისქის რკინაბეტონის ფილით, რითაც აღმოიფხვრა სამარხის სახურავიდან გარემოზე უარყოფითი ზემოქმედების საფრთხის რისკი.

ლიტერატურა

1. Bigman D. GPR Basics. Bigman Geophysicsl, LCC, Suwanee, USA, 2018.
2. Одилавадзе Д.Т., Челидзе Т.Л., Глonti Н.Я., Кирия Д.К., Тархнишвили А.Г. Физическое моделирование модели типа, слоистый клин” в прямых и обратных задачах георадиолокации. Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, ISSN 1512-1135, т. LXIX, 2018, 46-64.
3. Odilavadze D.T., Chelidze T.L. Physical modeling of lava tubes in the GPR. Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Transactions, vol. LXVII; ISSN 1512-1135, Publishing house of the Tbilisi State University, Tbilisi, 2017, pp. 129-142.
4. Одилавадзе Д.Т., Челидзе Т.Л. Физическое моделирование георадиолокационного поля в прямой и обратной задачах электродинамики. Geophysical Journal, V.35, №4, Kiev, 2013, (in Russian).
5. ჭელიძე თ. „გეოფიზიკური მეთოდები ბუნების დაცვაში“. თბილისი, 2004.
6. Neal A. Ground-Penetrating Radar and its Use in Sedimentology: Principles, Problems And Progress Earth-Sci. Rev., 66, 2004, 261—330.
7. Sharma P.V. Environmental and Engineering Geophysics. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

ახლო ქვეზედაპირული განთავსების, აგრესიულ ნივთიერებათა შემცველი სამარხ/საცავთა მონიტორინგი სეისმოაქტიურ ტერიტორიაზე

დ. ოდილავაძე, ნ. ლლონტი, ა. თარხნიშვილი, ზ. ამილახვარი,

გ.ჯაში

რეზიუმე

მომწამლავ ან რადიოაქტიურ სამარხ/საცავთა მონიტორინგი საშუალებას იძლევა გამოავლინოს მიწისქვეშა განთავსების ნაგებობების მდგომარეობის მთლიანობის დარღვევის ნიშნები დააფიქსიროს და დაადგინოს მათი უარყოფითი გავლენა. სამარხ/საცავთა არაინვაზიური მონიტორინგის საშუალებას იძლევა ისეთი მძლავრი გეოფიზიკური მეთოდი, როგორც არის გეორადიოლოკაცია. საქართველოში გეორადიოლოკაციური მეთოდით გეორადარ “Zond 12e”-ის გამოყენებით, მონიტორინგის მიზნით, გამოკვლეულ იქნა გარემოს დამაბინძურებელი მასალების სამარხ/საცავი და აღმოჩენილ იქნა კონსტრუქციის მთლიანობის დარღვევის ნიშნები. შესაბამისი ორგანოების მიერ დაზიანებულ სამარხ/საცავებში გატარებული სარემონტო ღონისძიებების შედეგად, შემცირებულ იქნა გარემოს დაბინძურების რისკის საშიშროება.

Подповерхностный мониторинг около поверхностных могильников /хранилищ агрессивных веществ на сейсмоактивных территориях

Д.Т. Одилавадзе, Н.Я. Глонти, А.Г. Тархнишвили, З. Амилахвари, Г.Г. Джаши

Реферат

Мониторинг ядовитых или радиоактивных захоронений / хранилищ позволяет обнаружить признаки нарушения конструкционной целостности подземных хранилищ и выявить возможность их негативного влияния на окружающую среду. В данном случае использовался мощный геофизический метод, такой, как георадиолокация, который является неинвазивным методом мониторинга подземных конструкций, в том числе и захоронений / хранилищ. В Восточной Грузии метод георадиолокации, с использованием георадара «Zond 12e», применялся для мониторинга захоронения / хранилища загрязнителей окружающей среды с целью идентификации части подземных конструкций. В следствии заключения георадиолокационного мониторинга риск загрязнения окружающей среды был уменьшен после проведения соответствующих ремонтных работ над захоронением / хранилищем.

Subsurface Monitoring Near Surface Repositories / Storages of Aggressive Substances in Seismically Active Territories

D. Odilavadze, N. Ghlonti, A. Tarkhnishvili, Z. Amilakhvari, G. Jashi

Abstract

Monitoring of toxic or radioactive burial sites / storages allows to detect signs of violation of the structural integrity of underground storages and to identify the possibility of their negative impact on the environment. In this case, we used a powerful geophysical method, such as GPR, which is a non-invasive method for monitoring underground structures including burials / storages. In Eastern Georgia, the GPR method using “Zond 12e” georadar was used to monitor the burial / storage of environmental pollutants in order to identify part of underground structures. Due to the conclusion of GPR monitoring, the risk of environmental pollution was reduced after the corresponding repair work on the burial / storage site.

О СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ОТДЕЛАХ СЕЙСМОЛОГИИ И РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМОЛОГИИ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ ИМ. М.З. НОДИА. (120 ЛЕТ ТБИЛИССКОЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ)

Л.К. Дарахвелидзе

Институт геофизики им. М.З. Нодиа, ТГУ

В 2019 году исполняется 120 лет научно-исследовательским работам в Грузии в области сейсмологии. Впервые в мировом масштабе инструментальные записи землетрясений были получены в Потсдаме в 1889 году, а в Грузии - уже в 1899 году. Распорядительный комитет Кавказского отдела Русского географического общества в январе 1898 по ходатайству директора Тифлисской физической обсерватории С.В. Гласека (Штефана Глазека, по происхождению поляка, который готов был в обсерватории безвозмездно производить сейсмические наблюдения) принял постановление об открытии в Тифлисе сейсмической станции и ассигновании соответствующих средств. В 1899 году в подвальном помещении Тифлисской физической обсерватории был установлен заказанный у механика Боша тройной горизонтальный маятник Ребер-Элерга. Сохранились одни из первых сейсмограмм за 6, 7 и 8 декабря, записанных этим маятником. С этого времени в Тбилиси начинаются непрерывные инструментальные сейсмические наблюдения. Тбилисская станция была первой станцией в России, вступившей в строй после Николаевской, Харьковской и Юрьевской станций, которые через несколько лет прекратили работу, а Тифлисская – продолжала. Декабрь 1899 года – дата начала работ старейшей среди действующих сейсмических станций бывшего Советского Союза, Тифлисской сейсмической станции. С января 1900 года стал регулярно выходить сейсмический бюллетень с ежемесячными сведениями о землетрясениях, отмеченных. Общеизвестно, что сейсмологии уделялось особое внимание после какого-нибудь катастрофического землетрясения. Для обследования последствий разрушительного Ахалкалакского землетрясения 31.12.1899 года в 1900 году был командирован профессор Министерства земледелия и государственных имуществ И.В. Мушкетов, который пришел к выводу о необходимости создания на Кавказе густой сети сейсмических станций. На Кавказе с 1902 по 1909 год были открыты сейсмические станции 2-класса в Батуми, Ахалкалаки, Боржоми, Баку, Балаханах, Шемахе, Дербенте, Зурнабаде, Пятигорске. Организация кавказских сейсмических станций и руководство всей сетью было поручено С.В. Гласеку, обладавшему большой эрудицией и организаторскими способностями, вложившему много труда в дело развития сейсмических наблюдений на Кавказе. Он лично занимался как установкой аппаратуры, так и обработкой инструментальных наблюдений. Он первый в России начал издавать «Ежемесячный Сейсмический бюллетень», благодаря его инициативе была открыта и оборудована Тифлисская сейсмическая станция, которая под его руководством завоевала авторитет у Постоянной Центральной Сейсмической Комиссии (ПЦСК), учрежденной в 1900 г. при Российской Императорской академии наук и связанной с деятельностью таких корифеев Российской сейсмологии и сейсмометрии, как академики И.В. Мушкетов и Б.Б. Голицын. Благодаря стараниям С.В. Гласека продолжали функционировать многие из вышеперечисленных станций, некоторые из них не уступали по ценности наблюдениям западноевропейских станций, было начато переоборудование сети второклассных станций, для некоторых были построены специальные помещения, а Тифлисская сейсмическая станция уже к 1903 году была оборудована всеми известными в то время типами сейсмологической аппаратуры, а в 1910 году там была установлена новая сейсмическая аппаратура,

сконструированная основоположником научной сейсмологии академиком Б.Б. Голицыным. С.В. Гласек оставил Тбилиси в 1918 году в разгар Гражданской войны и революционных событий, вернулся на Родину, где стал руководить Варшавской обсерваторией.

Во время Первой мировой войны нормальная работа Тифлисской сейсмической станции нарушилась, во время Гражданской – прекратилась регистрация землетрясений и приостановился выпуск сейсмических бюллетеней. Регулярную работу она возобновила с 1921 года. Проблема возобновления работы Центральной сейсмической станции связана с именем известного сейсмолога, воспитанника Юрьевского университета Евгения Ивановича Бюса (1888-1969), который по предложению акад. Б.Б. Голицына переехал в 1912 году из Юрьева в Баку заведовать сейсмической станцией. Бакинский период жизни стал для Е.И. Бюса поприщем, где он смог утвердиться в кругу сейсмологов, на которых история возложила миссию первопроходцев. Е.И. Бюс за короткий срок смог полностью реорганизовать Бакинскую сейсмическую станцию, расширив инструментальные наблюдения и организовав публикацию еженедельных бюллетеней. Женившись на грузинке, Е.И. Бюс переезжает в Тифлис на постоянную работу в должности заведующего сейсмическим отделом Тифлисской физической обсерватории. Бесценна деятельность Е.И. Бюса в Тбилисской обсерватории. Благодаря его профессионализму, неутомимой работе, редкой пунктуальности, предупредительному отношению к сотрудникам были восстановлены сейсмические наблюдения, расстроены в годы революции и гражданской войны. Тбилисская станция за короткое время выдвигается на одно из первых мест среди сейсмических станций бывшего СССР, а вскоре Тбилиси фактически становится центром сейсмологических исследований на Кавказе. Непрерывную и безукоризненную работу всех приборов на Тбилисской сейсмической станции обеспечивал один из представителей династии механиков точных приборов высококвалифицированный специалист Флорентин Флорентинович Вейс, проработавший на станции свыше 25 лет. Здесь же необходимо упомянуть известного сейсмолога Александра Давидовича Цхакая, работавшего с 1927 года в отделе сейсмологии Тифлисской геофизической обсерватории на должности физика. Е.И. Бюс, В.М. Гигинейшвили, А.Д. Цхакая анализировали и обобщали материалы сейсмических наблюдений, регулярно исследовали плейстосейстовые области сильных землетрясений Закавказья. Следует особо отметить большую роль А.Д. Цхакая, как основоположника развернутой сети инструментальных наблюдений в Грузии. Его научному и организаторскому таланту во многом обязан современный уровень сейсмологических исследований в Грузии. В 1932-1933 гг. Тифлисская сейсмическая станция совместно с Сейсмологическим институтом АН СССР, под общим руководством директора этого института проф. П.М. Никифорова организовала Транскавказскую сейсмологическую экспедицию для выявления очагов землетрясений. Экспедицию подготовил А.Д. Цхакая. Были открыты региональные сейсмические станции в Алагире, Гори, Душети, Они, Зугдиди, Лагодехи. Данные обработки материалов Кавказских сейсмических станций регулярно публиковались в «Квартальном сейсмологическом бюллетене» с 1935 г. по 1945г. В ноябре 1933 года по постановлению Правительства Грузии и Президиума АН СССР при Грузинском филиале АН СССР в Грузии был организован Геофизический институт, в состав которого были включены как Тбилисская сейсмическая станция, так и региональные станции Они и Гори. Основатели Института: ученый-сейсмолог проф. П.М. Никифоров – первый директор Института, заместители директора акад. Н.И. Мухелишвили и проф. М.З. Нодиа, ученый секретарь Института доцент А.Д. Цхакая, проф. Е.И. Бюс –заведующий Сейсмической службой (впоследствии отдел сейсмологии) большое внимание уделяли развитию сейсмологии . После основания Института были организованы сейсмические станции в Зугдиди, в Абастумани. Объем работ Тбилисской сейсмической станции сильно увеличился: она стала главной станцией в Грузии и была переименована в Тбилисскую центральную сейсмическую станцию. Накопленные с 1928 по 1934 гг. материалы тбилиских инструментальных наблюдений были обработаны и опубликованы в виде «Бюллетеней Тбилисской сейсмической станции». В Геофизическом институте начался новый подъем сейсмологической науки в Грузии, регулярно обрабатывались и издавались региональные сейсмологические бюллетени сейсмической сети Кавказа. Было налажено издание материалов предыдущих лет, улучшена и расширена макросейсмическая служба по всем районам Кавказа. Каждое сильное землетрясение подвергалось изучению с участием специалистов, работавших в области антисейсмического строительства, устанавливались нормы антисейсмического строительства (в Институте под руководством акад. К.С. Завриева было организовано республиканское бюро антисейсмического строительства), проводились экспедиционные обследования плейстосейстовых

областей, для определения элементов землетрясений были построены теоретические и экспериментальные годографы для Кавказского региона. Особому изучению подверглась сейсмичность районов с повышенной сейсмической активностью. Пятидесятые годы характеризуются высокими темпами развития сейсмологии. Зная, что сейсмология развивается на базе развернутой сети станций, в 50-годы на Кавказе, в частности в Грузии была создана густая сеть сейсмических станций, оснащенных однотипными короткопериодными и длиннопериодными приборами типа Д.А. Харина и Д.П. Кириноса. На станциях были установлены также механические сейсмографы с низкой чувствительностью для записи сильных движений почвы. В отделе сейсмологии была организована лаборатория региональной сейсмологии (руководитель А.Д. Цхакая). Под руководством А.Д. Цхакая были организованы сейсмические станции: Ахалкалаки, Бакуриани - 1950, Душети -1953, Ниноцминда -1954, Мартвили -1957, Цебелда -1962, Они, Хаиши -1967, Лагодехи, Саберио -1968, Ткибули -1970, Мтацминда (Тбилиси -2). Для изучения сейсмичности одной из наиболее сейсмоактивной зоны территории Грузии – Джавахетского нагорья – Геофизическим институтом АН СССР была организована экспедиция и были открыты временные сейсмические станции, из которых после функционирования только станция Бакуриани. Вплоть до пятидесятых годов макросейсмические данные оставались более представительным видом сейсмологической информации. При непосредственном участии А.Д. Цхакая были обследованы землетрясения: Ереванское-17.01.1937, Аджикенское -21.12.38, Табацкурское 7/8.05.1940, Гудамкарское -15.08.1047, Ашхабадское -06.10.1948, Мтагушетское -02.11.1951, Краснополянское - 21.12.1955, Гегечкорское -29.01.1957, Ачигварское -05.07.1958, Аджаро-Гурийское -20.05.1959, Мадатапское -08.1959, Чхалтинское -16.07.1963. Итоги обследований были опубликованы (некоторые в соавторстве). Проф. Е.И. Бюс собирал и систематизировал макросейсмическую информацию с целью составления возможно полного каталога землетрясений Кавказа. С этой целью им была расширена сеть корреспондентов для сбора макросейсмических данных. В результате Е.И. Бюс составил в трех томах хронологию землетрясений, которая охватывает всю территорию Кавказа и включает сведения об ощутимых землетрясениях (с 450 г. н. э. по 1951 г.), описанных в старых летописях и в разных периодических изданиях. Этот каталог кавказских землетрясений является одним из лучших и наиболее полных региональных каталогов и является весьма ценным источником для любого исследователя, занимающегося вопросами сейсмичности и сейсмического режима Кавказа.

Тематика отдела сейсмологии со дня основания института в основном была посвящена планомерным наблюдениям над сейсмическими явлениями, развитию сейсмической сети и налаживанию сейсмического обслуживания промышленности и строительства в Грузии. В 1954-1957 гг. отдел принимал участие в составлении атласа карты сейсмичности СССР по зоне Кавказа, издаваемого в Москве Междуведомственным Советом по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при Президиуме АН СССР (МСССС). С 1955 года, согласно решению этого Совета, коллектив отдела сейсмологии в составе Е.И. Бюса, А.Д. Цхакая, Т.М. Лебедевой, В.Г. Папалашвили, Э.А. Джигладзе, Д.И. Сихарулидзе, О.Д. Гоцадзе, Е.И. Патарая, О.М. Майсурадзе, Н.П. Тутберидзе, Г.Е. Карцивадзе проводил обработку материалов всех региональных станций Кавказа и участвовал в составлении сводного бюллетеня СССР по Кавказу, издаваемого в Москве.

В 1963 году на базе отдела сейсмологии и входящей в отдел лаборатории региональной сейсмологии были созданы отдел физики землетрясений (рук. проф. Е.И. Бюс, с 1970 года по 2005 г. проф. Д.И. Сихарулидзе) и отдел региональной сейсмологии (рук. доцент А.Д. Цхакая). В отделе физики землетрясений с целью изучения латерального и неоднородного строения земной коры и верхней мантии изучалась физика очагов сильных землетрясений. С помощью объемных волн и разного типа отраженных и дифрагированных поверхностных волн исследовалось формирование короткопериодных поверхностных волн, были выявлены группы основных тонов и обертонов поверхностных волн Релея, Лява и типа PL, сформированных в различных слоях земной коры и верхней мантии, в том числе некоторые из них впервые. Изучены динамические параметры землетрясений Кавказа. На основе изучения фундаментальных свойств коды (хвостовая часть записи землетрясений) установлены корреляционные зависимости между уровнем коды, значениями магнитуд и энергетического класса для Кавказского региона и решены некоторые сейсмологические задачи. Предложены методы отраженных и преломленных поверхностных сейсмических волн, позволяющих установить основные физические характеристики горизонтально-неоднородной среды и дисперсий скоростей волн земной коры и верхней мантии на некоторых участках территории

Кавказа, Малой и Средней Азии. В связи с проблемой прогноза землетрясений были изучены геодинамические процессы, наблюдаемые на Кавказе и обусловленные взаимодействием Анатолийской, Иранско-Аравийской, Черноморской, Каспийской, Кавказской литосферных плит и блоков, а также Русской платформы. (Д.И. Сихарулидзе, Н.П. Тутберидзе, П.В. Манджгаладзе, Т.Ш. Гегечкори, И.Н. Болквадзе, Т.Н. Гоголадзе, И.С. Шенгелия, Р.Л. Шавишвили, П.О. Джиджейшвили, Э.И. Патарая, Н.А. Нибладзе, М.Е. Тамазашвили, Л. И.Каркалая). В отделе региональной сейсмологии была создана инструментальная группа (докт. наук. О.В. Лурсманашвили, канд. наук А.М. Ахалбедашвили, Ц. Сибошвили), которая обеспечивала непрерывную работу сети, устанавливала новую аппаратуру, определяла частотные и фазовые характеристики сейсмографов для обеспечения стационарного режима работы станций, открывала новые станции. В отделе также была организована группа обработки инструментальных сейсмических наблюдений (Т.М. Лебедева, Э.А. Джибладзе, В.Г. Папалашвили, Л.К. Дарахвелидзе, Ц.А. Табуцадзе, Л.Б. Лабадзе, Л.А. Кахиани, Н.И. Шаламберидзе, Л. И Бикашвили, Л.П. Зерагия) всей кавказской сети. Эта группа создавала т.н. «Золотой фонд» института – подробные данные о землетрясениях, записанных всеми сейсмическими станциями Кавказа и данные вносила в созданные специально для этого журналы. На основе этих записей и был составлен Каталог кавказских землетрясений. Группой обработки в разное время руководили Т.М. Лебедева, проф. Э.А. Джибладзе, канд. наук В.Г. Папалашвили.

В 1965 году постановлением Президиума АН СССР была создана Единая система сейсмологических наблюдений Межведомственного Совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству при АН СССР (ЕССН МСССС), целью которой было сохранение единства и сплоченности всей системы сейсмической сети СССР и создание основной сейсмологической базы для проведения исследований практически во всех направлениях наук о Земле. Руководила ЕССН проф. Н.В. Кондорская. Первая попытка обобщить весь наблюдаемый материал сейсмических станций СССР была сделана в 50-х годах, когда по предложению чл.-корр. АН СССР Е.Ф. Саваренского был создан «Атлас землетрясений в СССР». В атласе были обобщены инструментальные данные с количественной оценкой точности определения координат эпицентров и с классификацией землетрясений по магнитуде. В 1961 году в Москве на сессии Совета по сейсмологии, а затем на региональных совещаниях в Ереване и Тбилиси, было решено обобщение сейсмических наблюдений проводить в трех публикациях: оперативного бюллетеня, сейсмологического бюллетеня и ежегодника «Землетрясения в СССР», который регулярно издавался с 1962 г. По своему содержанию ежегодник первоначально являлся продолжением «Атласа землетрясений в СССР», среди составителей ежегодника по Кавказу был Институт геофизики Грузии, а затем Кавказский зональный центр (КЗЦ) ЕССН при Институте геофизики Грузии, организованный в 1961 году А. Д. Цхакая. Необходимо отметить, что А.Д. Цхакая также являлся одним из основных организаторов ЕССН. Он также участвовал в составлении «Атласа сейсмичности СССР» (1962г.) и ежегодников «Землетрясения в СССР» с 1962 по 1969 год. После смерти А.Д. Цхакая, отделом региональной сейсмологии руководили В.Г. Папалашвил (1971-1973 гг.), О.Д. Гоцадзе (1973-1993 гг.), Э.А. Джибладзе (1993-1996 гг.), Джавахишвили З.Ш. (1996-2003 гг.), Элашвили М.З. (2004-2006 гг.). Кавказским зональным центром руководили проф. Е.Ф. Саваренский и кандидат физ.-мат. наук В.Г. Папалашвили. В КЗЦ ЕССН входили представители: Азербайджана к.ф.-м. н. З.З. Султанова, к.ф.-м.н. Ф.Т. Кулиев, д-р геол.-мин. Н. А.Г. Гасанов, к.ф.-м.н. Э.Б. Агаларова; Армении: д-р геол.-мин.н. А.Х. Баграмян, кандидаты ф.-м.н. Э.Г. Гедакян, Г.В. Саргисян, Н.М. Саргисян; Грузии: д-р ф.-м.н. О.Д. Гоцадзе, д-р.ф.-м.н. Н.П. Тутберидзе, чл.-корр. АН Грузии Г.Ш. Шенгелая, Л.А. Кахиани и Л.Б. Лабадзе; Дагестанской авт. республики к.ф.-м.н. Р.А. Левкович, к.ф.-м.н. О.А. Асманов, З.А. Мусалаева; ИФЗ АН СССР к.ф.-м.н О.Е. Старовойт, к.ф.-м.н. А.И. Захарова и И.П. Габсатарова.. На совещаниях КЗЦ обобщался и составлялся каталог землетрясений Кавказского региона за текущий год, соответствующая статья и каталог с основными данными землетрясений представлялся для опубликования в сборнике «Землетрясения в СССР».

Основной темой отдела региональной сейсмологии всегда была переходящая из года в год тема: «Исследование сейсмичности и сейсмического режима территории Кавказа». Исследовались условия возникновения землетрясений, производилось общее и детальное сейсмическое районирование территории Грузии, оценивался сейсмический риск для значительных объектов, строящихся на территории Грузии, осваивались новые средства регистрации землетрясений и методы машинной обработки сейсмологической информации, усовершенствование и внедрение ее в сети сейсмических станций Грузии.

С 70-х годов отдел региональной сейсмологии приступил к разработке проблемы прогноза землетрясений. Создавалась густая сеть сейсмических станций, оснащенных современной регистрирующей аппаратурой. Велись теоретические и экспериментальные исследования по оценке информативности сейсмических предвестников землетрясений.

Огромная работа проводилась по линии Региональной секции Кавказа (РСК) Межведомственного Совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству (МСССС) при Президиуме АН СССР. МСССС долгое время возглавляли чл-корр. АН СССР Е.Ф. Саваренский и акад. М.А. Садовский. РСК в разное время возглавляли акад. АН Грузии К.С. Завриев, чл-корр. АН Грузии Ш.Г. Напетваридзе, акад. АН Арм. ССР А.Г. Назаров, акад. АН Грузии Б.К. Балавадзе. Канд. ф.-м. н. В. Г. Папалашвили и Э.Г. Гедакян (Армения, ИГИС) – были учеными секретарями секции. Региональная секция состояла из комиссий по поиску предвестников землетрясений (рук. акад. М.А. Садовский), по сейсмической аппаратуре (проф. Е.С. Борисевич), по сейсмологии (чл-корр. С.А. Соловьев), по поверхностным волнам (проф. Е.Ф. Саваренский), по Единой системе сейсмических наблюдений (д.ф.-м. н. Н.В. Кондорская). В 1976 году изменилась структура региональной секции. Было образовано бюро, рабочие комиссии и рабочие группы. В состав бюро от Грузии входили акад. Б.К. Балавадзе (председатель), акад. М.А. Алексидзе, чл-корр. АН Грузии Г.Ш. Шенгелая, д. ф.-м.н. О.Д. Гоцадзе. При региональной секции Кавказа были организованы следующие комиссии и рабочие группы: 1. Кавказский региональный центр по прогнозу землетрясений – акад. Б.К. Балавадзе. Рабочие группы: 1.1. по прогнозу землетрясений – акад. Т.Л. Челидзе; 1.2. по координации Опытно-методических экспедиций – д.г.-м. н. А.Г. Гасанов (Азерб.); 1.3. по изучению глубинного строения Кавказа – д.ф.-м.н. М.М. Раджабов (Азерб.); по современным средствам сбора и хранения информации – к. техн.н. А.С. Габуня. 2. Комиссия по сейсмологии – д.ф.-м.н. О.Д. Гоцадзе. Рабочие группы: 2.1. по вычислительной и теоретической сейсмологии акад. М.А. Алексидзе; 2.2. по ЕССН – к.ф.-м.н. В.Г. Папалашвили; 2.3. по сейсмотектонике – акад. Е.Ш. Шихалибейли (Азерб.); 2.4. по общему и детальному сейсмическому районированию – д. г.-м.н. С.Н. Назаретян (Арм.); 2.5. по макросейсмике – к. ф.-м.н. Э.Г. Гедакян (Арм.). 3. Комиссия по инженерной сейсмологии и сейсмостойкости – чл-корр. АН Армении Б.К. Карапетян. Рабочие группы: 3.1. по сейсмическому микрорайонированию – к. техн. Н. С.А. Пирузян (Арм.); 3.2. по инженерно-сейсмометрической службе – д.техн.н. Э.Е. Хачян (Арм.); 3.3. по сейсмостойкости гражданских, промышленных, энергетических и других сооружений – чл-корр. АН Грузии Ш.Г. Напетваридзе; 3.4. по инженерной сейсмологии – д.ф.-м.н. С.С. Дарбинян (Армения).

Региональная секция Кавказа координировала научные работы как институтов в системе академий наук союзных республик, так и других организаций, работавших над проблемами прогноза землетрясений, изучения глубинного строения Кавказа, сейсмического режима Кавказа, микрорайонирования территории, составление региональных каталогов землетрясений Кавказа, обследование последствий сильнейших землетрясений Кавказа и др. РСК совместно с институтами союзных республик проводила сессии и совещания, в работе которых принимали активное участие проф. Е.Ф. Саваренский, проф. Ю.В. Ризниченко, проф. Н.В. Кондорская, проф. Н.В. Шебалин, проф. В.И. Бунэ и др.

К сожалению с 1993 года в связи с распадом бывшего СССР, РСК и КЗЦ ЕССН при МСССС прекратили свою работу, что негативно подействовало на исследовательские работы институтов в масштабе всего Кавказского региона.

В связи со строительством уникальной плотины Ингури ГЭС (Западная Грузия) и для детального изучения сейсмичности этого региона с 1970 года в Институте геофизики был создан отдел прикладной сейсмологии (руководитель канд. наук Г.Я. Мурусидзе). За сравнительно короткий срок (1972-1978гг.) этот отдел дополнительно к существующим в этом районе пяти сейсмическим станциям (Гегечкори, Зугдиди, Саберио, Цебельда, Хаиши) организовал высокоточные сейсмологические наблюдения в двенадцати пунктах (Ажара, Амбролаури, Бедия, Дгнориса, Курзу, Лебарде, Местия, Накра, Худони, Цагери, Чала, Чквалери). Результаты детальных сейсмологических исследований были внедрены в производство и использовались при корректировке проекта строительства арочной плотины и составлении проектов других гидроузлов на р. Ингури, а также были выявлены некоторые особенности проявления возбужденной сейсмичности в этом регионе и даны рекомендации по учету их в сейсмостойком строительстве (Г.Я. Мурусидзе, Т.А. Абуладзе, Е.Р. Бедианишвили, М.В. Курхули, Р.И. Кутателадзе, И.Л. Литанишвили, И.И. Мчедлишвили, И.Е. Салакая, М.В. Сохадзе, Р.А. Хелашвили, Т.В. Хеладзе и др.). Напомним читателям, что по

настоятельному требованию А.Д. Цхакая проект Ингури ГЭС был составлен в расчете на 9 баллов (вместо 8).

С 1976 года в Тбилиси, на окраине города, в западной его части, начала функционировать новая сейсмологическая станция - типа обсерватории: Сейсмологическая обсерватория «Тбилиси». Тбилисская центральная телесеismicкая станция, опорная в Кавказской зоне, свою работу в качестве станции в старом помещении прекратила 1 января 1978 года. В разное время на Тбилисской сейсмической станции работали: С.В. Гласек, С.А. Беляев, С.В. Шимановский, П. Штелинг, Э. Розенталь, П. Соловьев, А. Михайловский, Е.И. Бюс, В.М. Гигинейшвили, И.А. Бенашвили, А.Д. Цхакая, Ф.Ф. Вейс, Т.М. Лебедева, И.К. Кокая, П. Гепаридзе – молодой научный сотрудник, погиб на фронте во время Великой Отечественной войны 1941-1945гг., Г.Е. Карцивадзе, В.В. Павленишвили, Н.Д. Ломидзе, с 1950-х годов - В.Г. Папалашвили, О.Д. Гоцадзе, Е.И. Патарая, А.М. Ахалбедашвили, Л.К. Дарахвелидзе, Н.П. Тутберидзе, Н.И. Миладзе, Ц.Д. Асатиани, Т.П. Хеладзе. С 1978 года в старом помещении станции был открыт геофизический музей, принадлежащий Гидрометеорологическому институту АН Грузии. Сейсмологической обсерваторией «Тбилиси» до конца жизни руководил кандидат физ.-мат. наук А.М. Ахалбедашвили. Отметим, что всегда, несмотря на многочисленные экономические, либо политические трудности, в Тбилиси сейсмические наблюдения производились непрерывно. В сейсмической обсерватории накоплен вековой сейсмический материал - уникальная, редкостная сокровищница мирового значения. Сейсмологическая обсерватория «Тбилиси»- стала основной экспериментальной базой для научных исследований по автоматизации инструментальных сейсмических наблюдений, разработке новых способов регистрации землетрясений, освоению и подготовке новой аппаратуры для внедрения в сети региональных сейсмических станций Грузии. Во всем этом, и в строительстве здания обсерватории большая заслуга принадлежит доктору физ.-мат. наук, заведующему отделом региональной сейсмологии Отару Давидовичу Гоцадзе. Обсерватория заслуженно носит имя О.Д. Гоцадзе (посмертно).

С 1 января 1979 года во исполнение постановления директивных органов, направленного на усиление исследований, связанных с разработкой методов прогноза землетрясений, в Институте геофизики была создана Опытно-методическая сейсмологическая партия (ОМСП, Р.К. Махарадзе) на самостоятельном балансе. Из отдела региональной сейсмологии в ОМСП были переведены А.М. Ахалбедашвили, П.В. Апциаури, Л.А. Кахиани, Л.В. Лабадзе, Ц.А. Табуцадзе, Л.Д. Сохадзе, Л. А. Бикашвили, А.А. Размадзе и др. ОМСП с конца 1982 года реорганизована в Опытно-методическую геофизическую экспедицию (ОМГЭ, Г.Ш. Шенгелая). ОМГЭ были переданы: сейсмологическая обсерватория «Тбилиси», 5 опорных станций – Абастумани, Богдановка, Гегечкори, Лагодехи, Они; 8 станций регионального типа – Ахалкалаки, Гори, Дманиси, Душети, Зугдиди, Саберио, Цебельда, Хаиши; сейсмические станции отдела прикладной сейсмологии и, соответственно, и группа обработки сейсмических наблюдений отдела прикладной сейсмологии. Отдел прикладной сейсмологии объединился с отделом региональной сейсмологии (Рук. доктор физ.-мат. наук О.Д. Гоцадзе). ОМГЭ проводила стационарные наблюдения по изучению сейсмологических, геофизических и гидрогеохимических полей в связи с поиском предвестников землетрясений, составлением карт долго и среднесрочного прогнозов землетрясений и сейсморайонирования; проводила сбор, обработку и анализ геофизического материала, используемого для разработки проблемы прогноза землетрясений. ОМГЭ являлась крупным структурным подразделением института. Как было сказано выше, координация работ по составлению ежегодников «Землетрясения в СССР» осуществлялась путем постоянных контактов с составителями сейсмологических бюллетеней на ежегодных совещаниях КЗЦ в Москве, Тбилиси, Ереване, Ленинакане, Махачкале. После организации ОМГЭ при институтах региональные каталоги составлялись отдельно по республикам и затем стыковались в КЗЦ ЕССН. При этом особое внимание уделялось тем землетрясениям, очаги которых находились на границах двух республик. В таких случаях проводились переопределения параметров очагов землетрясений по совместным данным. Унифицировались энергетический класс и магнитуда, с привлечением данных сейсмологического бюллетеня Обнинска (Институт физики Земли АН СССР). Инструментальная группа сейсмических наблюдений ежегодно проводила определение параметров амплитудно-частотных и фазовых характеристик приборов сейсмических станций Кавказа, и эти данные публиковались отдельными изданиями. Совместными усилиями сейсмологов Институты Закавказья были изучены последствия всех сильных землетрясений, происшедших на территории Закавказья: Дагестанского-1970г.,

Каспийского-1986г., Спитакского-1988 г., Рача-Имеретинского-1991 и др. В 1996 году на базе экспедиции была создана Единая национальная служба сейсмической защиты Грузии, которой до 2002 года руководил чл.-корр. АН Грузии Г.Ш. Шенгелая. Под его руководством была разработана целевая программа данной службы на 1998-2005 годы, утвержденная Президентом республики, интенсивно была переоборудована сейсмическая сеть, были открыты цифровые сейсмические станции современного типа с телеметрической связью, дающие возможность оперативно определять параметры землетрясений. Отметим, что в отделе региональной сейсмологии вопросами цифровой регистрации сейсмических сигналов занимался канд. физ.-мат. наук Г.С. Гребенчук, который использовал для этих целей бытовые магнитофоны. Он также занимался вопросами цифровой магнитной регистрации геофизических сигналов. С 2002 года, после смерти проф. Г.Ш. Шенгелая Службой руководил канд. физ.-мат. наук З.Ш. Джавахишвили. В 2006 году Служба под названием «Центр сейсмического мониторинга» выделилась из Института геофизики им. М.З. Нодиа. В результате Институт геофизики лишился сейсмической обсерватории «Тбилиси», всей сейсмической сети Грузии и данных сейсмических наблюдений. В данное время Центр сейсмического мониторинга находится в ведомственном подчинении Тбилисского университета им. Ильи Чавчавадзе и Центром руководит академический доктор физ.-мат. наук Т.Г. Годоладзе.

В 1974-1976 годах КЗЦ совместно с геофизическими институтами Кавказа, под руководством проф. Н.В. Кондорской и д-ра ф.-м. Н. Н.В. Шебалина провел большую работу по унификации инструментальных и макросейсмических данных землетрясений Кавказского региона (с магнитудой, равной и больше четырех и интенсивностью, равной и больше пяти). В этой работе от Института геофизики Грузии принимали участие И.В. Айвазашвили, О.Ш. Варазанашвили, Л.В. Лабадзе, В.Г. Папалашвили. Результатом явился один из наилучших каталогов мира – «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1976 года» (Редакторы Н.В. Кондорская и Н.В. Шебалин. М: Наука. 1977.-576с.).

Исходя из специфики в отделе региональной сейсмологии всегда разрабатывались как фундаментальные исследования, так и прикладные задачи, имеющие большое значение для народного хозяйства страны (общее и детальное сейсмическое районирование, оценка сейсмического риска строительства значительных объектов и т.д.). В начале существования отдела, для определения элементов землетрясений были построены теоретические и экспериментальные годографы для Кавказского региона (А.Д. Цхакая, Г.К. Твалтвадзе, Т.М. Лебедева и А.Я. Левицкая, Э.А. Джибладзе, В.Г. Папалашвили и др.). С начала семидесятых годов отдел занимается разработкой алгоритмов и программным обеспечением для оценки количественных характеристик и локальных систем сейсмических наблюдений. Совместно с Вычислительным центром института была создана информационно-поисковая система Кавказских землетрясений, которая позволяет автоматизировать процесс хранения, поиска и обработки сейсмологической информации (О.Д. Гоцадзе, М.П. Купрадзе, М.И. Тавдидишвили, Т. Пилишвили, Н.Л. Лекишвили, главный консультант акад. М.А. Алексидзе). Были проведены работы по уточнению сейсмических параметров сильных землетрясений Кавказа и по выделению зон возникновения очагов землетрясений (О.Ш. Варазанашвили). Особенную ценность представляют работы по оценке сейсмической опасности территорий перспективного строительства атомных электростанций на территории Грузии (в Гали, в районах Аджамети, Гардабани, Кизляра и Ульяновки), Кавказской перевальной железной дороги, крупных городов и водохранилищ Грузии, трассы нефтепровода Баку-Супса (О.Д. Гоцадзе, О.Ш. Варазанашвили, Э.А. Джибладзе, Г.Р. Махарадзе, З.Ш. Джавахишвили, М.Ш. Мемарнишвил, М.П. Купрадзе, Н.И. Шаламберидзе). Весь отдел был включен в разработку проблемы прогноза силы, места и времени сильных землетрясений.

Среди основных научных разработок отдела региональной сейсмологии особенную ценность всегда представляет карта сейсмического районирования территории Грузии. К концу XX века комиссия сейсмического районирования при Отделении наук о Земле АН Грузии под руководством академика И.П. Гамкрелидзе представила соответствующий мировым стандартам новый вариант карты - новую вероятностную карту сейсмического районирования, в основе которой лежит схема активных разломов, составленная на основе геофизических, геологических и других данных. Далее сейсмологами института была произведена сейсмическая параметризация карты, были выделены зоны, для которых указаны какой силы и с какой частотой могут произойти в них сильные землетрясения и, принятой в мире программой SEISRISK III, были построены компьютерные карты сейсмической опасности. Карта построена с помощью современной геоинформационной системы

(GIS) (акад. Т.Л. Челидзе, проф. Э.А. Джигладзе, проф. Д.И. Сихарулидзе, докт. наук Н.П. Тутберидзе, кандидаты наук О.Ш. Варазанашвили, З.Ш. Джавахишвили, Н.К. Бутикашвили, М.З. Элашвили и Т.Г. Годоладзе, Э.Н. Глonti и др). Необходимо отметить, что в 1993 году на соискание Государственной премии Грузии по науке и технике был представлен цикл работ: «Строение литосферы и сейсмичность территории Грузии и прилежащих регионов (по сейсмическим данным)», посвященных внутреннему строению и сейсмичности территории Грузии и прилежащих регионов. Среди авторов были доктор физ.-мат. наук О.Д. Гоцадзе, проф. Э.А. Джигладзе и проф. Д.И. Сихарулидзе. Ими на основе каталога кавказских землетрясений создана автоматизированная информационно-поисковая система, развита новая оценка сейсмической опасности, которая учитывает понятие сейсмического риска; проведены работы по распределению кавказских землетрясений в пространстве и во времени и по оценке сейсмической опасности территорий строительства важных народно-хозяйственных объектов. Разработаны алгоритмы для выделения линеаментов и машинные методы картирования (О.Д. Гоцадзе); изучена сейсмичность и сейсмический режим территории Грузии количественными методами, определены параметры сейсмического режима, изучены энергия землетрясений, сейсмическая опасность и сейсмоструктурные деформации, установлена сейсмическая сотрясаемость (Э.А. Джигладзе); исследовано поле поверхностных сейсмических волн, с помощью поверхностных волн изучено радиальное и латеральное строение земной коры и верхней мантии (Д.И. Сихарулидзе).

Проблемы сейсмологии, вопросы прогноза землетрясений, оценка сейсмической опасности всегда были в центре научных разработок Института геофизики. В связи с этим проводилось основательное переоборудование сейсмической сети Грузии современными цифровыми сейсмографами. В отделе региональной сейсмологии была организована лаборатория сейсмической опасности (рук. кандидат физ.-мат. наук О.Ш. Варазанашвили). Директор Института акад. Т.Л. Челидзе был избран членом экспертного совета Европы по прогнозу землетрясений. С помощью современных вероятностных методов и применением систем GIS были оценены сейсмическая опасность и риск; исследовалась закономерность сейсмического режима; производилось моделирование волнового поля; внедрялись новые технологии сбора, хранения и передачи сейсмической информации; в сейсмологии использовались теории фракталов, перколяции; созданы карты долгосрочного прогноза кавказских землетрясений, карта сейсмической опасности Грузии (О.Д. Гоцадзе, Т.Л. Челидзе, О.Ш. Варазанашвили); на основе анализа распределения слабых землетрясений разработан алгоритм выделения сейсмических линеаментов и построена карта линеаментов Кавказа (О.Д. Гоцадзе, М.А. Алексидзе). В разработке проблем сейсмичности, сейсмического режима и оценки сейсмической опасности территории Грузии, сейсмоструктурных движений Кавказа, зависимостью между тектоническими и сейсмическими течениями под руководством проф. Э.А. Джигладзе принимали участие кандидаты наук Н.К. Бутикашвили, Н.С. Церетели и Э.Н. Натенадзе, мл. научн. сотр. З.Т. Эбралидзе. Были проведены методологические исследования сейсмического риска. Для разных районов г. Тбилиси произведена оценка сейсмического риска или непосредственного социально-экономического ущерба, который может вызвать максимальное ожидаемое 8-балльное землетрясение в Тбилиси (Э.А. Джигладзе, Н.С. Церетели).

В отделе региональной сейсмологии в разное время работали А.Д. Цхакая (основатель отдела), доктора наук О.Д. Гоцадзе, Э.А. Джигладзе, О.В. Лурсманашвили; кандидаты наук: В.Г. Папалашвили, А.М. Ахалбедашвили, О.М. Майсурадзе, О.Ш. Варазанашвили (зав. лабораторией сейсмической опасности, 1995-2006гг.), З.Ш. Джавахишвили, Г.Я. Мурусидзе, П.В. Манджгаладзе, Г.С. Гребенчук, Н.К. Бутикашвили, Э.Н. Натенадзе, А. Л.Абхазава, П. В.Апциаури, И.Н. Болквадзе, Е.Л. Барамидзе, Т.В. Пилишвили, М.З. Елашвили, Н.С. Церетели, Т. Мумладзе, научные сотрудники: Т.М. Лебедева, Л.К. Дарахвелидзе, Л.А. Кахиани, Л.В. Лабадзе, Ц. А. Табуцадзе, М.П. Купрадзе, Ц.И. Сибовшвили, Н.И. Шаламберидзе, М.И. Тавдидишвили, Р. Твалабеишвили, И. Яворский, З.Т. Эбралидзе, И.М. Литанишвили, Т.А. Абуладзе, Д.Г. Гочашвили, Г.Р. Махарадзе, А.А. Размадзе, Л. Бикашвили, Л.Д., Сохадзе, М. С. Мемарнишвили, Л.П. Зерагиа, К.Т. Кебуладзе, Е. Глonti; инж.: В.С. Гаганин, Т.В. Датунашвили, М.М. Хуцишвили, М.В. Сохадзе, Л.А. Тевзадзе, лаборанты и техники: П. Дрелин, Г. Табагуа, Э.П. Багатуриа, Д. Грдзелишвили, Х.В. Гегешидзе, Д. Трапаидзе, Е. Джобава, М.Г. Арабидзе, Г.Ш. Мецховришвили, Н. Мгеладзе, И.З. Александриди, М.Т. Алапишвили, Н.Г. Куталадзе, Ж.Ш.Бежиашвили. и др.

В 2006 году произошло изменение структуры Института, была введена секторная система. Сейсмологическая наука продолжила функционирование в секторах: «Сейсмология и экспериментальная геофизика». (Рук. акад. Т.Л. Челидзе) и «Сейсмология, сейсмическая опасность и риск катастроф» (Рук. акад. доктор Н.С. Церетели).

С 1933 года сейсмологами защищено 6 докторских и около 35 кандидатских диссертаций, издано около 115 сейсмических (в том числе квартальных) бюллетеней землетрясений, всевозможных каталогов землетрясений, несколько работ по инструментальной сейсмологии и по макросейсмическим обследованиям землетрясений и около 20 монографий.

Несколько слов о некоторых специалистах, проработавших долгое время в отделе.

Кандидат физ.-мат. наук Вахтанг Георгиевич Папалашвили (1919-2011гг.) – материалы которого использованы в настоящей статье, один из старейших сотрудников института. В 1956-1963 гг. –ученый секретарь института, 1971-1973 гг. – руководитель отдела региональной сейсмологии, 1971-1992 гг. – руководитель КЗЦ ЕССН, в 1974-1978 гг. избирался ученым секретарем Междудементального проблемного Совета по прогнозу землетрясений при Президиуме АН Грузии, в 1978-1989 гг. – заместитель Грузинской секции МСССС АН СССР. Научные интересы В.Г. Папалашвили касались многих вопросов сейсмологии: макросейсмических обследований отдельных землетрясений с интенсивностью, равной или больше 6 баллов; сейсмичности и сейсмического районирования; связи между энергией и магнитудой землетрясений. Принимал участие в составлении карты сейсмического районирования Кавказа СР-81 и СР-91. Огромный труд вложил В.Г. Папалашвили, как руководитель Кавказского зонального центра ЕССН в составлении каталогов землетрясений Кавказа, которые публиковались в сборниках: «Землетрясения в СССР» за 1970-91гг., «Землетрясения Северной Евразии» за 1992-1994гг., а также «Сейсмический бюллетень Кавказа» за 1970-1988гг. Участвовал в составлении регионального каталога и макросейсмических данных с параметрами очагов землетрясений на территории Грузии и Кавказа для «Нового каталога сильных землетрясений на территории СССР», возобновил публикацию «Сейсмического бюллетеня Кавказа» за 1970-1988 годы.

Татьяна Матвеевна Лебедева (1904-1992гг.) – выпускница физико-математического факультета Ленинградского государственного университета, ученица профессора П.М. Никифорова. Научная деятельность Т.М. Лебедевой со студенческой скамьи была связана с сейсмологией, ее дипломная работа касалась вопросов определения глубин очагов землетрясений. В 1931 г. она - научный сотрудник Сейсмологического института АН СССР и ее премируют как первую ударницу института. В 1932-34 гг. Т.М. Лебедева - заведующая перворазрядной телесеismicкой станцией во Владивостоке (Дальний Восток). По рекомендации проф. Е.Ф. Саваренского в 1935 году Т.М. Лебедева командирована в Тбилисский Геофизический институт в качестве научного сотрудника первого разряда. С тех пор до конца жизни она жила в Тбилиси и до выхода на пенсию работала в отделе региональной сейсмологии. В отделе Т.М. Лебедева занималась обработкой сейсмограмм, обследованиями землетрясений, инспектированием сети региональных станций. В 1953 году Т.М. Лебедева совместно с А.Я. Левицкой составила годограф сейсмических волн Кавказа с глубиной залегания очага в 25 км, который по сей день является рабочим годографом для определения координат эпицентров землетрясений на Кавказе. Т.М. Лебедева была награждена Почетной грамотой Президиума Верховного Совета Грузии.

В 1979 году из отдела региональной сейсмологии в ОМСП была переведена почти вся группа обработки сейсмограмм, в том числе Лали Александровна Кахиани, Лали Викентьевна Лабадзе и Цисана Амвросьевна Табуцадзе, занимающиеся обработкой сейсмограмм с 1960 года. Они принимали участие также в экспедиционных работах отдела, составляли региональные каталоги, подготавливали статьи для ежегодника «Землетрясения в СССР», обработанный ими материал всегда был выполнен на высоком уровне. В ОМГЭ Л.А. Кахиани занимала должность начальника группы обработки сейсмологического материала, Л.В. Лабадзе - начальника группы оперативного бюллетеня, а Ц.А. Табуцадзе – начальника отряда обработки. Л.А. Кахиани в 2006 году вышла на пенсию, Л.В. Лабадзе и Ц.А. Табуцадзе до выхода на пенсию создавали электронную версию обработанного ими сейсмического материала. Л.В. Лабадзе активно участвовала также в фундаментальных исследованиях отдела. Она совместно с И.В. Айвазашвили, О.Ш. Варазанашвили, В.Г. Папалашвили является соавтором книги «Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г. –Кавказ». – Москва: Наука.-1977. Она соавтор выполненной в ОМГЭ под руководством акад М.А. Алексидзе работы : М.А. Алексидзе, Я.Т. Аманаташвили, Л.В.

Лабадзе, В. Мехия, Г.Ш.Шенгелая «Определение основных параметров гипоцентра без предварительных идентификаций вступлений сейсмических волн (программа «Гипоцентриа-Р»)). Созданная программа внедрена в Институте геофизики Грузии, в Институте геологии Азербайджана. Она успешно применяется при массовых обработках материалов землетрясени

В данное время в Институте из бывших сотрудников отдела региональной сейсмологии работают: академический доктор физ.-мат. наук Нино Сидамоновна Церетели на должности заведующего сектором, организованном в 2013 году « Сейсмология, сейсмическая опасность и риск катастроф», академический доктор физ.-мат. наук Отар Шалвович Варазанашвили – главный научный сотрудник этого сектора и специалист сектора - Манана Платоновна Купрадзе.

В секторе, согласно утвержденному государством десятилетнему (2014-2023 гг.) плану развития сейсмологических и прочих исследований, выполняются следующие задачи: создание акселерометрической сети для записи сильных движений, обеспечение функционирования и обработки экспериментального материала; установление моделей сейсмических источников; создание различных баз данных (сейсмических, инженерно-геологических, инвенторных и др.); создание новых прогнозных уравнений движения грунта (для макросейсмической интенсивности, ускорения или скорости); исследование свойств грунтов (с использованием методов сейсморазведки, с исследованием сейсмического шума и т.д.); изучение сейсмической истории территории Грузии, определение последствий землетрясений и инженерный анализ; оценка сейсмической опасности и риска; уточнение сейсмической опасности (микрозонирование) инженерно-сейсмическими методами; определение повреждаемости и уязвимости зданий и сооружений и жизненно важной инфраструктуры; оценка рисков катастроф и экономического ущерба. В настоящее время сектор сотрудничает со многими сейсмологическими центрами из Турции, Германии, Греции, Италии, Швейцарии, США и др. Сотрудники сектора были основными партнерами крупных международных проектов GSHAP, GEM-EMME, а также грантовых проектов NATO, INTAS, IS TC, INCO-COPERNICUS, BSEC, CNR/SRNSF, SRNS F. Следует отметить, что результаты этих проектов постоянно докладываются сотрудниками (в том числе молодыми учеными) сектора на международных семинарах и форумах.

Автор данной статьи Лиана Карловна Дарахвелидзе в 1961-1963гг. работала на Тбилисской центральной сейсмической станции старшим техником, в 1963-1979гг. - научным сотрудником в отделе региональной сейсмологии, в 1979-2005 гг. –ученым секретарем Института геофизики, а с сентября 2005 года руководит издательской группой института.



Фото 1 . Е.И. Бюс в составе комиссии по выбору места строительства сейсмической станции «Гори». Слева-направо: зав. отделом сейсморазведки Геофизического института Г.К. Твалтвадзе, зав. отделом региональной сейсмологии А.Д. Цхакая, зав. отделом физики землетрясений Е.И. Бюс. Гори, 1954 г.



Фото 2. В.Г. Папалашвили, Н.В. Кондорская, О.Д. Гоцадзе



Фото 3 . Заседание зонального Центра в Ленинкане.

Проф. Н.В. Кондорская (Москва), З.З. Султанова (Баку), А.Х. Баграмян (Ленинкан),
В.Г. Папалашвили.



Фото 4. Сотрудники ОМГЭ Института геофизики. Стоят: Д. Бакурадзе, М. Зедгинидзе, Н. Тутберидзе, Л. Лабадзе, Ц. Табуцадзе, М. Хараидзе, В. Папалашвили, Д. Гачечиладзе, М. Кокрашвили, И. Аманаташвили, Р. Махарадзе.
Сидят: Л. Дарахвелидзе, Л. Кахиани, Н. Миладзе, Л. Сохадзе.

Литერатура

1. Цхакая А.Д. Очерк развития сейсмологии в Грузии (50 лет Тбилисской центральной сейсмической станции). Изд-во АН Грузии. -1950, 64с.
2. Институт геофизики-50. Тб.: Мецниереба, 1983, 143с.
3. Папалашвили В.Г., Чичинадзе В.К. Развитие сейсмологии в Грузии, Тбилиси, 1999, 135 с.
4. ახალბედაშვილი ა., პაპალაშვილი ვ. თბილისის სეისმოლოგიური ობსერვატორია. თბ., 2003, 45 გვ.
5. Дарахвелидзе Л.К. К 75-ой годовщине Института геофизики им. М.З. Нодиа. Сборник трудов Института геофизики, Т.60, 2008, с. 3-7.
6. გეოფიზიკის ინსტიტუტი - 80. თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა, 2013, 185 გვ.
7. Челидзе Т.Л., Дарахвелидзе Л.К. Институт геофизики им. М.З. Нодиа. (К 80-ой годовщине со дня основания). Сборник трудов Института геофизики, Т. 64., 2013, с. 3-22.

**მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის სეისმოლოგიისა
დარეგიონალური სეისმოლოგის განყოფილებების სეისმოლოგიური
გამოკვლევების შესახებ.
(თბილისის ცენტრალური სეისმური სადგურის 120 წელი)**

ლ. დარახველიძე

რეზიუმე

საქართველოში სეისმური დაკვირვებები იწყება 1899 წელს. ასე რომ სეისმურ დაკვირვებებს საქართველოში 120 წელი უსრულდება. 1899 წელს თბილისის ფიზიკური

ობსერვატორიის სარდაფში დაარსდა სეისმური სადგური. ამის ინიციატორი ობსერვატორიის გამგე სეისმოლოგი ს. ჰლასეკი გახლდათ. 1900 წლიდან რეგულარულად გამოდიოდა სეისმური ბიულეტენი. პირველი მსოფლიო ომისა და სამოქალაქო ომის პერიოდში შეფერხდა სეისმური სადგურის მუშაობა. 1921 წლიდან პროფ. ე. ბიუსის ხელმძღვანელობით აღსდგა სადგურის ნორმალური ფუნქციონირება ამავე დროს ობსერვატორიის ფიზიკოსის ა.ცხაკაიას თაოსნობით გაფართოვდა სადგურთა ქსელი. 1933 წელს შეიქმნა გეოფიზიკის ინსტიტუტი. სეისმური სადგური და სადგურთა ქსელი გადაეცა ინსტიტუტს. ინსტიტუტის დირექცია დიდ ყურადღებას აქცევდა სეისმოლოგიის განვითარებას ინსტიტუტში. შედგენილი იქნა მრავალი სეისმოლოგიური ჰოდოგრაფი, მათ შორის ცნობილი ლებედევა-ლევიცკაიას ჰოდოგრაფი, რომელიც ათეული წლების განმავლობაში იყო განყოფილების სამუშაო ჰოდოგრაფი, გამოკვლევულ იქნა ყველა ძლიერი მიწისძვრა, რომელიც მოხდა საქართველოს ტერიტორიაზე. 1963 წელს სეისმოლოგიის განყოფილების ბაზაზე შეიქმნა 2 განყოფილება, რომლებმაც იარსებეს 2005 წლამდე : სეისმოლოგიის (ე.ბიუსი, დ. სიხარულიძე) და რეგიონალური სეისმოლოგიის (ალ. ცხაკაია, ვ. პაპალაშვილი, ო. გოცაძე, ე. ჯიბლაძე, ზ. ჯავახიშვილი, მ. ელაშვილი).

1961 წელს ალ. ცხაკაიას თაოსნობით ინსტიტუტში ორგანიზებულ იქნა კავკასიის ზონალური ცენტრი, რომელიც ადგენდა კავკასიის მიწისძვრების კატალოგს.

1979 წელს დამოუკიდებელ ბალანსზე მიწისძვრის პროგნოზის მეთოდების პრობლემასთან დაკავშირებით დაარსდა საცდელ-მეთოდური სეისმოლოგიური პარტია. შემდგომში საცდელ-მეთოდური გეოფიზიკური ექსპედიცია, შემდეგ საქართველოს სეისმური დაცვის ერთიანი სეისმური სამსახური, ბოლოს „სეისმური მონიტორინგის ცენტრი“-ს სახელწოდებით 2006 წელს გამოეყო ინსტიტუტს.

ამჟამად ინსტიტუტში სეისმოლოგიური მეცნიერება აგრძელებს ფუნქციონირებას შემდეგ ორ სექტორში: სეისმოლოგიის, სეისმური საშიშროებისა და კატასტროფების რისკის (ნ. წერეთელი) და გამოყენებით და ექსპერიმენტული გეოფიზიკის (თ. ჭელიძე) სექტორებში.

О сейсмических исследованиях в отделах сейсмологии и региональной сейсмологии Института геофизики им. М.З. Нодиа. (120 лет Тбилисской Центральной сейсмической станции)

Л.К. Дарахвелидзе

Реферат

В 2019 году исполняется 120 лет научно-исследовательским сейсмическим работам в Грузии. В 1899 году в подвальном помещении Тифлисской физической обсерватории была основана сейсмическая станция, а после катастрофического Ахалкалакского землетрясения 1899 года на Кавказе были открыты 9 станций. Организация этих станций и руководство было поручено директору Тифлисской физической обсерватории С.В. Гласеку. С января 1900 года стал регулярно выходить сейсмический бюллетень. Во время Первой мировой и Гражданской войн нормальная работа была нарушена. Регулярную работу она восстановила в 1921 году, когда заведующим сейсмической станцией был назначен известный сейсмолог Е.И. Бюс. Особо отметим большую роль А.Д. Цхакая, как основоположника развернутой сети инструментальных наблюдений. После основания Геофизического института в 1933 году сейсмическая станция перешла институту. Дирекция института большое внимание уделяла развитию сейсмологии. Отделом сейсмологии руководил Е.И. Бюс. Расширилась сеть сейсмических станций, создавались сейсмические годографы, в том числе годограф Лебедевой-Левицкой, которым в течение десятилетий пользовались в отделе при обработке землетрясений, исследованы все сильные землетрясения, происшедшие на территории Грузии. В 1963 году на базе отдела сейсмологии были организованы Отдел физики землетрясений (Е.И. Бюс, Д.И. Сихарулидзе) и Отдел региональной сейсмологии (А.Д. Цхакая, В.Г. Папалашвили,

О.Д. Гоцадзе, Э.А. Джибладзе, З.Ш. Джавахишвили, М. Элашвили), В связи с изменением структуры Института отделы просуществовали до 2005 года. В 1961 году по инициативе А.Д. Цхакая в институте был организован Кавказский зональный центр, который создавал каталог Кавказских землетрясений.

В 1976 году на окраине г. Тбилиси начала функционировать новая сейсмическая станция типа обсерватории. В связи с обработкой методов прогноза землетрясений в 1979 году в Институте на собственном балансе была основана Опытно-методическая сейсмологическая партия (затем: опытнo-методическая геофизическая экспедиция, Единая сейсмическая служба сейсмической защиты Грузии, «Центр сейсмического мониторинга: который выделился из института в 2006 году).

В данное время сейсмическая наука в институте продолжает функционировать в двух секторах: Сектор сейсмологии, сейсмической опасности и риска катастроф (Н.С. Церетели) и Сектор прикладной и экспериментальной геофизики (Т.Л. Челидзе).

On Seismological Studies at the Departments of Seismology and Regional Seismology of M. Nodia Institute of Geophysics. (120th Anniversary of Tbilisi Central Seismic Station)

L. Darakhvelidze

Abstract

In Georgia seismic Observations have begun since 1899. In 1899 a seismic station was founded at Tbilisi Physical Observatory. From 1900 a seismicity bulletin was regularly published. During World War I and the civil war the Seismic Station stopped its functioning. From 1921 under guidance of Professor E. Byus the working process was restored at the Station. In 1933 as Institute of Geophysics was established the Station became a part of the Institute. At the Institute the Department of Seismicity was founded under guidance of E. Byus. From 1950 the network of seismic stations was expanded and holographs were developed for processing earthquake data, among which is well-known Lebedeva-Levitskay Holograph. All the strong earthquakes that had occurred on the territory of Georgia were studied. In 1963 on the basis of the Department of Seismology of Institute of Geophysics the departments of Earthquake Physics (E. Byus, D. Sikharulidze) and Regional Seismology (Al. Tskhakaia, V. Papalashvili, O. Gotsadze, E. Jibladze, Z. Javakhishvili, M. Elashvili) were founded, which functioned till 2005.

In 1961 under guidance of Al. Tskhakaia the Zonal Centre of the Caucasus was established at the Institute. At the meetings the scientists presented catalogues of the earthquakes in Caucasus.

From 1976 a new observatory station started functioning in the vicinities of Tbilisi.

In 1979 Testing-methodical Seismological Party was founded to work out methods for earthquake forecasting (later: Testing-methodical Geophysical Expedition; the United Seismic Service for Seismic Safety of Georgia; Seismic Monitoring Centre, which was separated from the Institute in 2006.

At present seismic sciences are being developed at two sectors of Institute of Geophysics: Sector of Seismology, Seismic Hazards and Disaster Risks and Sector of Applied and Experimental Geophysics.

წყალშემცველი ფენის სიღრმის და სიმძლავრის დადგენა გეოფიზიკური (ელექტროძიების) მეთოდით საჩხერის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე

¹თ. რაზმაძე-ბროკიშვილი, ²ნ. ვარამაშვილი, ²გ. მელიქაძე, ²თ. ჭიკაძე, ²გ. ქაჯაია

¹ საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი;
² მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

შესავალი

თემის აქტუალობა - საქართველოს წყალმომარაგების 70%-ზე მეტი მიწისქვეშა წყლების ხარჯზე ხდება. სწორედ ამიტომ, მიწისქვეშა წყლების რეჟიმის, მისი ხარისხისა და მათზე მოქმედი ფაქტორების შესწავლას უდიდესი მნიშვნელობა ენიჭება. გარდა ცნობილი ჰიდროგეოლოგიური კვლევებისა (წყლის ამოტუმბვა, ჩასხმა, დამოკიდებულება ამოტუმბვის დებიტსა და დონის დაწევას შორის) [1] და კომპიუტერული მოდელირების მეთოდებისა, არსებობს კვლევის სხვა მეთოდები რომელთა რიცხვს მიეკუთვნება გეოფიზიკური კვლევები, განსაკუთრებით მისი ერთ-ერთი მიმართულება ძიების ელექტრული მეთოდი.

დღეს წარმატებით ვითარდება საძიებო გეოფიზიკის ერთ-ერთი ძირითადი მიმართულება ჰიდროგეოფიზიკა. ამ მეთოდს დიდი პოტენციალი აქვს მიწისქვეშა წყლების რესურსების კვლევაში და მენეჯმენტში. ის საშუალებას იძლევა მოვახდინოთ წყალშემცველი ფენების კარტირება, მათი სიმძლავრისა და მიწისქვეშა ნაკადის მოძრაობის მიმართულების დადგენა [2].

ძიების, როგორც ჰიდროგეოლოგიური, ისე გეოფიზიკური მეთოდები ემსახურება მიწის სიღრმეში არსებული ობიექტების გამოვლენას [3]. გამოყენებით გეოფიზიკას განეკუთვნება ძიების გეოფიზიკური მეთოდები, რომლებითაც ბუნებრივ და ხელოვნურ ფიზიკურ ველებზე დაკვირვების გზით იკვლევენ დედამიწის ქერქისა და მისი შიგნეთის აგებულებას, სასარგებლო წიაღისეულის საბადოებს და საინჟინრო გეოლოგიის საკითხებს. ჰიდროგეოლოგიური კვლევების საშუალებით ხდება მიწისქვეშა წყლების საბადოების გამოვლინება, მათი რესურსების, მარაგების და რეჟიმის შეფასება, აგრეთვე მიწისქვეშა წყლების ხარისხობრივი მაჩვენებლების დადგენა და მოძრაობის კანონზომიერების შესწავლა [1]. საკვლევი ობიექტების განლაგებაში არსებულმა პრინციპულმა მსგავსებამ წარმოშვა ჰიდროგეოლოგიაში გეოფიზიკური მეთოდების გამოყენების იდეა.

საყოფაცხოვრებო სასმელი წყლის დეფიციტის დაძლევის მიზნით შემუშავებული იქნა პროექტი - „ჭიათურის წყლის მომარაგების სისტემის რეაბილიტაციის მოწყობა“ (PROJECT REFERENCE: EP125026). პროექტში მონაწილეობას ღებულობდა საქართველოს გეოფიზიკური ასოციაცია და კომპანია EPTISA SERVICIOS DE INGENIERIA S.L. BRANCH IN GEORGIA. მეცნიერთა ჯგუფმა ჩაატარა კვლევები, რათა დაედგინა მდ. ყვირილისა და მდ. ლაშურას მიმდებარე ტერიტორიაზე მიწისქვეშა წყალშემცველი ჰოროზონტის პოტენციალი. [4]

გეოლოგიური პირობები - საკვლევი ტერიტორია მდებარეობს 1,5-2 კმ. ქ. საჩხერიდან და 14-15 კმ. ქ. ჭიათურიდან, მდ. ყვირილის მარცხენა ნაპირზე. საკვლევი ტერიტორია აგებულია, ძირითადად, მდ. ყვირილის მეოთხეული ასაკის ალუვიური წარმონაქმნებითა და ოლიგოცენის ნალექებით. უკანასკნელი ქმნის მდინარის ხეობის განაპირა ნაწილებს და მისი ძირი კი დაფარულია ალუვიური ნალექებით.

მდ. ყვირილის ალუვიური ნალექები გავრცელებულია ხეობის ფსკერზე, თითქმის ყველგან, ისინი წარმოდგენილია ლოდ-კენჭნარებით და მომწვანო ფერის წებოვანი თიხის

ფენებით. გეოლოგიურ ჭრილში ზემოდან ქვემოთ, ლოდ კენჭნარის ფენის ზედა ნაწილში დაახლოებით 1-2 მ-მდე შემავსებლად გვევლინება თიხიანი ქვიშა, რომელიც სიღრმის ზრდასთან ერთად იცვლება ქვიშიანი და ხრემ-ქვიშიანი მასალით. თუმცა, აღნიშნულ ფენებში ამ შემავსებლის კონტაქტის მკვეთრად გამოყოფა მათი თანდათანობითი გადასვლის გამო არ ხერხდება. ლოდები და ხრემი ძირითადად მაგმური და მეტამორფული ქანებისგან შედგება, იშვიათად წარმოდგენილია დანალექი ქანებით. ლოდ-ხრემიანი ფენაში გვხვდება მცირე ზომის თიხის ლინზები. მათი სიმძლავრე არ აღემატება 1,5-2,0 მ-ს. თიხის ლინზები გვხვდება, როგორც ლოდ-ხრემიანი ფენის შუა ნაწილში, ასევე მათ ფუძეშიც ძირითად ქანებთან კონტაქტში. ჭალისზედა ალუვიური ნალექები ყველგან დაფარულია 2 მეტრამდე სიმძლავრის თიხნარებით. საკუთრივ ალუვიური ნალექების სიმძლავრე მერყეობს 15მ-დან 20 მ-მდე.

ოლიგოცენის ასაკის ნალექები საკვლევ ტერიტორიაზე ყველგანაა გავრცელებული. მდ. ყვირილის ხეობის ფსკერზე ისინი დაფარულია ალუვიური ნალექებით და ზედაპირზე გამოდიან ხეობის ფერდობზე [5]. ეს ნალექები ჭრილში ზემოდან ქვემოთ წარმოდგენილია საკმაოდ მკვერივი, ფენოვანი, მომწვანო-მონაცრისფრო ფერის თიხებით. მათ ქვეშ გვხვდება კვარციანი წვრილმარცვლოვანი ქვიშაქვები და ქვიშები.

ჰიდროგეოლოგიური პირობები - აღწერილ ქანებს შორის წყალშემცველია ალუვიური ლოდხრემიანი ქანები ქვიშის შემავსებლით, რომელიც ქმნის გრუნტის წყლის ჰორიზონტს თავისუფალი ზედაპირით და ოლიგოცენის ქვიშაქვები და ქვიშები, რომლებიც ქმნიან წნევიან წყალშემცველ ჰორიზონტს, ხოლო იმავე ასაკის თიხები წარმოადგენენ აღნიშნული ჰორიზონტებისათვის წყალგაუმტარ ფენას [3].

ალუვიური ნალექების წყალშემცველი ჰორიზონტი გავრცელებულია მდ. ყვირილის ხეობის ყველა გაფართოებულ ნაწილში. საკვლევ ტერიტორიის ჩრდილოეთით, მდინარის დინების გასწვრივ, წყალშემცველი ჰორიზონტი ძირითადად იკვებება ინფილტრაციის ხარჯზე, ხოლო ჩვენი ტერიტორიის ფარგლებში და მდინარის დინების გასწვრივ სამხრეთით, მდინარე ფილტრავს წყლებს ჰორიზონტში და ზოგან გრუნტის წყლები კვებავს მდინარეს. გარდა ამისა, რაიონის გრუნტის წყლები იკვებება ინტენსიური ატმოსფერული ნალექების ხარჯზეც. ნაწილობრივ, აღწერილი ჰორიზონტის კვება ხდება მდ. ლაშურის ხარჯზე (ხარჯი 0.1-0.2 მ³/წმ). თუმცა, გრუნტის წყლების კვების ბალანსში ეს უკანასკნელი თამაშობენ მეორეხარისხოვან როლს, რადგან მდინარე ლაშურა მიედინება, ძირითადად გადამხურავ თიხნარებში, რომლებიც ხასიათდებიან შედარებით დაბალი წყალგამტარებლობით. გრუნტის წყლების კვება სხვა ჰორიზონტებიდან წყლის გადმოდინების ხარჯზე გამორიცხულია, რადგან აღნიშნული ჰორიზონტი ქვემოდან მთლიანად შემოსაზღვრულია ოლიგოცენური ასაკის წყალგაუმტარი თიხებით

აღწერილი წყალშემცველი ჰორიზონტი, რელიეფში თავისი მორფოლოგიური მდგომარეობის, წყალშემცველი ფენის შემავსებლის გრანულების შემცველობისა და მუდმივად მოქმედი წყალსავსე ჰიდროგრაფიული ქსელის არსებობის ხარჯზე, ხასიათდება მაღალი წყალშემცველობითა და წყალგამტარობით.

ჩატარებული კვლევების აღწერა - როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ კვლევების ჩატარება ამ უბანზე განპირობებული იყო იმ ფაქტორით, რომ ყვირილას ჭალა ამ ადგილას ფართოა და ალუვიური ნალექები წარმოდგენილია ქვიშა-კენჭნარით. მათში არსებული გრუნტის წყლები ძირითადად იკვებება მდ. ყვირილით და ატმოსფერული ნალექებით. ეს უკანასკნელი უხვად მოდის ამ რეგიონში. სამუშაოების დეტალურ ამოცანებს წარმოადგენდა საკვლევ ტერიტორიაზე, მდ. ყვირილისა და მდ. ლაშურას მიმდებარე ნიადაგისქვეშა ალუვიური ნალექების მახასიათებლების შესწავლა. კვლევები ჩატარდა 170 მ. სიღრმემდე, რათა შესწავლილიყო ალუვიონის მახასიათებლები, მისი კავშირები და სიმძლავრეთა განსხვავებები და საბოლოოდ, გამოვლენილიყო ყველაზე პერსპექტიური უბნები დამატებითი კვლევებისათვის. კერძოდ, მიწისქვეშა წყლების მარაგის მეტი პროდუქტიულობის თვალსაზრისით. წყალმომარაგების წყაროების გამოსავლენად, ქ. ჭიათურის მთიანი რეგიონის სამეურნეო-სასმელი წყლის დეფიციტის შევსების მიზნით, 1962-1968 წლებში, გ. მამულიას ხელმძღვანელობით, ჭიათურა-საჩხერის რაიონში ჩატარდა ჰიდროგეოლოგიური აგეგმვითი

მებნა-ძიების სამუშაოების კომპლექსი. (სადიებო ჰიდრო-გეოლოგიური ჭაბურღილების ბურღვა; წყალშემცველი ფენის ტესტირება ამოტუმბვის მეთოდით; მიწისქვეშა წყლის და ზედაპირული (მდ. ყვირილას) წყლების ქიმიური შემადგენლობისა და ბაქტერიული მდგომარეობის შესწავლა; ტოპოგრაფიული სამუშაოები (ჭაბურღილების მიზმა და სხვა)[3]; ეს საფუძვლად დაედო წყალმომარაგების სისტემის გაანგარიშებებს. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებული იქნა ერთ-ერთი გეოფიზიკური მეთოდი - ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება (ვეზი), კერძოდ წინაღობის მეთოდი.

კვლევის მეთოდიკა - დედამიწის წიაღში არსებული კუთრი წინაღობის არაერთგვაროვნებები ამახინჯებენ პოტენციალთა განაწილებას ერთგვაროვან გარემოსთან შედარებით. სწორედ ამ ერთგვაროვანი ველისაგან გადახრას (ანომალიას) იყენებენ სიღრმეში არსებული სასარგებლო წიაღისეულის, კერძოდ წყალშემცველი ჰორიზონტების, აღმოჩენისათვის.

თუ გარემო ერთგვაროვანია, წინააღმდეგობის მეთოდი გვამღებს მის ჭეშმარიტ კუთრ ელექტრულ წინაღობას, რომელიც არ იქნება დამოკიდებული დედამიწის ზედაპირზე ელექტროდების მდებარეობაზე. არაერთგვაროვან გარემოში კი კუთრი ელექტრული წინაღობა გეოელექტრული ჭრილის რთული ფუნქციაა, ამიტომ ΔU და მაშასადამე წინაღობა ρ დამოკიდებული უნდა იყოს ელექტროდების მდებარეობაზე, ვინაიდან გამოსაკვლევი გარემო წარმოდგენილია განსხვავებული წინაღობის ფენებით, გაზომილი წინაღობა არ შეესაბამება ჭეშმარიტ ელექტრულ წინაღობას. ამიტომ არაერთგვაროვან გარემოში გაზომილ ρ -ს სიდიდეს უწოდებენ მოჩვენებით წინაღობას (apparent resistivity) და აღნიშნავენ ρ_a -ით. [6]

გეოფიზიკური მეთოდების გამოყენების ერთ-ერთი ფუნდამენტური მოთხოვნა არის შესასწავლი ობიექტის ფიზიკური თვისებების კონტრასტულობა ძირითადი გარემოს მიმართ. წინაღობის მეთოდით ელექტროძიებისათვის, რომელსაც მიეკუთვნება ვერტიკალური ელექტრული ზონდირება (ვეზ) - ეს ნიშნავს, რომ შესასწავლი ობიექტის კუთრი ელექტრული წინაღობა შესამჩნევად უნდა განსხვავდებოდეს იმ გარემოს კუთრი ელექტრული წინაღობისაგან რომელშიც იმყოფება.

კუთრი ელექტრული წინაღობა ძირითადად დამოკიდებულია შემდგომ ფაქტორებზე: [7]

- ქანების წარმომქნელი მინერალების კუთრი წინაღობა;
- ფორიანობა და ნაპრალოვნება;
- ტენიანობა;
- ფორების შემავსებელი სითხის კუთრი ელექტრული წინაღობა (პირდაპირ კავშირშია მიწისქვეშა წყლების მარილიანობასთან და ტემპერატურასთან);
- თიხის შემცველობა.

ქანების მაფორმირებელი მინერალების კუთრ ელექტროულ წინაღობას, როგორც წესი, მცირე წვლილი აქვს ქანების კუთრ ელექტრულ წინაღობაზე. ამ ფაქტის მიზეზი კი მდგომარეობს იმაში, რომ ქანების უმეტესობა წარმოადგენს დიელექტრიკს. რაც მეტია წყალი ქანების ფორებში და რაც ნაკლებია კუთრი ელექტრული წინაღობა წყლისა - მით ნაკლებია ქანების კუთრი ელექტრული წინაღობა. მაგალითად მშრალ ქვიშას უფრო მაღალი კუთრი ელექტრული წინაღობა ექნება ვიდრე დატენიანებულს. ამასთან, ქანის კუთრი ელექტრული წინაღობა არ შეიძლება იყოს ქანების შემავსებელი წყლის კუთრი ელექტრული წინაღობაზე უფრო დაბალი.

ქანში არსებული წყლის ხვედრითი ელექტრული წინაღობა, დამოკიდებულია ძირითადად მარილიანობაზე და ტემპერატურაზე. რაც მეტია მარილიანობა მით ნაკლებია კუთრი ელექტრული წინაღობა.

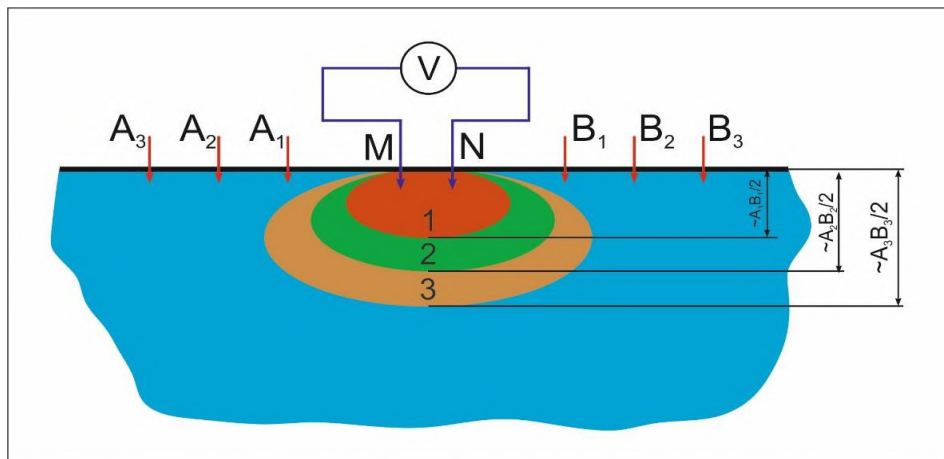
ცალკე საკითხია თიხა, მისი კუთრი ელექტრული წინაღობა ძალიან დაბალია (წყლისაზეც კი). მაგალითად კუთრი ელექტრული წინაღობა წყლისა შეიძლება 25-30 ომი.მ, ხოლო იურული პერიოდის თიხის წინაღობა 10-15 ომი.მ. ამის მიზეზი თიხაში არსებული რთული კაპილარული პროცესებია. რაც მეტია თიხის შემცველობა ქანში მით ნაკლებია კუთრი ელექტრული წინაღობა. (ცხრილი.1)

როგორც ვხედავთ მოცემული მაგალითებიდან კუთრი ელექტრული წინაღობა სხვადასხვა ქანებისთვის განსხვავებულია, რაც გეოფიზიკოსებს აძლევს საშუალებას წარმოადგინონ გეოელექტრული ჭრილები.

ცხრილი 1. კუთრი ელექტრული წინაღობის ცხრილი ზოგიერთი ქანისათვის

ქანების დასახელება	კუთრი ელექტრული წინაღობა (ომ.მ)		
	მინიმალური	ტიპიური	მაქსიმალური
თიხა	5	10	15
თიხნარი	10	30	50
ქვიშნარი	30	50	80
წყლით გაჟღენთილი ქვიშა	50	80	200
წყლით სუსტად გაჟღენთილი ქვიშა	100	150	500
მშარი ქვიშა	200	500	10000
სუსტად დაბზარული კარბონატული კლდოვანი ქანები	500	1000	5000
სუსტად დაბზარული ინტრუზიური ქანები	1000	2000	10000
ნაყარი	30	50	500
მუდმივი გამყინვარების ქანები	500		80000
მინერალური გამტარი ქანები (ძირითადად სულფატები)	0,001		1-5

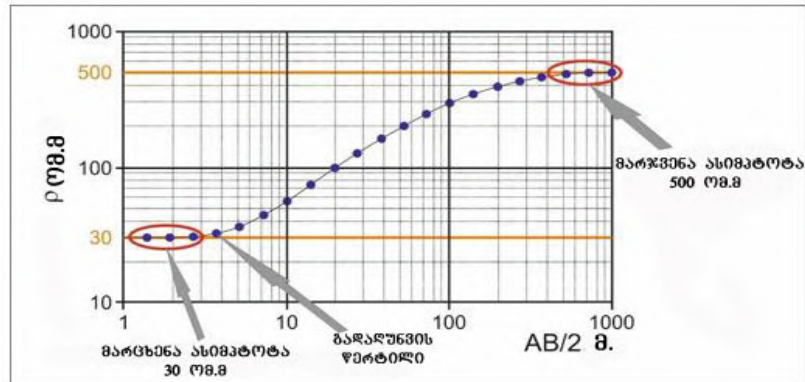
ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების ფიზიკური საფუძვლები



ნახ.1. ზონდირების ეფექტი ვეზ მეთოდში

ზონდირების შესასრულებლად სრულდება გაზომვების სერია, ნელ-ნელა ზრდიან მანძილს მკვებავ AB ელექტროდებს შორის. რაც უფრო დიდია AB/2 სიდიდე (სურ.1) მით ღრმად „ჩადის დენი მიწაში“ და მით უფრო მეტი სიღრმის შესწავლის საშუალებას გვაძლევს. ამასთან ერთად კვლევის ყოველი შემდგომი არე მთლიანად მოიცავს წინას. (ნახ.2) ამგვარად ვეზ მეთოდს იყენებენ რამდენიმე ერთეული მეტრიდან რამდენიმე კილომეტრამდე სიღრმის შესასწავლად.[8]

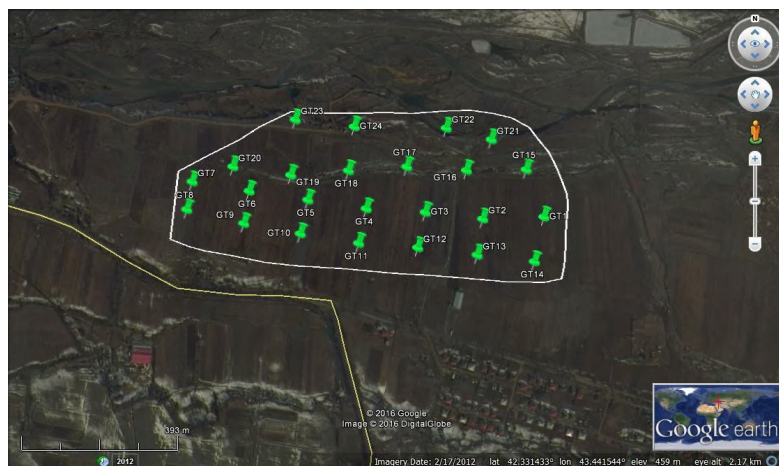
მოჩვენებითი კუთრი ელექტრული წინაღობის სხვადასხვა მნიშვნელობის მიხედვით ყოველი წერტილისათვის აგებენ ვეზ-ის მრუდებს. გრაფიკი აიგება ბილოგარითმულ მასშტაბში (მოდულით 6,25 სმ) ერთ ღერძზე გადაზომილია ρ_a - ის მნიშვნელობა, ხოლო მეორეზე $AB/2$. ელექტროძიებაში $AB/2$ პარამეტრს ეწოდება კვების ხაზის გაშლა, ხოლო გრაფიკს ეწოდება ზონდირების მრუდი. (ნახ.2)



ნახ.2. ვეზ მრუდის მაგალითი

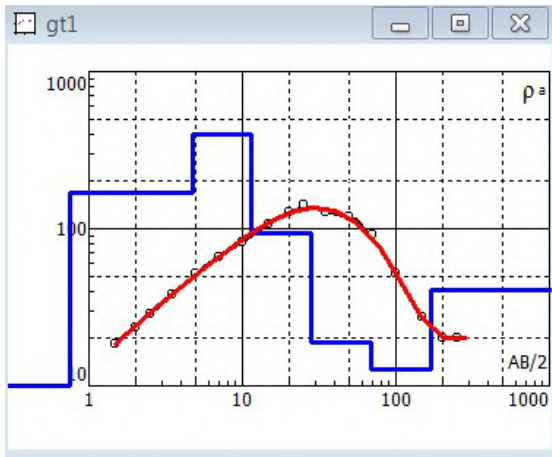
ზონდირების მრუდი თვისობრივად ასახავს ქანების კუთრი ელექტრული წინაღობის ცვლილებას სიღრმის მიხედვით - მოცემული გრაფიკის მარცხენა ნაწილი პასუხობს ზედაპირული ფენებს, რაც უფრო მარჯვნივ გადავდივართ მით უფრო სიღრმეში ჩავდივართ. მოცემულ შემთხვევაში სურათზე გამოსახულია 2 ფენიანი ზონდირების მრუდი. პატარა ინტერვალის დროს ρ_a - ის მრუდი უახლოვდება პირველი ფენის კუთრი წინაღობას (სურ.2 მარცხენა ასიმპტოტა) ამ დროს ზონდირების სიღრმე ნაკლებია პირველი ფენის სიმძლავრეზე. თუ მეორე ფენს შედარებით მაღალი კუთრი ელექტრული წინაღობა აქვს, მაშინ ρ_a - ის მრუდი მრუდი დაიწყებს გაზრდას (სურ.2 მარჯვენა ასიმპტოტა) წინააღმდეგ შემთხვევაში შემცირებას [9].

გაზომვები ჩატარდა სოფ. სავანეს ჩრდილოეთით, მდ. ყვირილას მარცხენა ნაპირის მიმდებარე ტერიტორიაზე. საერთო ჯამში გაკეთდა 26 „ვეზ“-ის პროფილი. (სურ.3) თითოეული პროფილისთვის იშლებოდა 250 მ. სიგრძის კაბელი. სულ სიგრძე იყო 500 მ. და სიღრმე დაახლოებით 170 მ [4].

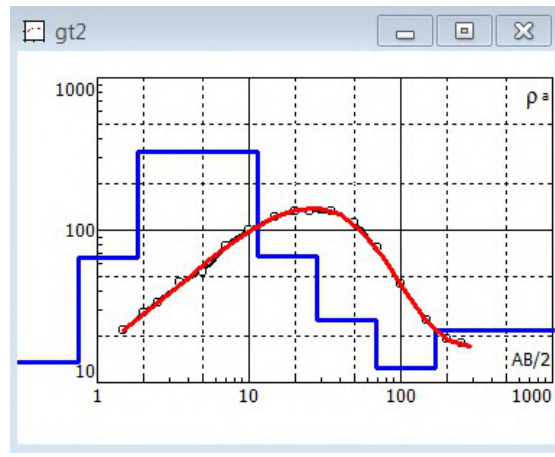


ნახ.3 . ვეზ-ის წერტილების განლაგება „google earth“ ში

შეიქმნა 26 „ვეზ“-ის მრუდი მათ შორის ორი მოყვანილია ქვემოთ



სავანე 2-1



სავანე 2-2

ნახ. 4. წინაღობების მრუდები პროფილის გასწვრივ

წინაღობების ვარიაციების თვალსაჩინოებისათვის შდგენილი იქნა ცხრილი, რომლის ნაწილიც წარმოდგენილია ქვემოთ.

ცხრილი 2. წინაღობების განაწილება განედური პროფილების გასწვრივ

N	დასახელება	X	Y	ალტიტუდა	კუთრ. წინაღ. (მ.მ)	სულრმე	ლითოლოგია	ფენა
1	სავანე 1 GT1	371968.38	4687777.86	461.25	9.94	0.75	თიხა	1
				457.26	170	4.74	სველი ქვიშა	2
				450.5	398	11.5	სველი ქვიშა	2
				433.9	93.6	28.1	წყლით გაჟღ. ქვიშა	2
				393	18.8	69	თიხა	3
				292	12.6	170	თიხა	3
2	სავანე 2 GT2	371813.89	4687775.94	458.25	13.5	0.75	თიხა	1
				457.15	65.6	1.85	ქვიშიანი	2
				447.5	324	11.5	სველი ქვიშა	2
				431	66.8	28	წყლით გაჟღ. ქვიშა	2
				390	25.9	69	თიხა	3
				289	12.6	170	თიხა	3

მსგავსი ფორმით იქნა დამუშავებული და წარმოდგენილი საკვლევი მასალა. მეთოდოლოგიის თანახმად, შესაძლებელია მოკლე „ვეზ“-ის პროფილების შეერთება და მონაცემების გადათვლა რათა შეიქმნას გრძელი პროფილი. გრძელი პროფილის შესაქმნელად „მოკლე ვეზ“ პროფილები წარმოდგენილი იქნა ერთი ხაზის გასწვრივ, დასავლეთ - აღმოსავლეთის განედური მიმართულებით და მისი ორიენტაცია იყო პარალელური მდინარის მიმართულებისა. „ვეზ“-ის სადგურებს შორის განედური დაშორება დაახლოებით 150 მ.-ს

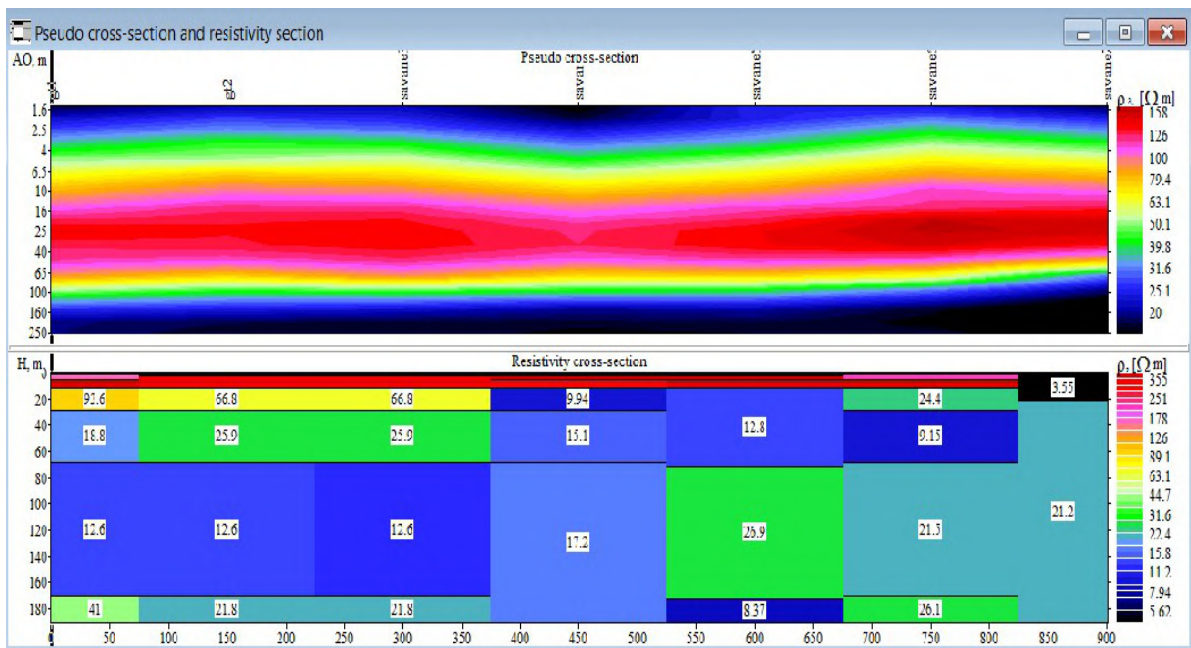
წარმოადგენდა (ნახ.1).



ნახ.5. განედური პროფილების განლაგება

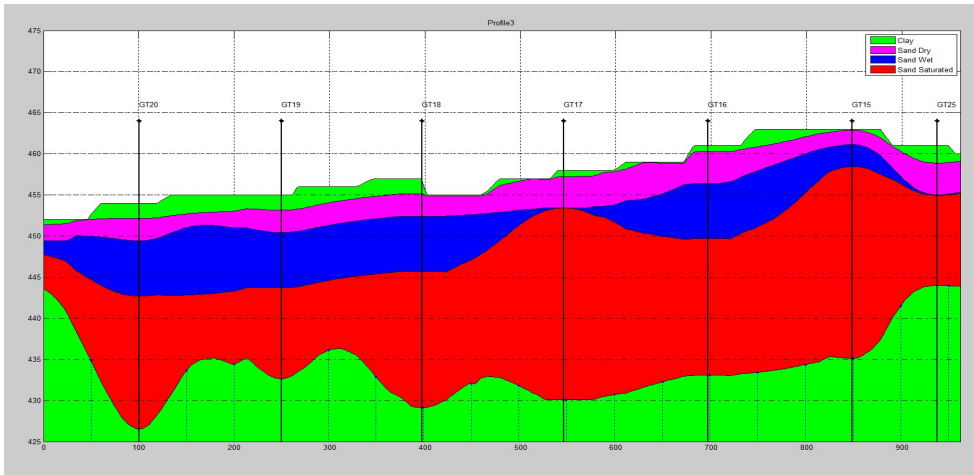
საბოლოოდ შეიქმნა ოთხი განედური პროფილი. სამი მათგანი სიგრძე დაახლოებით იყო 1200 მ (1 პროფილი- GT1-GT7; 2 - GT8-GT13; 3 -GT14-GT20), მეოთხეს ქონდა ნაკლები სიგრძე დაახლოებით 600 მ. (GT21-GT26). პროფილებს შორის დაშორება დაახლოებით 100-150მ-ია.

ქვემოთ (ნახ.6) მოყვანილია წინააღმდეგობის განაწილების სურათი მეორე პროფილის გასწვრივ



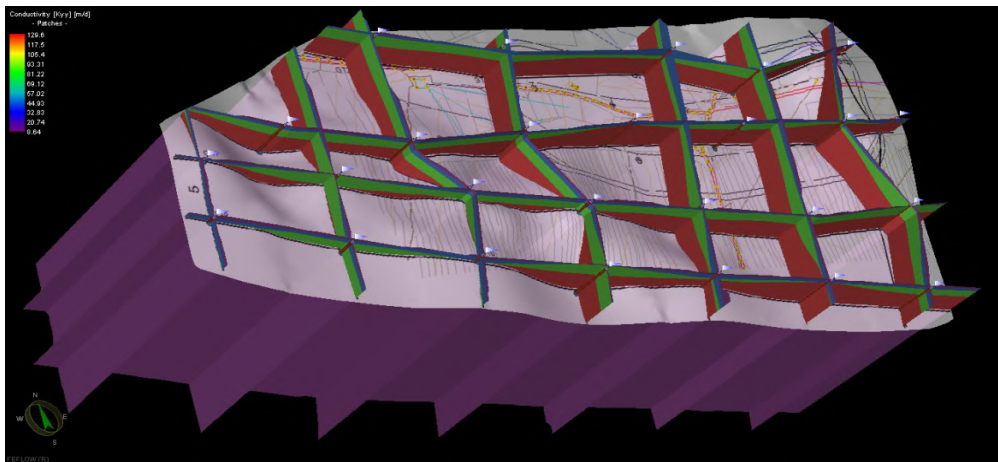
ნახ.6. ვეზ-ების საფუძველზე აგებული ერთ-ერთი ელექტრული პროფილი (პროფილი)2

აგრეთვე შეიქმნა გეოელექტრული ჭრილი (ნახ.7).



ნახ.7. წინაღობისა და ლითოლოგიის ჭრილი მე3 პროფილის გასწვრივ

„ვეზ“-ის მონაცემებზე დაყრდნობით სპეციალური მოდელების პროგრამის „Feflow“ - ს ბაზაზე შეიქმნა საკვლევი ტერიტორიის სამგანზომილებიანი მოდელი (ნახ.8).



ნახ. 8. „ვეზ“ პროფილების განლაგების 3D მოდელი

მოდელის საშუალებით გაითვალა წყალშემცველი ორიზონტის სიმძლავრე და გავრცელების არეალი. ყველაზე დიდი ფენის სიმძლავრე დაფიქსირდა ტერიტორიის ჩრდილო-აღმოსავლეთით (12-15 მ). მისი სიმძლავრე მცირდება დასავლეთის (2მ) და სამხრეთის (6მ) მიმართულებით.

ცხრილი 3. კვლევის შედეგად მიღებული ფენების დახასიათება

ლითოლოგია		წინაღობა (ომ.მ)	სიღრმე (მ.)	სიმძლავრე (მ.)	წყალშემცველობა
თიხა		5-30	1	1	უწყლო
წყალშემცველი ფენა	მშრალი ქვიშა	450-2500	2-6	5	უწყლო
	სველი ქვიშა	150-450	4-6	8	წყლიანი

	წყლით გაჯერებული ქვიშა	30-150	10-17	11	წყლიანი
თიხა		30-50	25-30	-----	უწყლო

დასკვნა - პროგრამაში საბოლოოდ გამოიკვეთა სამი ფენა. (ცხრ.2) ზედაპირიდან პირველი თიხის ფენაა, 5-30 ომ.მ წინააღობით და წყლის ცუდი შეღწევადობით. სიმძლავრე - დაახლოებით 1 მ. მეორე მთავარი წყალშემცველი ფენა გაყოფილია სამ ქვეფენად: ზევიდან პირველი „მშრალი ქვიშა“ წინააღობით 450-2500 ომ.მ, სიმძლავრე - 5 მ. მის ქვეშ მეორე ფენა წინააღობით 30-150 ომ.მ, სიმძლავრით 8 მ. და ქვედა ფენა „გაჯერებული ქვიშა“ წინააღობით 30-150 ომ.მ. სიმძლავრით - 11მ. მესამე ფენა ასევე შეიცავს თიხას და მისი წინააღობაა 5-30 ომ.მ.

ლიტერატურა

1. ზვიადაძე უ. ჰიდროგეოლოგიური კვლევების მეთოდика, ტექნიკური უნივერსიტეტი, თბილისი, 2013.
2. შენგელაია გ., მანაგაძე გ., ჩიქოვანი ჯ., ჯაში გ., ჭიჭინაძე ვ., საყვარელიძე ე. საძიებო გეოფიზიკის კურსი. გამომცემლობა „მეცნიერება“, თბილისი, 1994.
3. Мамулия Г. и др, Отчет по гидрогеологическим изысканиям грунтовых вод аллювиальных отложений р. Квирила, с подсчетом запасов для водоснабжения Чиатура Сачхерского горнопромышленного района. Управление геологии Грузии, 1966-1968.
4. მელიქაძე გ. გეოფიზიკური კვლევების საბოლოო ანგარიში. თბილისი, მაისი, 2016, 21 გვ.
5. ბუაჩიძე ი. მ. და სხვ. საბჭოთა კავშირის ჰიდროგეოლოგია. ტ. X საქართველო, გამომცემლობა „ნედრა“, მოსკოვი, 1970 წ.
6. Викторovich Б. А. Курс общей физики для природопользователей. Электричество. ISBN 9785977504201, БХВ-Петербург, 2010, 438 с.
7. Вертикальное электрическое зондирование, практикум курса “Основы геофизических методов” для студентов геологических специальностей. Москва, 2007.
8. Шейн А.Н., Юдицких Е.Ю., Потапов В.В., Калганов А.С. Лабораторный практикум по электроразведке. Часть 3. Учебно-методическое пособие. Чита, Забайкальский государственный университет, 2018.
9. Хмелевской В.К, Модин А.Г, Яковлева И.Н. - Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Москва, 2005.

წყალშემცველი ფენის სიღრმის და სიმძლავრის დადგენა გეოფიზიკური (ელექტროდიების) მეთოდით საჩხერის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე

თ. რაზმაძე-ბროკიშვილი, ნ. ვარამაშვილი, გ. მელიქაძე, თ. ჭიკაძე, გ. ქაჯაია

რეზიუმე

ნაშრომში წარმოდგენილია, ელექტროდიების მეთოდით, საჩხერის მუნიციპალიტეტის საყოფაცხოვრებო სასმელი წყლის დეფიციტის დაძლევის მიზნით მიწისქვეშა წყლების ძიების ეფექტურობის კვლევა. კვლევები განხორციელდა ძიების ელექტრული მეთოდის, კერძოდ წინააღობის მეთოდის გამოყენებით. გაზომვები ჩატარდა სოფ. სავანეს ჩრდილოეთით, მდ. ყვირილას მარცხენა ნაპირის მიმდებარე ტერიტორიაზე. საერთო ჯამში გაკეთდა 26

ვერტიკალური ელექტრული ზონდირების (ვეზ) პროფილი. დამუშავდა თითოეული პროფილიდან მიღებული „ვეზ“-ის მრუდები, მიღებული მონაცემების საფუძველზე შეიქმნა წინაღობების განაწილების ცხრილი და მიღებული შედეგების საფუძველზე გამოიკვეთა სამი ფენა. ზედაპირიდან პირველი თიხის ფენაა, 5-30 ომ.მ წინააღობით და წყლის ცუდი შეღწევადობით. მეორე მთავარი წყალშემცველი ფენა გაყოფილია სამ ქვეფენად: ზევიდან პირველი „მშრალი ქვიშა“ წინააღობით 450-2500 ომ.მ. მის ქვეშ მეორე ფენა წინააღობით 30-150 ომ.მ. და ქვედა ფენა „გაჯერებული ქვიშა“ წინააღობით 30-150 ომ.მ. მესამე ფენა ასევე შეიცავს თიხას და მისი წინააღობაა 5-30 ომ.მ.

Определение глубины и мощности водоносного слоя геофизическим (электроразведка) методом на примере Сачхерского муниципалитета

Т. Размадзе-Брокишвили, Н. Варамашвили, Г. Меликадзе, Т. Чикадзе, Г. Каджая

Реферат

В статье представлено исследование эффективности поиска подземных вод в Сачхерском муниципалитете (Грузия), для преодоления дефицита питьевой воды, методом электроразведки. Исследования проводились с использованием метода электрического сопротивления. Измерения проводились в к северу от с. Саване, возле левого берега реки Квирила. Всего было выполнено 26 вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ). Были обработаны кривые ВЭЗ полученные из каждого профиля, на основе полученных данных была создана таблица распределения сопротивлений. На основе полученных результатов было выделено три слоя. Первый слой - глина с сопротивлением 5-30 Ом.м и плохим проникновением воды. Второй основной водоносный слой разделен на три подслоя: первый «сухой песок» с сопротивлением 450-2500 Ом. Под ним второй слой с сопротивлением 30-150 Ом.м. И нижний слой "насыщенного песка" с сопротивлением 30-150 Ом.м. Третий слой также содержит глину, и ее сопротивление составляет 5-30 Ом.

Investigate Depth of Water Table and Thickness of Aquifer Using Geophysical (Electrometric) Methods, the Case in the Sachkhere Municipality

T. Razmadze-Brokishvili, N. Varamashvili, G. Melikadze, T. Chikadze, G. Kajaia

Abstract

This paper presents the effectiveness of geophysical investigation for covered deficit of groundwater in the Sachkhere Municipality. The studies were carried out using an electro-resistivity method. The measurements were carried out Norther of village Savannah, on the left bank of the river Kvirila. A totaly of 26 vertical electrical sounding (VES) profiles were made. The curves form of the resistivity distribution of each "vez" profile were processed and based on the data, soem tables were created. The results was divided three layers. The first layer is clay sediment with los resistivity 5-30 Ohm and poor water penetration. The second main aquifer is divided into three sub layers: the first "dry sand" with an resistivity value of 450-2500 Ohm. Under the last one a layer with a resistivity value 30-150 Ohm. "saturated sand". The third layer also contains clay and its resistivity value is 5-30 ohm.

დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია 175 წლისაა

რ. გოგუა

მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტი, თსუ

შესავალი



რობერტ გოგუა

დუშეთის მაგნიტური
ობსერვატორიის ხელმ.
აკადემიური დოქტორი

დედამიწის მაგნიტური ველის (დ.მ.ვ.) შესწავლა მიეკუთვნება გეოფიზიკის ფუნდამენტალური პრობლემების რიცხვს. იგი იძლევა ინფორმაციას დედამიწის აგებულების, ევოლუციის, მის შიგნით და გარეთ – კოსმოსურ სივრცეში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესახებ. დედამიწის მაგნიტური ველი მუდმივად იცვლება, როგორც დროში, ისე სივრცეში. იგი ბუნებრივი, პლანეტარული მოვლენაა და მისი შესწავლა მოითხოვს დედამიწის ზედაპირზე ხშირ და თანაბრად განაწილებულ ობსერვატორიათა ქსელს, რაც ნათლად ჰქონდათ წარმოდგენილი იმ დროისათვის უპრეცედენტო პროექტის „მაგნიტური კავშირი“-ს ავტორებს, მსოფლიო მნიშვნელობის მეცნიერებს ა. ჰუმბოლტს და კ. გაუსს. სწორედ მათი ინიციატივით XIX-ის 30-იან წლებში მსოფლიოს სხვადასხვა რეგიონში დაიწყო მაგნიტური ობსერვატორიების მშენებლობა, რომელთაგანაც ერთ-ერთი იყო თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორია, იგი დაარსდა 1844 წლის 1 მაისს.

თბილისის ქუჩების ელექტროფიკაციამ საფრთხე შეუქმნა ობსერვატორიის მაგნიტური განყოფილების ნორმალურ ფუნქციონირებას, ამიტომ იგი 1904 წელს გადატანილ იქნა მცხეთის ახლოს, სოფ. კარსანში, საიდანაც ზემო ავჭალის ჰიდროელექტროსადგურის „ზაკვისი“-ს ექსპლუატაციაში შესვლის შემდეგ, იმავე მიზეზით, ობსერვატორიამ ბინა დაიძო ქ. დუშეთის მიმდებარე ტერიტორიაზე (1935წ.), სადაც დღემდე ფუნქციონირებს.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორია, ისევე როგორც კარსნის მაგნიტური განყოფილება, თბილისის მაგნიტურ-მეტეოროლოგიური ობსერვატორიის მემკვიდრეა. მისი გეოგრაფიული კოორდინატებია $\varphi = 42^{\circ}05'$, $\lambda = 42^{\circ}42'$. ობსერვატორიის საერთაშორისო კოდია TFS, ხოლო სამეცნიერო ლიტერატურაში მოიხსენიება დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის სახელით.

ამჟამად ობსერვატორია შედის ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შემადგენლობაში. მისი ძირითადი ფუნქციაა დედამიწის მაგნიტური ველის ელემენტების ვარიაციების უწყვეტი რეგისტრაცია და აბსოლუტური მნიშვნელობების პერიოდული განსაზღვრა.

მაგნიტური ობსერვატორიის დუშეთში დაფუძნების მოკლე ისტორია

ზემო-ავჭალის ჰიდროელექტროსადგურის ექსპლუატაციაში გაშვებამ, რასაც მოჰყვა თბილისი-ფოთის რკინიგზის ელექტროფიკაცია, რამაც საშიშროება შეუქმნა მაგნიტური

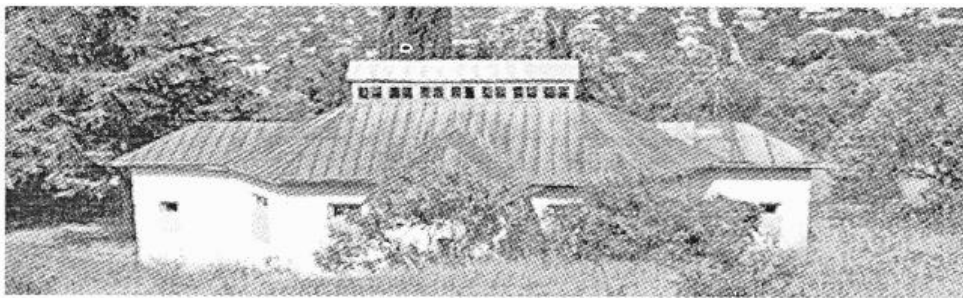
ობსერვატორიის ნორმალურ ფუნქციონირებას. ამ გარემოებების გათვალისწინებით საქართველოს განათლების სახალხო კომისრის დ. კანდელაკის განკარგულებით (07.01.1927წ.) შეიქმნა სპეციალური კომისია გეოფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორის მ. ნოდის თავმჯდომარეობით. კომისიის წევრები: უნივერსიტეტის ფიზიკის კათედრის პროფ. ალ. დიდებულძე, გეოლოგიის კათედრის პროფ. ალ. ჯანელიძე, დოცენტი ნ. აკინფიევი და „ზაჰესის“ წარმომადგენელი. კომისიას დაევალა შეესწავლა „ზაჰესის“ და ელექტროფიციერებული რკინიგზის გავლენა კარსნის მაგნიტური ობსერვატორიის მონაცემებზე.

კომისიამ სპეციალური გამოკვლევებისა და გაანგარიშებების შემდეგ დაადგინა, რომ ზემო ავჭალის ჰიდროელექტროსადგურის ამუშავება და თბილისი-ფოთის რკინიგზის ელექტროფიკაცია „დამლუპველ გავლენას მოახდენს მაგნიტური ობსერვატორიის ნორმალურ ფუნქციონირებაზე“, ამიტომ აუცილებელი გახდა ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირებისათვის მოეძებნათ ახალი ტერიტორია.

პირველი გამოკვლევები ობსერვატორიისათვის ტერიტორიის შერჩევის მიზნით ჩაატარეს კარსნის ობსერვატორიის თანამშრომლებმა შ. ფავლენიშვილმა და შ. ხუჭუამ, მ. ნოდის ხელმძღვანელობით. დეტალურად იქნა გამოკვლეული ტერიტორიის მაგნიტური ველი, როგორც კარსანი-დუშეთის პროფილზე, ისე ქ. დუშეთის მიმდებარე ტერიტორიაზე. აღნიშნული გამოკვლევების საფუძველზე გაკეთდა დასკვნა, რომ ქ. დუშეთის მიმდებარე ტერიტორია სრულად აკმაყოფილებდა მაგნიტური ობსერვატორიის ნორმალური ფუნქციონირების პირობებს.

დუშეთში მაგნიტურმა ობსერვატორიამ ფუნქციონირება დაიწყო 1935 წლის ზაფხულში. ამ დროს აბსოლუტური და ასტრონომიული დაკვირვებები ტარდებოდა ობსერვატორიის ეზოში დადგმულ საველე კარავში. ამ დროს პროფ. რ. ხუციშვილის ხელმძღვანელობით აშენდა სავარიაციო პავილიონი და დაიდგა მაგნიტომეტრები ნ. ინჭკირველის და ე. ხახუტაშვილის მონაწილეობით.

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიისათვის კაპიტალური შენობების აგებას ხელი შეუშალა მეორე მსოფლიო ომმა. ომის დამთავრების შემდეგ ობსერვატორიისათვის პირველი დაფინანსება გამოიყო 1946 წელს, რის შემდეგაც დაიწყო კაპიტალური შენობების მშენებლობა. თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის პროფესორ მ. ნოდის და თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორიის დირექტორის ი. ცუცქირიძის მიერ შერჩეული იქნა ადგილი აბსოლუტური პავილიონის ასაშენებლად. პავილიონის მშენებლობას სათავეში ჩაუდგა სპეციალური კომისია საქართველოს ჰიდრომეტ სამსახურის უფროსის გ. ლეჟავას თავმჯდომარეობით. მშენებლობას აწარმოებდა ინჟინერი ნ.ა. ანდრეევი, ხოლო კონტროლს მ. ნოდია, ი. ცუცქირიძე, ვ. ქებულაძე და ნ. კაციაშვილი. აბსოლუტური პავილიონის მშენებლობის დასრულებისთანავე (1953წ.) მოხდა მისი აღჭურვა მაგნიტომეტრებით. პავილიონი აშენდა კარსნის პავილიონის პროექტით და ქვიური მასალით, მშენებლობისათვის ყვითელი ქვიშა (როგორც არამაგნიტური) შემოტანილი იქნა კასპის ზღვიდან, ხოლო სახურავი გადაიფარა სპეციალურად ობსერვატორიისათვის მოსკოვიდან ჩამოტანილი სპილენძის ფურცლებით.



სურ. 1. დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის მთავარი აბსოლუტური პავილიონი

მაგნიტური ობსერვატორია არსებობის მანძილზე სხვადასხვა უწყებას ექვემდებარებოდა. თავიდან იგი შედიოდა კავკასიის მთავარმართებლის უწყებაში, ოქტომბრის რევოლუციის შემდეგ იგი გადავიდა თბილისის უნივერსიტეტის გამგებლობაში, 1953 წლიდან თბილისის ჰიდრომეტეოროლოგიური ინსტიტუტის, ხოლო 1956 წლის 15 ოქტომბრიდან კი საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის შემადგენლობაშია.

ამ დროიდან იწყება დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ისტორიის ბრწყინვალე ხანა. აშენდა ადმინისტრაციული შენობა, სასტუმრო, დიდი სავარიაციო პავილიონი, ლაბორატორიები აღიჭურვა ახალი ხელსაწყოებით, მოეწყო ტერიტორიის ინფრასტრუქტურა. ობსერვატორიის ტერიტორიაზე დაიწყო ფუნქციონირება სეისმურმა, მიწის დენების და ატმოსფეროს ელექტრობის სადგურმა.

ამ დროს ობსერვატორიაში აბსოლუტური დაკვირვებები წარმოებდა ორი ეგზემპლარი კვარცის მაგნიტომეტრით (QHM), რომლითაც ისაზღვრებოდა დ.მ.ვ.-ის ჰორიზონტალური მდგენელი H . ინდუქციური ინკლინატორით – დახრილობის კუთხე I , როდრანცის დეკლინატორით მიხრილობის კუთხე D , სრული დამაბულობის მოდული T კი ისაზღვრებოდა ბირთვული მაგნიტომეტრით МП-1. მირა წარმოადგენდა სპეციალურ ბოძს, აბსოლუტური პავილიონის სამხრეთით ჰკმ-ის დაშორებით, სოფ. კობიანთკარის ტერიტორიის შემადგენელ ადგილას. დროის შესწორება ხდებოდა რადიოსადგურის მეშვეობით გამოგზავნილი სიგნალით, რომელიც გადმოიცემოდა მოსკოვიდან. დროის შესწორება ხდებოდა ქრონომეტრით, რომლის სიზუსტე მერყეობდა 0,5–2,5 წამს შორის.

აბსოლუტურ დაკვირვებებს აწარმოებდნენ ნ. კაციაშვილი, ე. ხახუტაშვილი და ნ. ხვედელიძე.

ვარიაციული დაკვირვებები წარმოებდა ეშენგაგენის სისტემის ორი სერია მაგნიტომეტრით 20მმ/სთ–ში გაშლით, სწრაფი სვლის ლაკურის მაგნიტომეტრით, გაშლა 360მმ/სთ და ბრიუნელის სავარიაციო სადგურით, გაშლა 360მმ/სთ ტემპერატურა სავარიაციო პავილიონში იცვლებოდა 19.4–20.6°C–მდე. სავარიაციო მაგნიტომეტრებს მომსახურებას უწევდნენ: ე. ხახუტაშვილი, ნ. ნამგალაური, ი. ჭიკაიძე, მ. ებრალიძე, მ. ინაშვილი.

70–იანი წლებიდან ობსერვატორია აღიჭურვა ცნობილი კონსტრუქტორის ვ. ბობროვის მიერ კონსტრუირებული მაღალი სიზუსტის სავარიაციო მაგნიტომეტრების სამი კომპლექტით. მაგნიტომეტრები უწყვეტ რეჟიმში, ფოტო ქალაღზე აფიქსირებდნენ დ.მ.ვ.-ის D , H , Z , T ელემენტების ვარიაციებს, გაშლით 20მმ/სთ და სიზუსტით 2–3 ნტლ/მმ, მაგნიტომეტრმა ფუნქციონირება შეწყვიტა 2004წ. დასაწყისში მრავალ მიზეზთა გამო.

დუშეთი (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის მონაწილეობა საერთაშორისო ღონისძიებებში

მაგნიტურმა ობსერვატორიამ არსებობის ხანგრძლივი ისტორიის მანძილზე მონაწილეობა მიიღო ყველა საერთაშორისო და საკავშირო პროგრამაში. აქედან მნიშვნელოვანია მისი მონაწილეობა პირველ (1882–1883წწ.) და მეორე (1932–1933წწ.) საერთაშორისო პოლარული წლის პროგრამით გათვალისწინებული სამუშაოების ჩატარებაში.* ობსერვატორიამ აქტიური მონაწილეობა მიიღო, აგრეთვე, კავკასიის ტერიტორიის გენერალური მაგნიტური აგეგმვის ჩატარების დროს 1930–1935 წლებში, როგორც საყრდენმა პუნქტმა, რომლის მონაცემებითაც ხდებოდა სავსე მაგნიტური ინფორმაციის კორექტირება.

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ფუნქციონირების ისტორიაში ყველაზე საპასუხისმგებლო და მნიშვნელოვანი იყო მისი მონაწილეობა, იმ დროისათვის უპრეცედენტო საერთაშორისო პროექტში, სახელწოდებით – საერთაშორისო გეოფიზიკური წელი (ს.გ.წ.) – პროგრამით გათვალისწინებულ სამუშაოებში. პროექტი დაიწყო 1957 წლის 15 ივლისს და დამთავრდა 1958 წლის 31 დეკემბერს, რაც სრულად მოიცავდა მზის აქტივობის მაქსიმუმს.

* 1882–1883წწ–ში მაგნიტური ობსერვატორია ფუნქციონირებდა ქ. ტიფლისში, ხოლო 1932–1933 წლებში სოფ. კარსანში.

პროექტში მონაწილეობა მიიღო 67 ქვეყანამ, იგი ითვალისწინებდა 42 სამეცნიერო პრობლემის კვლევას. პროგრამის წარმატებით შესრულების მიზნით შეიქმნა საერთაშორისო ორგანო, სპეციალური კომიტეტი, რომლის ხელმძღვანელად დაინიშნა ცნობილი ინგლისელი პროფ. ს. ჩეპმენი.

საქართველოდან ს.გ.წ.–ს მონაწილენი იყვნენ: საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტი, აბასთუმნის ასტროფიზიკური ობსერვატორია და ჰიდრომეტეოლოგიური სამსახურის სამმართველო.

ს.გ.წ.–ს სამუშაოებს საქართველოში კოორდინაციას უწევდა საუწყებათაშორისო კომიტეტი ცხრა წევრის შემადგენლობით, მეცნიერებათა აკადემიის პრეზიდენტის ნ. მუსხელიშვილის თავმჯდომარეობით.

ს.გ.წ.–ს პროგრამის მოთხოვნით გეოფიზიკის ინსტიტუტი მონაწილეობდა ხუთი პრობლემის დამუშავებაში, რომელთაგან მთავარი იყო დედამიწის მაგნიტური ველის დღე–ღამური, მოკლეპერიოდის ვარიაციებისა და მაგნიტური ქარიშხლების დაფიქსირება. მიღებული ინფორმაციის დამუშავება, ყველა ობსერვატორიისათვის ტარდებოდა ერთი და იგივე პროგრამით. დამუშავებული ინფორმაცია იგზავნებოდა სათანადო უწყებებში.

დ.მ.ო.–ში დაფიქსირებულ ინფორმაციას დ.მ.ვ.–ის ვარიაციების შესახებ დიდ მნიშვნელობას ანიჭებდნენ, როგორც საერთაშორისო, ისე საკავშირო გეოფიზიკური კომიტეტების ხელმძღვანელობა, რაც განპირობებული იყო ობსერვატორიის გეოგრაფიული მდებარეობით (იგი მდებარეობს იონოსფეროში არსებული დენთა სისტემის ფოკუსის ქვეშ) და ტერიტორიის რთული გეოლოგიური აგებულებით (სეისმურად აქტიური ზონა). ამ ინტერესის ერთ–ერთი გამოხატულება იყო მოსკოვის დედამიწის მაგნეტიზმის და რადიოტალღების გავრცელების ინსტიტუტში დამზადებული უნიკალური, მაღალი სიზუსტის ფლუქსმეტრული სადგურის (ავტორი პროფ. კალაშნიკოვი) გადმოცემა, რომელიც დამონტაჟებული იქნა დ.მ.ო.–ში გ. ბერიშვილის, ნ. ხვედელიძის, ი. გოგატიშვილის და წინამდებარე სტატიის ავტორის მიერ.

საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის პერიოდში დაგროვდა აქამდე არნახული რაოდენობის ფაქტობრივი ინფორმაცია მთელს დედამიწაზე მიმდინარე ბუნებრივი მოვლენების შესახებ, რაც მოითხოვდა მოპოვებული ინფორმაციის შეკრებას, შენახვას და ერთობლივ დამუშავებას, რის გარეშეც შეუძლებელი იქნებოდა რაიმე დასკვნის გაკეთება. ზემოთქმულის გათვალისწინებით მეცნიერები შეთანხმდნენ, რომ თანამშრომლობა გაეგრძელებინათ კიდევ ერთი წლით, 1959 წლის ბოლომდე. ამ პერიოდში დაფუძნდა გეოფიზიკურ მონაცემთა მსოფლიო ცენტრები აშშ–ს რამდენიმე ქალაქში – მონაცემების მსოფლიო ცენტრი (MIDD) და მოსკოვში (MIDB).

მონაცემთა მსოფლიო ცენტრების გახსნის შემდეგ დ.მ.ო.–ს მონაცემები რეგულარულად იგზავნებოდა ქ. მოსკოვის მონაცემთა ცენტრში (MIDB) და იბეჭდებოდა საერთაშორისო გამოცემებში. ობსერვატორიის 1957–1959 წლების მონაცემები დაიბეჭდა, აგრეთვე, 1961, 62 და 63 წლებში გეოფიზიკურ დაკვირვებათა წელიწდეულების სახით.

აღსანიშნავია, რომ საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის ცენტრალურ მოვლენად იქცა 1957 წლის 4 ოქტომბერს სსრკ–ს მიერ, მოულოდნელად, პირველი ხელოვნური თანამგზავრის გაშვება კოსმოსში.

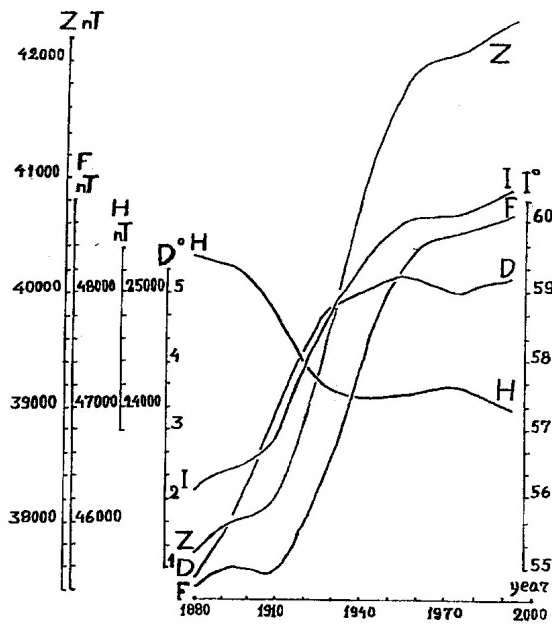
საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის დამთავრების შემდეგ მეცნიერებს გაუჩნდათ იდეა, რომ საჭირო იყო დაგროვილი ინფორმაციის ერთობლივი ანალიზი და ერთმანეთთან თანამშრომლობა. ამას მოჰყვა წყნარი მზის საერთაშორისო წელი (1964–1969), აქტიური მზის საერთაშორისო წელი (1969–1971), მაგნიტოსფეროს საერთაშორისო კვლევები (1976–1979), მზის აქტივობის მაქსიმუმის საერთაშორისო წელი (1979–1981) და სხვა.

ყველა ზემოთ აღნიშნულ ღონისძიებებში დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის მონაწილეობა მაღალ დონეზე იქნა შეფასებული, როგორც საკავშირო, ისე საერთაშორისო გეოფიზიკური კომიტეტის მიერ.

საერთაშორისო გეოფიზიკური წლის განმავლობაში მაგნიტურ ხელსაწყოებზე დაკვირვებებს ატარებდნენ და მასალებს ამუშავებდნენ მაგნიტოლოგები: ნ. კაციაშვილი, გ. ბერიშვილი, ნ.

ხვედელიძე, ი. გოგატიშვილი. ლაბორანტები: მ. ებრალიძე, ი. ჭიკაძე, რ. გოგუა, ლ. შერმადინი, ე. კაიშაური.

დ.მ.ო.-ს ხანგრძლივი ისტორიის მანძილზე დაგროვდა დიდი მოცულობის ფაქტიური მასალა დ.მ.ვ.-ის ცვლილებების შესახებ, რომლის საფუძველზეც შედგენილია ელექტრონული ბაზები: 1. დედამიწის მაგნიტური ველის H, D, Z მდგენელების დღე-ღამური საშუალო მნიშვნელობის ბაზა 1880–2003წ.წ.-ის პერიოდისათვის; 2. H, D, Z მდგენელების საშუალოსათვის მნიშვნელობების ბაზა 1971–2003წ.წ.-ის პერიოდისათვის. სურ. 2-ზე წარმოდგენილია დედამიწის მაგნიტური ველის F, Z, H, D, I ელემენტების საშუალო წლიური მნიშვნელობები გრაფიკული სახით 1880–2003წ.-ის პერიოდისათვის.



სურ. 2.

დუშეთის მაგნიტურ ობსერვატორიაში დაფიქსირებული გეომაგნიტური ინფორმაციის მთავარი მნიშვნელობა გამოიხატება დაკვირვებული მასალის დიდ პერიოდსა და მის ერთადერთობაში მთელი კავკასიის მასშტაბით. გარდა ამისა, ამ ინფორმაციას აქვს დიდი თეორიული და პრაქტიკული ღირებულება ჩვენი პლანეტის შესწავლისათვის. იგი გამოიყენება დედამიწის მაგნიტური ველის ანალიზური მოდელების შექმნისათვის, დედამიწის შიგნით და მის გარეთ – მაგნიტოსფეროში მიმდინარე ფიზიკური პროცესების შესასწავლად, მაგნიტური რუკების შესადგენად საზღვაო და საჰაერო ნავიგაციისათვის, დედამიწის აგებულების შესასწავლად და სასარგებლო ნამარხების კვლევა-ძიებაში, ამინდის პროგნოზში, მიწისძვრების წინამორბედების კვლევაში, მაგნიტური ველის ბიოსფეროზე გავლენის შესასწავლად და სხვა.

ობსერვატორიის დღევანდელი მდგომარეობა და მისი საერთაშორისო კავშირები

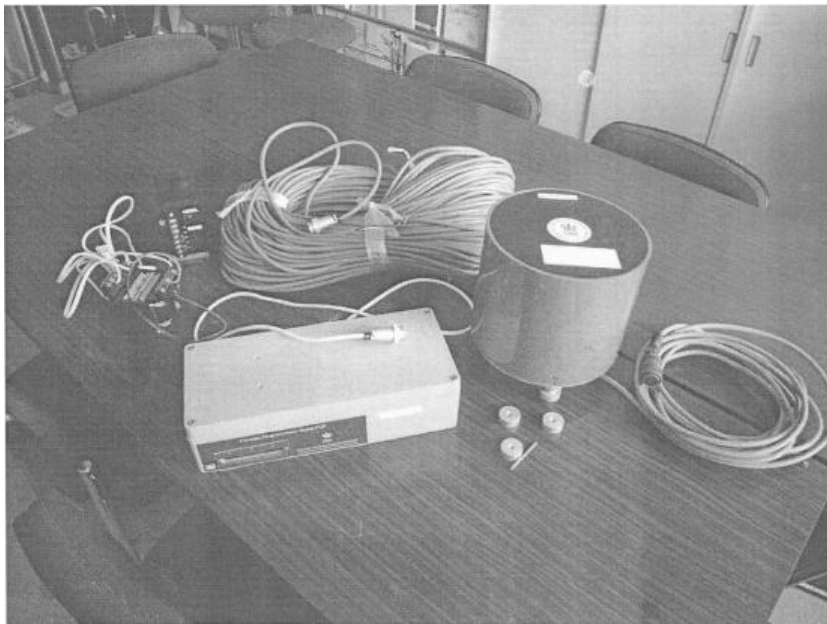
დღეის მდგომარეობით დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორია განიცდის მნიშვნელოვან სიძნელეებს, როგორც ფინანსურს, ისე საკადროს. შემოუკავებელი და მოუვლელია ობსერვატორიის ტერიტორია, შენობები საჭიროებენ გადაუდებელ შეკეთებას, ლაბორატორიებში არაა დაცული ნორმალური ტემპერატურული რეჟიმი, რაც უარყოფითად აისახება მონაცემების სიზუსტეზე და სხვა.

XX ს–ის 90–იან წლებში საქართველოში პოლიტიკური სიტუაციის გამწვავება მკვეთრად აისახა ობსერვატორიის ნორმალურ ფუნქციონირებაზე, რაც გამოიხატა შემდეგში: გამოილია სავარიაციო მაგნიტომეტრებისათვის საჭირო ფოტო–ქაღალდი, ხშირად არ იყო დენი, თანამშრომლები მუშაობდნენ თითქმის უხელფასოდ. მიუხედავად ამისა, ობსერვატორიის თანამშრომლების თავდადების, საქმის სიყვარულის და დიდი პასუხისმგებლობის შედეგად, ობსერვატორიას 2003 წლის 31 დეკემბრამდე არა აქვს არცერთი დღის ინფორმაცია დაკარგული, რისთვისაც ისინი დიდ პატივისცემას იმსახურებენ. ეს თანამშრომლებია: ე. ხახუტაშვილი, ს. ველთაური, მ. გულბათაშვილი, თ. მათიაშვილი, ნ. ნამგალაური, ნ. ქარაული, მ. ებრალიძე, თ. ბეჟიტაშვილი, ე. ვერძეული, ც. დიდებაშვილი და ამ სტატიის ავტორი.

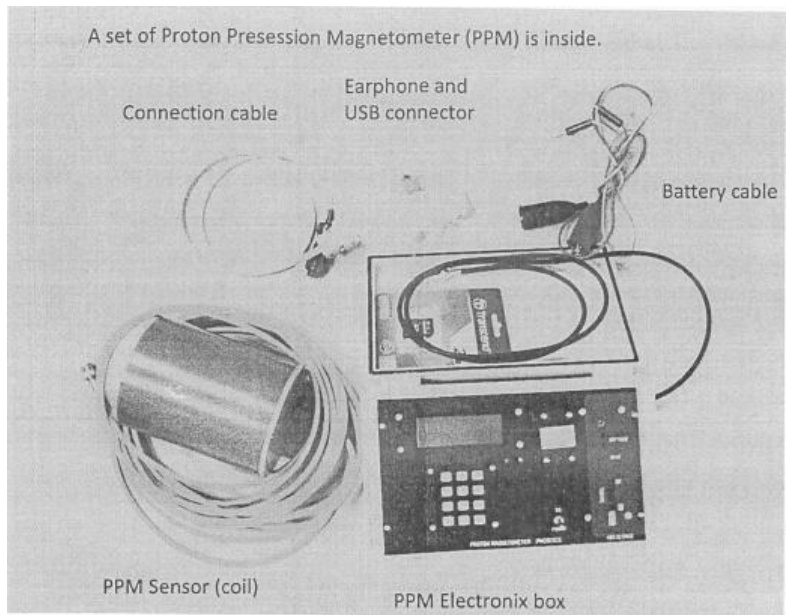
XX ს–ის 90–იან წლებიდან მსოფლიოს ობსერვატორიებმა მასიურად დაიწყეს ციფრულ მაგნიტომეტრებზე გადასვლა. ბუნებრივია, ჩვენც დავიწყეთ ფიქრი, თუ როგორ შეგვეძინა ციფრული მაგნიტომეტრები. ამ მიზნით გეოფიზიკის ინსტიტუტის დირექტორმა, აკადემიკოსმა თ. ჭელიძემ გააგზავნა წერილები მსოფლიოს ათამდე ქვეყანაში, რომლებიც აწარმოებდნენ ციფრულ ობსერვატორიულ მაგნიტომეტრებს. პასუხად მივიღეთ გამოხმაურება უნგრეთიდან, საიდანაც 2004 წ–ს (ლასლო ჰეგიმეგი) გამოგვიგზავნეს ციფრული სავარიაციო მაგნიტომეტრი, რომელმაც ობსერვატორიაში იმუშავა 2007 წ–მდე.

2007 წლის 26 თებერვალს იაპონიის მხარის ინიციატივით გაფორმდა საგრანტო შეთანხმება მსოფლიოს გეოფიზიკურ მონაცემთა ცენტრს (გ.მ.ც.), ქ. კიოტო (გრანტის გამცემი), პროფ. თ. იემორის სახით, ერთის მხრივ და მ. ნოდის გეოფიზიკის ინსტიტუტის, როგორც გრანტის მიმღები, მეორეს მხრივ, მისი დირექტორის, აკადემიურ დოქტორ ნ. ლლონტის სახით.

საგრანტო შეთანხმების თანახმად, დუშეთის მაგნიტურმა ობსერვატორიამ იაპონიიდან მიიღო: ციფრული სავარიაციო მაგნიტომეტრი (FGE, მოდელი DMI), რომელიც აფიქსირებს დ.მ.ვ.–ის D, H, Z ან X, Y, Z ელემენტებს (სურ. 3) და პროტონული მაგნიტომეტრი (PPM), რომელიც აფიქსირებს დ.მ.ვ.–ის სრულ მდგენელ F–ს (სურ. 4).



სურ. 3. ციფრული სავარიაციო მაგნიტომეტრი (FGE, მოდელი DMI)



სურ. 4. პროტონული მაგნიტომეტრი (PPM)

საგრანტო შეთანხმებით დ.მ.ო. ვალდებულია, უწყვეტ რეჟიმში, გადასცეს ქ. კიოტოში (იაპონია) გეოფიზიკურ მონაცემთა ცენტრს ობსერვატორიაში დაფიქსირებული ინფორმაცია დ.მ.ვ.-ის ვარიაციების შესახებ.

გარდა ზემოთ ჩამოთვლილი მაგნიტომეტრებისა, ობსერვატორიაში ფუნქციონირებს თანამედროვე, მაღალი სიზუსტის ციფრული მაგნიტური თეოდოლიტი, რომელიც ზომავს დ.მ.ვ.-ის ელემენტებს: მიხრილობის D და დახრილობის I კუთხეებს სურ. 5 პროტონული მაგნიტომეტრი MMPI-203, ჰელმჰოლცის კოჭით, რომლითაც იზომება დ.მ.ვ.-ის სრული F და ჰორიზონტალური H მდგენელის აბსოლუტური მნიშვნელობები, სურ. 6.



სურ. 5. ციფრული მაგნიტური თეოდოლიტი

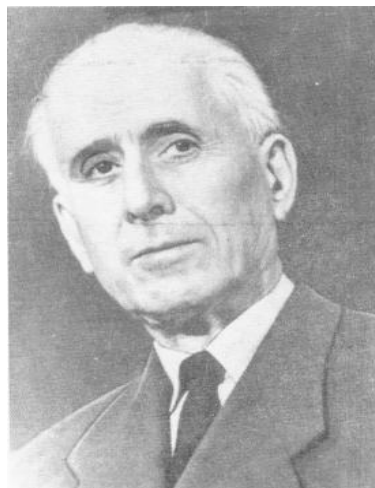


სურ. 6. პროტონული მაგნიტომეტრი MMII-203 ჰელმჰოლცის კოჭათი

ობსერვატორიის ამჟამინდელი თანამშრომლებია: ობსერვატორიის ხელმძღვანელი რ. გოგუა, მაგნიტოლოგი – მეცნიერ მუშაკი თ. მათიაშვილი, გეოფიზიკოსი გ. ტუმური, ლაბორანტი – გ. მათიაშვილი, ლაბორანტი – გ. კიკუაშვილი. დარაჯები: ა. ბულაური, ვ. თანიაშვილი, ო. მოსიაშვილი.

აღსანიშნავია, რომ დუშეთის ობსერვატორიის მთელ კომპლექსს (ტერიტორია, შენობები) 2013 წლის 12 დეკემბერს საქართველოს კულტურისა და ძეგლთა დაცვის მინისტრის №03/224 ბრძანების საფუძველზე მიენიჭა კულტურული მემკვიდრეობის უძრავი ძეგლის სტატუსი. ამდენად, მას კანონმდებლობით გააჩნია კულტურული მემკვიდრეობის ფიზიკური დაცვის არანაკლებ 50 მეტრიანი და ვიზუალური დაცვის 150 მეტრიანი არეალი, რომლის რეჟიმები განსაზღვრულია კულტურული მემკვიდრეობის შესახებ კანონით.

საიუბილეო წელს არ შეიძლება დიდი პატივისცემითა და სიყვარულით არ გავიხსენოთ დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ხელმძღვანელობა და ყველა ის თანამშრომელი, ვინც წვლილი შეიტანა ობსერვატორიის წარმატებულ ფუნქციონირებაში, ესენია ობსერვატორიის ხელმძღვანელები: ნ. ინჭკირველი (1941–1943წწ.), ნ. კაციაშვილი (1943–1953წწ.), მ. ჭელიშვილი (1953–1956წწ.), ნ. ხვედელიძე (1957წ.), ა. ლაშხი (1958–1962წწ.), ნ. ბოჭორიშვილი (1963–1967წწ.), ვ. მაცაბერიძე (1968–1986წწ.), რ. გოგუა (1986–დან დღემდე).



სურ. 7. მ. ნოდია

საქართველოს მეცნიერებათა აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტის ერთ-ერთი და დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის დამაარსებელი, მეცნიერების დამსახურებული მოღვაწე, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი მ. ნოდია (1891–1976 წწ.)



სურ. 8. მ. ნოდია თსუ-ს სტუდენტ-მასწავლებლებთან და ობსერვატორიის თანამშრომლებთან ერთად. პირველ რიგში მარცხნივ რ. გოგუა (1958წ.)



სურ. 9. ნ. კაციაშვილი

გეოფიზიკის ინსტიტუტის გეომაგნეტიზმისა და მაგნიტური ძიების
განყოფილების გამგე, ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი (1908–1975წწ.)



სურ. 10. გ. ბერიშვილი

გეოფიზიკის ინსტიტუტის უფრ. მეცნ. მუშაკი, ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი (1920-1974)



სურ. 11. ნ. ხვედელიძე

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის ხელმძღვანელი 1957წ–ს.
ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის
ფიზიკის ფაკულტეტის დოცენტი



სურ. 12. ა. ლაშხი, ვ.მაცაბერიძე

დუშეთის ობსერვატორიის ხელმძღვანელები: მარცხნივ, ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი ა. ლაშხი, მარჯვნივ, ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი ვ. მაცაბერიძე.



სურ. 13. ე. ხახუტაშვილი

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის მთავარი მაგნიტოლოგი (1914–2003წწ.)



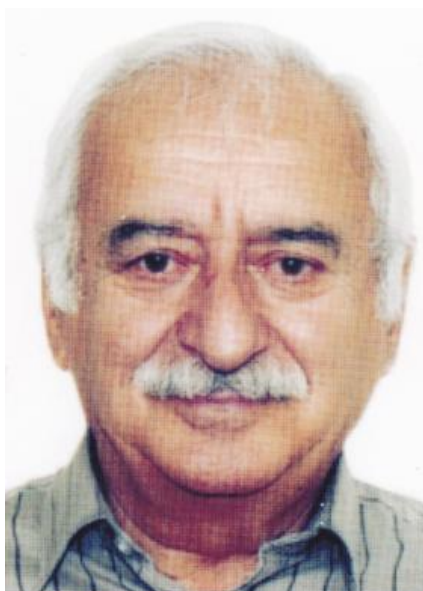
სურ. 14. ი. გოგატიშვილი

გეოფიზიკის ინსტიტუტის უფრ. მეც. მუშაკი,
ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი (1933–1995წწ.)



სურ. 15. ნ. ნამგალაური

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის უფრ. მეცნ. მუშაკი,
ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი (1934–2006წწ.)



სურ. 16. ჯ. ჩიქოვანი

დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის უფრ. მეცნ. მუშაკი,
ფიზ.მათ.მეცნ. კანდიდატი (1934–2006წწ.)



სურ. 17. ფ. ვესი

მაღალი კვალიფიკაციის მექანიკოსი
(1904–1969წწ.)



სურ. 18. ობსერვატორიის თანამშრომლების ერთი ჯგუფი

მარცხნიდან: ე. ხახუტაშვილი, ე. ვერძეული, ს. ველთაური, ნ. ზოტიკიშვილი, მეორე რიგში: ნ. ქარაული, რ. გოგუა. 2001წ.
 ობსერვატორიის ადმინისტრაციულ შენობასთან.

ვფიქრობთ, უპრიანი იქნება გავაცნოთ მომავალ თაობას ამ უძველეს მაგნიტურ ობსერვატორიაში მომუშავე თანამშრომლები, საქმის ერთგული და პატრიოტი პიროვნებები, რომელთა კეთილსინდისიერმა, პროფესიონალურმა შრომამ განაპირობა ობსერვატორიის წარმატებული ფუნქციონირება. მათ სიას მოვიყვანთ ყოველგვარი ცენზის და თანამდებობის გარეშე. აი, ისინი: ბეჟიტაშვილი თემური, ბულაური ამირანი, დიდებაშვილი ციური, დიდებაშვილი ელგუჯა, დიდებაშვილი ასან, ებრალიძე მარიაში, ვერძეული ევგენია, ზოტიკიშვილი ნუნუ, თანიაშვილი გოგლა, თანიაშვილი ვახტანგი, ინწკირველი შალვა, კაიშაური ელგუჯა, კაიშაური ვლადიმერი, კიკუაშვილი გიორგი, ლალიაშვილი ტარიელი, ლოსეურაშვილი ნინო, ლოსეურაშვილი ბელა, მათიაშვილი თამაზი, მათიაშვილი გიორგი, მირცხულავა ომარი, მირზიაშვილი გურამი, მოსიაშვილი ოთარი, ნათელაშვილი ამალია, ტუშური გიული, ქარაული დიმიტრი, ქარაული ბონდო, ქარაული ნათელა, ღარიბაშვილი ედუარდი, შაბურიშვილი ავთანდილი, შერმადინი ციალა, შერმადინი მანია, ჩანადირი ოთარი, ჩანადირი კახა, ჭონქაძე ალექსი, ჭონქაძე ლუარსაბი, ჭონქაძე ვახტანგი, ჭონქაძე კაკო, ჭიკაძე იასონი, ჭიკაძე გოგი, ჭიკაძე ბონდო, ხოსრიაშვილი შალვა, ხუჭუა შალვა, ხუციშვილი რაჟდენ, ხუციშვილი შალვა.

გამოყენებული ლიტერატურა

1. ზაჰესი და კარსნის გეომაგნიტური ობსერვატორია. საქართველოს გეოფიზიკური ობსერვატორია. ტფილისი, 1927 წ., გვ. 3–49.
2. ნოდია მ. მაგნიტური ველი დუშეთის მაგნიტური ობსერვატორიის მიდამოებში. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. VII, №4, 1946., გვ. 157–162.
3. ნოდია მ. მაგნიტური დაკვირვებები დუშეთში 1957 წ. საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტი. გეოფიზიკურ დაკვირვებათა წელიწდეული 1957, თბილისი, 1961, 153 გვ.

4. ნოდია მ., კაციაშვილი ნ. მაგნიტური დაკვირვებები დუშეთში 1958 წ. საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტი. გეოფიზიკურ დაკვირვებათა წელიწადული 1958, თბილისი, 1962, გვ. 5–96.
5. ნოდია მ., კაციაშვილი ნ. მაგნიტური დაკვირვებები დუშეთში 1959 წ. საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის გეოფიზიკის ინსტიტუტი. გეოფიზიკურ დაკვირვებათა წელიწადული 1959, თბილისი, 1963, გვ. 7–96.
6. ბუხნიკაშვილი ა. საერთაშორისო გეოფიზიკური წელი, თბილისი, 1957, 39 გვ.
7. Международный геофизический комитет при президиуме АН СССР. Москва, 1982, 23с.
8. მანია მ. თბილისის გეოფიზიკური ობსერვატორია, ისტორია და არქიტექტურა. თბილისი 2010, 192 გვ.
9. Gogua R. 150 years old Dusheti (Tbilisi) Magnetic Observatory; report VIIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory, Niemek, 1996, pp. 14-16.

დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია 175 წლისაა

რ. გოგუა

რეზიუმე

სტატია ეძღვნება დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორიის დაარსების და განვითარების ისტორიას. მასში განხილულია გეომაგნიტური დაკვირვებების განვითარების ძირითადი ეტაპები, მიღწევები. აღნიშნულია იმ მეცნიერთა დამსახურება, რომელთა ძალისხმევით ობსერვატორია გახდა ერთ-ერთი მოწინავე მსოფლიოში. აღწერილია ობსერვატორიის თანამედროვე მდგომარეობა და მისი საერთაშორისო კავშირები.

Душетской (Тбилисской) магнитной обсерватории 175 лет

Р. Гогуа

Реферат

Статья посвящена истории основания и становления Душетской (Тбилисской) магнитной обсерватории. В ней рассмотрены основные этапы развития геомагнитных наблюдений, достигнутых результатов. Отмечены заслуги тех учёных, усилиями которых обсерватория стала одной из лучших в мире. Описаны его современное состояние и международные связи.

Dushety (Tbilisi) Geophysical Observatory is 175 Years

R. Gogua

Abstract

This article is devoted to the history of foundation and development of the Dushety (Tbilisi) Geophysical observatory. The article briefly reviewed the main stages in the development of geomagnetic observation, the results, achieved. There are merits of the eminent scientists whose efforts observatory has become one of the best in the world. The article describes the current state observatory and its international connection.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И РОСТА ПУЗЫРЬКОВ ПАРА ПРИ ЗАМЕРЗАНИИ И КИПЕНИИ ВОДЫ В ОГРАНИЧЕННОМ ОБЪЁМЕ

А. И. Гвелесиани

Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

1. Как показывают эксперименты, при низких температурах зависимость плотности ледяного отложения от температуры подложки, близка к линейной. Тогда в аналитической зависимости плотности льда $\rho_{сл}$ от параметров среды температурная часть выделяется в виде поправочного множителя $f(T_1)$, а именно $\rho_{сл} = f(T_1)(r V_0)^\alpha$. Величина α колеблется между 0.65 и 0.77 в пределах значений температуры от -5°C до -30°C , а $f(T_1) \sim 1/T_1^{0.7}$. Маклин (1962) получил следующую формулу зависимости между плотностью ледяного отложения, радиусом капли, скоростью её столкновения с подложкой и средней температурой поверхности подложки:

$$\rho_{сл} = 0.11 (-r V_0 T_1^{-1})^{0.76}. \quad (1)$$

Известно, что в закритическом режиме роста градины переохлаждённые капли, сталкивающиеся с ледяной подложкой, примерзают к ней индивидуально (Маклин, 1962). Верхний предел плотности слоя льда, $\rho_{сл}$, можно определить в случае плотной упаковки малых шаров на поверхности сферы (Иванов, 1964):

$$\rho_{сл} = \frac{2}{3} \frac{d_\Gamma}{d_\Gamma + 2d_\kappa} \rho_0, \quad \rho_0 = 0.92 \text{ г/см}^3, \quad (2)$$

где d_Γ – диаметр градины, d_κ – диаметр капли. При $d_\Gamma \gg 2 d_\kappa$, $\rho_{сл} = 0.61 \text{ г/см}^3$. где d_Γ – диаметр градины, d_κ – диаметр капли. При $d_\Gamma \gg 2 d_\kappa$, $\rho_{сл} = 0.61 \text{ г/см}^3$. Автор получил $\rho_{сл} = 0.58 \text{ г/см}^3$. Однако неверно утверждение автора о скачкообразном изменении плотности $\rho_{сл}$ отложения льда при переходе от высокой плотности губчатого льда ко льду с малой плотностью. Анализ экспериментов показал отсутствие скачка плотности и наличие непрерывности в значениях плотности отлагающегося льда от 0.92 г/см^3 до 0.58 г/см^3 .

В работе (Качурин, Гашин и Осипов, 1962) экспериментально было найдено значение критической толщины слоя воды на плоской поверхности $h_{кр}$, принимаемое величиной h_p для воды. Анализ опытных данных и измерений в облаках (Мазин, 1957) показал, что при отложении прозрачного льда на подложке $h_p < 0,1 \text{ см}$, а при отложении непрозрачного льда и инея $h_p > 0.1 \text{ см}$. Можно заключить, что критической толщиной для воды является $h_{кр} = 0,1 \text{ см}$, при которой происходит смена режимов “сухого” и “мокрого” роста, или же, в терминах авторов, вблизи толщины слоя воды около 0.1 см происходит переход от закритического режима к докритическому и наоборот.

2. В работе (Качурин и Гашин, 1968) дан детальный сравнительный анализ результатов экспериментов Маклина (1962) и собственных экспериментов. Показано, что параметр rV_0/T_1 , найденный Маклиным для определения плотности отлагающегося льда, получается как частный случай из теории обледенения самолётов Качурина (1962). Если

$$a^{-1/b} \left(\frac{vq\bar{E}}{\rho} \right)^{1/b} / (T_0 - T_1) \ll 1, \quad (3)$$

где a и b – постоянные, тогда

$$h_p = \lambda\rho(T_0 - T_1) / \rho_n L_n vq\bar{E}. \quad (4)$$

В тех случаях, когда средне-кубический радиус капель меняется пропорционально величине водности воздушного потока

$$r \approx \text{const } q\bar{E} \quad (5)$$

и, кроме того, $\lambda\rho / \rho_n L_n = \text{const}$, то нетрудно видеть, что

$$h_p \sim rv_0 / T_1 \quad (6)$$

Если одно из условий (3) или (5) окажется невыполненным, то критерии h_p и rv_0 / T_1 перестают быть эквивалентными. Отсюда следует, что формула Маклина (1), где, в отличие от формулы Качурина (6), фигурирует $(-r V_0 T_1^{-1})^{0.76}$ выполняется в некоторых частных случаях. Было показано, что какой-либо определённой зависимости между средне-кубическим радиусом капель и эффективной водностью не существует. Для случаев: (а) $r \sim q\bar{E}$; (б) $r \sim 1/q\bar{E}$; (в) общий случай с учётом всех имеющихся данных по Маклину (1962), было показано, что в случае (а) корреляция (ρ_{cl}, h_p) на 0.3 больше корреляции $(\rho_{cl}, rv_0 / T_1)$, в случае (б) выше на 0.65, а в случае (в) примерно на 0.26. На рис. 1 представлена графическая зависимость $(\rho_{cl}, 1/h_p)$, построенная по известным к тому времени данным. При значении $1/h_p = 5 \text{ см}^{-1}$ или $h_p = 0.2 \text{ см}$ наблюдается спад плотности, соответствующий переходу от монокристаллической структуры льда к поликристаллической. Этот переход, как видим, происходит при значении h_p большем, чем критическая толщина $h_k = 0.1 \text{ см}$, так как она разделяет чистый лёд от всех других видов ледяных отложений. Из-за малых различий в плотностях отложений льда в окрестностях $h_p = 0.1 \text{ см}$ не удаётся обнаружить эту границу, так как разность между значениями соответствующих плотностей меньше, чем средний разброс точек.

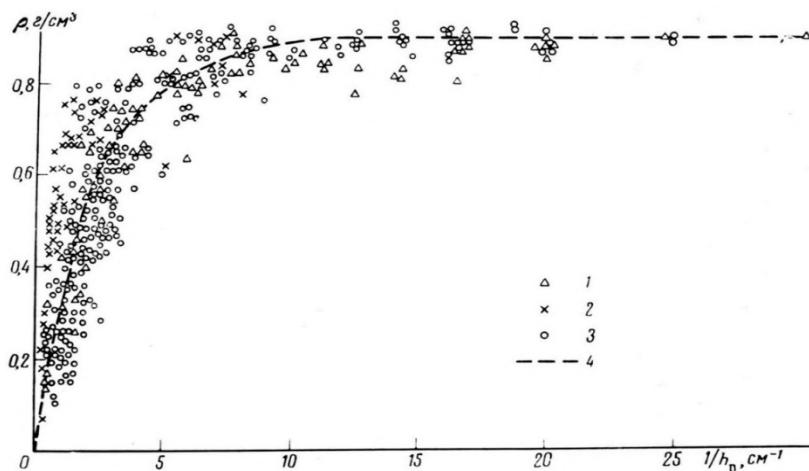


Рис. 1. Зависимость плотности отлагающегося льда от величины параметра $1/h_p$ (Качурин, Гашин, 1968).

Вид зависимости $(\rho_{сл}, h_p)$, представленной на рис. 1, аппроксимируется эмпирической формулой:

$$\rho_{сл} = \rho_0 \left(1 - e^{-0.4/h_p}\right). \quad (7)$$

Резюмируя, авторы заключают, что параметр Маклина (1962) не позволяет судить о структуре и плотности ледяного отложения, образующегося в естественных условиях при обледенении объектов в облаках и в аэродинамических трубах и образовании града, так как условие (6) выполняется лишь в отдельных частных случаях.

Из формул (2) и (7) видно, что между размерами капли и градины существует связь вида:

$$d_k = \frac{2 - 3(1 - e^{-0.4/h_p})}{6(1 - e^{-0.4/h_p})} d_r. \quad (*)$$

Для сферической ледяной поверхности с радиусом кривизны R' , согласно Гвелесиани (1967, 1970), вместо h_p следует пользоваться формулой:

$$h^* = \frac{h_p}{1 - (h_p/R')^2 - (h_p/R')^3}. \quad (**)$$

3. В работе Браунскоума и Халлета (1967) изучался рост крупы и инея. На ранних стадиях роста, благодаря статистической флюктуации скорости поступления облачных капель на предмет, появляются неровности, эффективность захвата которых выше, чем у гладкой поверхности, и они продолжают расти, очевидно, быстрее. Образование цепочек и, соответственно, малая плотность льда, наблюдаемая Маклиным (1962, 1968), основана на этом эффекте. При отсутствии этого эффекта в случае крупных капель плотность будет зависеть от степени деформации капель. Не рассматривая здесь вопроса образования инея из паровой фазы, отметим всё же, что иней с низкой плотностью можно образовать в результате следующих трёх процессов: (1) при случайном осаждении на кристаллах, растущих в основном из паровой фазы; (2) повышенной эффективностью осаждения на выступах; (3) роста из пара, образованного в соседстве с замёрзшей каплей.

Как показали эксперименты (Brownscombe, Hallett 1967), визуальная оценка непрозрачности льда сильно зависит от распределения пузырьков воздуха по размерам. На рис. 2 дана экспериментальная кривая зависимости между скоростью роста радиуса градины (G) и радиусом пузырька (r).

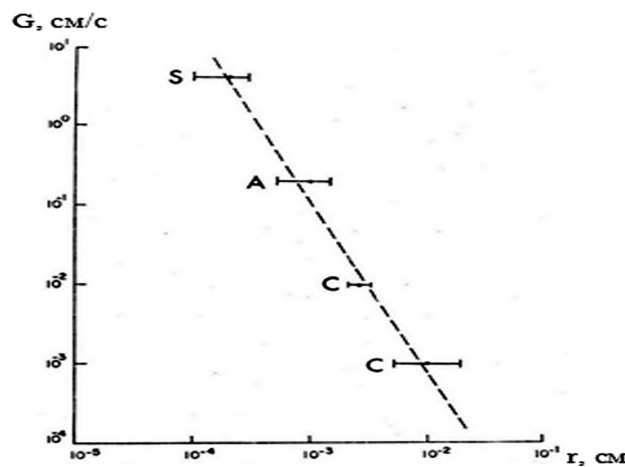


Рис. 2. Зависимость между скоростью роста радиуса градины (G) и радиусом воздушного пузырька (r), (Brownscombe, Hallett, 1967).

Представим аналитическую зависимость экспериментальной кривой Браунскоума и Халлета (рис. 2) в виде радиуса роста воздушного пузырька во времени в процессе кристаллизации воды на градине по известной формуле из аналитической геометрии:

$$\frac{x}{a} + \frac{y}{b} = 1, \quad (8)$$

где $x = \lg G$, $y = \lg r$; $\lg a = 2$, $\lg b = 4$ соответственно отрезки, отсекаемые наклонной прямой рис. 2 соответственно на осях $x = \lg G$, $y = \lg R$. Вместо (8) получаем:

$$\frac{\lg r}{2} + \frac{\lg G}{4} = 1, \quad (9)$$

Отсюда получаем эмпирическую зависимость радиуса воздушно-парового пузырька в замерзающей воде (градины) от скорости перемещения фронта кристаллизации:

$$r^2 = 10^4 G^{-1} \quad (10)$$

или

$$r = 10^2 G^{-1/2}. \quad (11)$$

Отсюда следует, что радиус воздушного пузырька, выделяющегося перед фронтом кристаллизации воды, обратно пропорционален корню квадратному из скорости замерзания воды.

4. Приведём для иллюстрации графическое представление временной зависимости радиуса растущего парового пузыря в воде при перегреве $T = 103,1$ °C, по Релею (1917), которое сильно расходится с экспериментом (Dergarabedian, 1953) – и по теории Plesset, Zwick (1952), хорошо согласующееся с (Dergarabedian, 1953) (см. Гвелесиани, 2018).

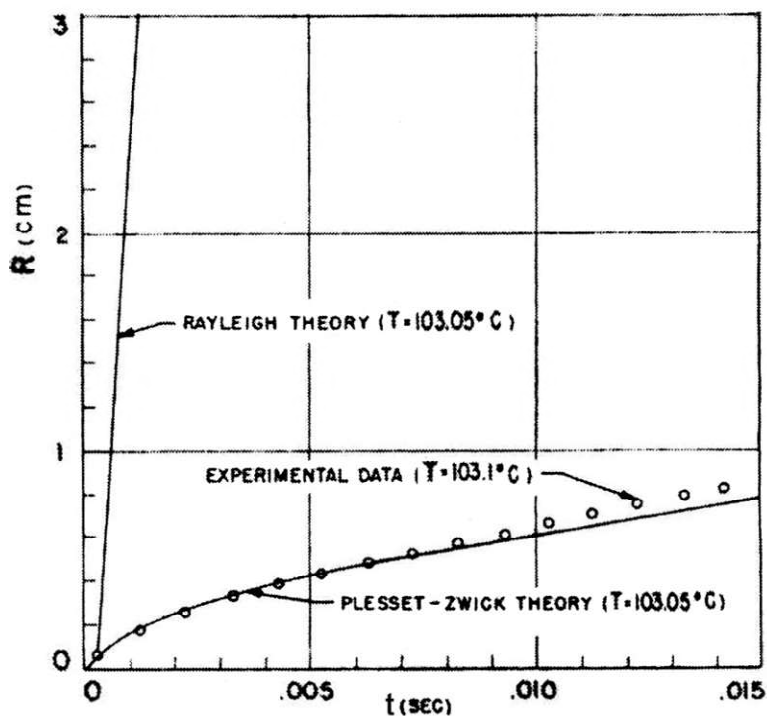


Рис. 3. Сравнение теории с экспериментом. Сплошная прямая построена по (Rayleigh, 1917), сплошная изогнутая кривая – по (Plesset, Zwick, 1952), треугольниками отмечены экспериментальные точки (Dergarabedian, 1953).

4.1. Динамика пузырей в воде описывается обобщённым уравнением Релея-Плессета (Brennen, 1995):

$$\frac{p_n(t) - p_\infty(t)}{\rho_6} = R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{4\nu_6}{R} \frac{dR}{dt} - \frac{2\sigma}{\rho_6 R}, \quad (14)$$

где p_n, p_∞ – соответственно, давление пара в пузыре, внешнее давление; ν_6 – кинематическая вязкость воды, σ – поверхностное натяжение воды. ρ_6 – плотность воды.

Согласно Релею (1917) $R \sim t$, а по Плессету и Цвику (1952) $R \sim t^{1/2}$ (см. рис. 3), в полной же форме (Brennen, 1995) зависимость радиуса парового пузыря $R = f(t)$ следующая:

$$R = \frac{1}{2C(1/2)} Jb(\alpha_6 t)^{1/2}, \quad (15)$$

где Ja – число Джэкоба и $C(1/2)$ – константа, соответственно равные:

$$Ja = \frac{\rho_6 c_{p6} \Delta T}{\rho_n L}, \quad C(1/2) = \frac{1}{2} (3/\pi)^{1/2} \int_0^1 \frac{z^{1/2} dz}{(1-z^3)^{1/2}}. \quad (16)$$

4.2. Уравнение динамики пузыря по Релею-Плессету можно привести к фокусировке энергии, если пренебречь всеми членами на правой стороне уравнения (14), т.е. рассмотреть уравнение:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = 0. \quad (17)$$

Обозначая $dR/dt = X$, будем иметь $R dX/dt + 3/2 X^2 = 0$, откуда получаем решение вида $R \sim t^{2/3}$, занимающее промежуточное положение между вышеупомянутыми решением Релея $R \sim t$, и решением Плессет-Цвика $R \sim t^{1/2}$ (см. также Lohse, 2003).

4.3. В работе Гвелесиани (2018) теоретически рассматривался процесс роста пузырька пара на основе обобщённого уравнения Релея-Плессета как вариационная задача, согласно которой уравнение динамики парового пузыря (14) сводится к уравнению Эйлера-Пуассона вида

$$R^2 R'' = -\frac{2\sigma}{\rho_L}. \quad (16)$$

В данном случае тем же способом энергетической фокусировки, т. е. приравниванием левой части (16) нулю, интегрируем полученное дифференциальное уравнение

$$R^2 R'' = 0. \quad (17)$$

Имеем экстремаль:

$$R \sim t, \quad (18)$$

совпадающую с решением Релея (1917). В первом случае (переохлаждённой воды) перед фронтом кристаллизации выделяются пузырьки воздуха. во втором случае пузырьки воздуха выделяются из перегретой воды на стенках сосуда (или в объёме на частицах примеси) ускоренно до завершающего взрывного кипения воды.

Наконец, собирая вместе полученные результаты, представим их в виде таблицы 1.

Таблица 1. Зависимость радиуса пузырька пара (R) от времени при кипении воды (1 – 6) и (r) при кристаллизации (7); (*) – обозначены экспериментальные работы

1	2	3	4	5	6	7
Rayleigh 1917	Plessett- Zwick, 1952	Dergarabedian. 1953 *	Brennen 1995	Gvelesiani 2018	Гвелесиани 2019	Brownscombe, Hallett. 1967*
$R \sim t$	$R \sim t^{1/2}$	$R \sim t^{1/2}$	$R \sim t^{1/2}$	$R \sim t$	$R \sim t^{2/3}$	$r = 10^2 G^{-1/2}$

Литература

1. Гвелесиани А. И. Некоторые вопросы эволюции градовых частиц. Диссертация на соискание уч. степени кандидата физико-математических наук. Ленинград /Фонды ЛГМИ, 1970, 211 С.
2. Гвелесиани А. И. Статистические и тепловые свойства параметров геофизических термодинамических систем. Труды Института геофизики им. М. Нодиа ТГУ им. Ив. Джавахишвили, т. LXIX, 2018, с. 153-174.
3. Качурин Л. Г. К теории обледенения самолётов. Изв. АН СССР, т. 4, № 1, 1968.
4. Качурин Л. Г., Гашин Л. И. О плотности и структуре льда, растущего в потоке переохлаждённого аэрозоля. Изв. АН СССР, сер. геофиз., № 6, 1962.
5. Качурин Л. Г., Гашин Л. И., Осипов Ю. Г. Управление структурой кристаллов, растущих в потоке переохлаждённого аэрозоля. ДАН СССР, № 4, 1962.
6. Лейбензон Л. С. Об испарении капли в газовом потоке. Изв. АН СССР, сер. геоф.-геогр., N 3, 1940.
7. Махарашвили П. И. Некоторые результаты исследования структуры градин. Тр. ИГ АН ГССР, т. 28, 1972, с. 131-144.
8. Фукс Н. А. Испарение и рост капель в газообразной среде. М.: Изд. АН СССР, 1960.
9. Brennen Chr. E. Cavitation and bubble dynamics. Oxford University Press, 1995, 64 P.
10. Brownscombe J. L., Hallett J. Experimental and field studies of precipitation particles formed by the freezing of supercooled water. Quart. J. R. Met. Soc., v. 93, N 398, 1967.
11. Carte A. K. Air bubbles in ice. Proc. Phys. Soc., v. 77, N 495, 1961.
12. Dergarabedian P. The rate of growth of vapor bubbles in superheated water. ASME J. Appl. Mech. v. 20, 1953, pp. 537-545.
13. Gvelesiani A., Chiabrishili N. Laboratory modeling of thermals generation in geophysical environments by bubble boiling method. The Journal of the Georgian Geophysical Society, v. 16B, 2013, pp. 128-136.
14. Gvelesiani A. On the growth of vapour bubble in metastable liquid as variational problem. The Journal of the Georgian Geophysical Society, v. 21 B, 2018.
15. Knight Ch. A. On the mechanism of spongy hailstone growth. J. Atm. Sci., v. 25, N 3, 1968.
16. List R. Wachstum von Eisswassergemischen im Hagelkanal. Helv. Phys. Acta, v. 32, N 4, 1959.
17. Lohse D. Bubble puzzles. Physics Today. February 2003, pp. 36 – 41.
18. Macklin W. C. The density and structure of ice formed by accretion. Quart. J. R. Met. Soc., v. 88, 1962, p. 375.
19. Plesset M. S., Zwick S. A. A nonsteady heat diffusion problem with spherical symmetry. J. Appl. Phys., v. 23, No. 1, 1952, pp. 95-98.
20. Rayleigh, Lord. On the pressure developed in a liquid during the collapse of a spherical cavity. Phil. Mag., v. 34, 1917, pp. 94-98.

სასრული მოცულობის წყლის გაყინვის და დუღილისას ორთქლის ბუშტების წარმოშობის და ზრდის თავისებურებების შესახებ

ა. გველესიანი

რეზიუმე

ცნობილი და საკუთარი კვლევების საფუძველზე კომპლექსურად იხილება გარკვეული მოცულობის წყლის კრისტალიზაციის და დუღილის შედეგად გამოყოფილი ორთქლის ბუშტის რადიუსის დროში ზრდის სიჩქარის ($G = dR / dt$) პროცესი. წყლის ფაზურ გარდაქმნებთან დაკავშირებით მიღებული თეორიული დასკვნები დაპირისპირებულია მიღებულ სათანადო

ემპირიულ ფორმულებთან. ნაპოვნია რელეი-პლესეტის განტოლების ენერგეტიკულად ფოკუსირებული ამონახსნი ($R \sim t^{2/3}$), რომელიც იკავებს შუალედურ პოზიციას რელეის ($R \sim t$) და პლესეტ-ცვიკის ($R \sim t^{1/2}$) ცნობილ ამონახსნებს შორის. მეტიც, ვარიაციული მეთოდით მიღებული ორთქლის ბუშტის რადიუსის ზრდის სიჩქარის ეილერ-პუასონის ენერგეტიკულად ფოკუსირებული განტოლების ამონახსნი ზუსტ თანხვედნაშია რელეის ($R \sim t$) ამონახსნთან. წყლის კრისტალიზაციის შემთხვევაში დამოკიდებულება ორთქლის ბუშტის რადიუსის (r) და კრისტალიზაციის ფრონტის გავრცელების სიჩქარის (G) შორის შემდეგია: $r \sim G^{-1/2}$.

Об особенностях образования и роста пузырьков пара при замерзании и кипении воды в ограниченном объёме

А. И. Гвелесиани

Реферат

На основе известных и собственных исследований комплексно рассматривается проблема скорости роста радиуса пузырька пара ($G = dR / dt$) при кристаллизации и кипении конечного объёма воды. Исследование ведётся на основе уравнения Релея-Плессета с учётом ранее полученного автором уравнения Эйлера-Пуассона вариационным методом. Найдено энергетически-фокусированное решение уравнения Релея-Плессета для динамики парового пузырька при кипении воды ($R \sim t^{2/3}$), занимающее промежуточное место между известными решением Релея ($R \sim t$) и решением Плессета-Цвика ($R \sim t^{1/2}$). Более того, соответствующее энергетически-фокусированное уравнение Эйлера-Пуассона даёт решение, совпадающее с известным решением Релея ($R \sim t$). В случае кристаллизации зависимость радиуса (r) пузырька пара от скорости его распространения обратно-пропорциональная, ($r \sim G^{-1/2}$).

On the Peculiarities of the Vapour Bubbles Creation and Growth in Freezing and Boiling Volume Limited Water

A. Gvelesiani

Abstract

On the base of well-known and own investigations of the problem of the vapour bubble radius growth velocity ($G = dR / dt$) during both of crystallization and boiling of pure water processes is considered. The investigation is under way by means of Rayleigh-Plesset differential equation and obtained earlier by variation method Euler-Poisson's equation. From energetically focused Rayleigh-Plesset differential equation it was found following solution: $R \sim t^{2/3}$, which takes intermediate place between well-known Rayleigh's solution ($R \sim t$) and Plesset-Zwick's ($R \sim t^{1/2}$) one. It is interesting, that corresponding Euler-Poisson's equation, being energetically focused, has solution similar Rayleigh's ($R \sim t$) dependence. In the case of crystallization the empirical dependence between the radius of bubble and crystallization rate is ($r \sim G^{-1/2}$).

О ГЛОБАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ АТМОСФЕРЫ НА ИОНОСФЕРНЫХ УРОВНЯХ

А. И. Гвелесиани

Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

I. Влияние ионосферной плазмы на общую циркуляцию в верхней атмосфере.

II. Аналитическая модель

1. Необходимость существования общей циркуляции в ионосфере вытекает прежде всего из того факта, что ионосфера, как и нижняя атмосфера, является бароклинной средой. Из-за неравномерного нагревания ионосферы по широте от полюса к экватору образуются изобаро-изотермические солениды, обуславливающие возникновение крупномасштабной циркуляции в верхней атмосфере. Теоретические исследования и численные расчёты системы крупномасштабных ветров в ионосфере стали возможны после накопления систематизации данных наземных, ракетных и спутниковых измерений параметров верхней атмосферы. Более или менее полные сведения о результатах этих измерений и теоретических исследований содержатся в ряде монографий, специальных сборников и статей [1-26]. Однако в этих работах в основном ограничивались лишь анализом результатов численных расчётов и констатацией некоторых закономерностей течений системы ионосферных ветров без подробного теоретического анализа самих уравнений. В настоящем параграфе предпринимается попытка на основе аналитического рассмотрения уравнений движения предсказать некоторые закономерности режима общей циркуляции ветров на ионосферных уровнях с последующим подтверждением полученных теоретических результатов на основе численного решения уравнений движения с использованием известных эмпирических моделей ионосферы и нейтральной атмосферы [3, 10, 13, 14, 16].

2. Основное уравнение движения общей циркуляции нейтральной атмосферы с малой

$$\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } P + \mathbf{g} + 2 \left[\mathbf{V}, \boldsymbol{\omega} \right] + 2 \left[\mathbf{V}, \boldsymbol{\Omega}_0 \right] - \lambda \mathbf{V}_{\perp} + \nu \Delta \mathbf{V}. \quad (1)$$

Для уравнения неразрывности вследствие дозвукового характера ветровых движений будем иметь:

$$\text{div } \mathbf{V} = 0. \quad (2)$$

Здесь \mathbf{V} – скорость ветра нейтральной атмосферы, P, ρ, ν – соответственно, давление, плотность и вязкость атмосферы; \mathbf{g} – ускорение силы тяжести, $\boldsymbol{\omega}$ – угловая скорость вращения Земли, $\boldsymbol{\Omega}_0 = \sigma_2 (2\rho c^2)^{-1} H_0 \mathbf{u}$ – гироскопический коэффициент, $\lambda = \sigma_0 (2\rho c^2)^{-1} H_0^2 -$

коэффициент анизотропного трения, $\overset{\mathbf{u}}{H}_0$ – геомагнитное поле, σ_1 и σ_2 – соответственно поперечная и холловская проводимости [4], $\overset{\mathbf{u}}{V}_\perp = \overset{\mathbf{u}}{V} - \left(\overset{\mathbf{u}}{V}, \overset{\mathbf{u}}{H} \right) \overset{\mathbf{u}}{H}_0 / H_0^2$.

Из анализа данных крупномасштабных движений атмосферы на средних и высоких широтах в ионосфере следует, что существуют хорошо выраженные динамические системы, в которых движение в основном определяется горизонтальными градиентами давления или температуры [6-8]. При этом, как показывают наблюдения и теоретические оценки [1, 4], для таких движений в ионосфере существует квазиравновесие между силой барического градиента $\overset{\mathbf{u}}{G} = -(1/\rho)\nabla P$, силой Кориолиса $\overset{\mathbf{u}}{F}_k = 2\left[\overset{\mathbf{u}}{V}, \overset{\mathbf{u}}{\omega}\right]$ и электромагнитными эффектами $\overset{\mathbf{u}}{F} = -\lambda\overset{\mathbf{u}}{V}_\perp + 2\left[\overset{\mathbf{u}}{V}, \overset{\mathbf{u}}{\Omega}_0\right]$. Таким образом, для крупномасштабных движений типа общей циркуляции с большой степенью точности можно пользоваться следующими упрощёнными уравнениями движения [1]:

$$\lambda\overset{\mathbf{r}}{u}_\perp = \overset{\mathbf{r}}{G} + 2\Omega_1\left[\overset{\mathbf{r}}{u}, \overset{\mathbf{r}}{k}\right], \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g, \quad \text{Div}\overset{\mathbf{u}}{V} = 0, \quad (4)$$

где $\overset{\mathbf{r}}{u}_\perp = \overset{\mathbf{r}}{u} - \left(\overset{\mathbf{r}}{u}, \overset{\mathbf{r}}{H}_0 \right) \overset{\mathbf{r}}{H}_0 / H_0^2$, $\overset{\mathbf{r}}{v} = v_x\overset{\mathbf{r}}{i} + v_y\overset{\mathbf{r}}{j}$ – горизонтальная скорость,

$\overset{\mathbf{u}}{G} = -\rho^{-1}\left[\frac{\partial P}{\partial x}\overset{\mathbf{r}}{i} + \frac{\partial P}{\partial y}\overset{\mathbf{r}}{j}\right]$ – горизонтальный барический градиент,

$\text{Div}\overset{\mathbf{r}}{v} = \partial v_x / \partial x + \partial v_y / \partial y$ – двумерная дивергенция скорости ветра,

$\Omega_1 = \omega \sin \varphi + \sigma_2 H_0 H_z / (2\rho c^2)$, $\lambda = \sigma_1 H_z^2 / (\rho c^2)$, $\overset{\mathbf{r}}{i}, \overset{\mathbf{r}}{j}, \overset{\mathbf{r}}{k}$ – орты осей x, y, z .

При $\overset{\mathbf{r}}{H}_0 \approx H_z \overset{\mathbf{r}}{k}$ вектор $\overset{\mathbf{r}}{u}_\perp = \overset{\mathbf{r}}{u}$; тогда, решая (3) относительно $\overset{\mathbf{r}}{u}$, получим:

$$\overset{\mathbf{r}}{u} = \frac{\lambda}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \overset{\mathbf{r}}{G} + \frac{2\Omega_1}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \left[\overset{\mathbf{r}}{G}, \overset{\mathbf{r}}{k} \right]. \quad (5)$$

Согласно (5), для крупномасштабных процессов скорость ветра непосредственно связана с распределением давления, и для изучения общей циркуляции в ионосфере, особенно в области F, целесообразно вместо поля скоростей ветра рассматривать распределение давления или температуры (так как в области F современные экспериментальные методы не позволяют получить достоверные сведения о скорости нейтрального ветра). Таким образом, задача общей циркуляции атмосферы может быть сведена к изучению соответствующих особенностей распределения давления или температуры на ионосферных уровнях.

3. Из выражения (5) видно, что скорость горизонтального ветра имеет как параллельную, так и перпендикулярную к барическому полю составляющие:

$$\overset{\mathbf{r}}{u}_\lambda = \frac{\lambda}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \overset{\mathbf{r}}{G}, \quad \overset{\mathbf{r}}{u}_g = \frac{2\Omega_1}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \left[\overset{\mathbf{r}}{G}, \overset{\mathbf{r}}{k} \right]. \quad (6)$$

Так как вектор $\overset{\mathbf{r}}{G}$ перпендикулярен к изобарам и направлен от большего давления к меньшему, то скорость $\overset{\mathbf{r}}{u}_\lambda$ также будет направлена поперёк изобар от большего давления к меньшему, а скорость $\overset{\mathbf{r}}{u}_g$ направлена вдоль изобар. Следовательно, один из эффектов анизотропного трения в ионосфере ($\overset{\mathbf{r}}{u}_\lambda \neq 0$) заключается в том, что оно вызывает организованный поток масс атмосферы от областей с высоким давлением к областям с низким давлением (рис. 1 и 2). Как показано ниже, эти особенности ионосферной среды приводят к тому, что крупномасштабные движения типа общей циркуляции в

ионосфере должны иметь области дивергенции и конвергенции, сопровождающиеся нисходящими и восходящими течениями (рис. 1 и 2). Из уравнений (3) – (5) для элементов общей циркуляции получаются следующие простые формулы для вертикальной составляющей вихря, двумерной дивергенции скорости и вертикальной составляющей скорости ветра

$$\Omega_z = \frac{\partial v_y}{\partial x} - \frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{2\Omega_1}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \frac{1}{\rho} \Delta P, \quad (7)$$

$$Div \mathbf{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = -\frac{\lambda}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \frac{1}{\rho} \Delta P, \quad (8)$$

$$v_z = \frac{\lambda}{\lambda^2 + 4\Omega_1^2} \int_0^z \frac{\Delta P}{\rho} dz. \quad (9)$$

Здесь оси x , y и z направлены соответственно на юг, запад и вертикально вверх и, для простоты, географические и геомагнитные координаты совмещаются

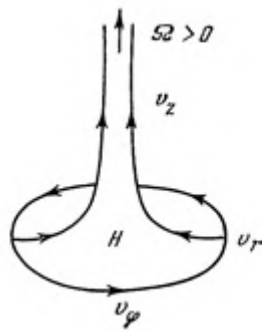


Рис. 1

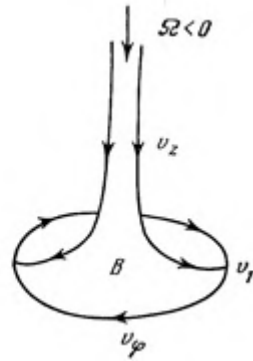


Рис.2

В нижней ионосфере (в области D) и в нижней части области E) выполняется условие $\Omega_1 = \lambda$ и вместо (7) – (9) имеем:

$$\Omega_z = \frac{1}{2\Omega_1} \Delta P, \quad Div \mathbf{v} = 0, \quad v_z = 0. \quad (10)$$

Таким образом, в этой области ионосферы общая циркуляция двумерная ($v_z = 0$, горизонтальная) и вихревая ($\Omega_z \neq 0$), в которой отсутствуют области дивергенции и конвергенции. Ветер здесь в основном геострофический, т. е. направлен вдоль изобар. В случае замкнутых изобар будут образовываться плоские вихри с малой вертикальной протяжённостью и отличной от нуля лишь вращательной скоростью $v_\varphi \neq 0$. При этом в случае низкого давления в центре изобар ($\Delta P > 0$), согласно (10), в северном полушарии ($\Omega_1 > 0$) вихрь будет положительным, т. е. ветер вращается вдоль изобар против часовой стрелки (циклон), а в случае высокого давления ($\Delta P < 0$) вращение будет происходить по часовой стрелке (антициклон). Существование таких плоских вихрей в области D и в нижней части области E подтверждается экспериментальными измерениями [1, 5]. Картина общей циркуляции при наличии основного меридионального градиента давления ($-\rho^{-1} \partial P / \partial x$), возникающего из-за неравномерного нагрева от полюса к экватору, будет чисто зональной. При наличии горизонтального градиента давления вследствие солнечного вздутия ионосферы [6, 8, 5] в нижней ионосфере происходит перетекание воздуха с её дневной стороны на ночную сторону через полюс, без наличия особых областей схождения и расхождения скорости

ветра. Справедливость этих общих выводов относительно крупномасштабной циркуляции для нижней ионосферы подтверждается численными расчётами [9, 10, 18]. Для областей ионосферы выше ~200 км имеет место условие $\Omega_1 = \lambda$, и формулы (7)-(9) принимают вид:

$$\Omega_{\varphi} = 0, \quad \text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} = -\frac{1}{\rho \lambda} \Delta P, \quad v_z = \frac{1}{\lambda} \int \frac{\Delta P}{\rho} dz. \quad (11)$$

Отсюда следует, что в верхней ионосфере общая циркуляция должна быть трёхмерной и безвихревой, в которой должны существовать области конвергенции ($\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} > 0$). Здесь в общем случае возможно вращательное безвихревое движение.

В переходной области (верхняя часть области E и нижняя F -область), где параметры Ω_1 и λ сравнимы между собой, согласно формулам (7)-(9) движение должно быть трёхмерным и потенциально-вихревым. При этом в случае низкого давления в центре изобар (циклон) $\Delta P > 0$ и, согласно (7), вихрь положителен, т. е. в северном полушарии движение совершается против часовой стрелки ($v_{\varphi} > 0$). Тогда из (8) следует, что $\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} < 0$, т. е. имеет место приток воздуха к центру и создаётся область конвергенции и порождается радиальная скорость v_r , направленная к центру. В этом случае, согласно (9), создаются восходящие движения ($v_z > 0$) (рис. 1). Для антициклонических движений $\Delta P < 0$, т. е. максимум давления находится в центре изобар. Тогда, согласно (7), $\Omega_z < 0$, вихрь отрицателен и движение совершается по часовой стрелке ($v_{\varphi} < 0$). Из (8) следует, что $\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} > 0$; следовательно, имеет место растекание жидкости от центра вихря, или область дивергенции с радиальной скоростью v_r . Согласно (9), при этом будет иметь место нисходящее движение, $v_z < 0$ (рис. 2). Таким образом, анизотропное трение в ионосфере, подобно турбулентному трению в нижней тропосфере, порождает зоны дивергенции и конвергенции и радиальные и вертикальные составляющие скорости. Оценим вклад дивергенции и конвергенции в крупномасштабных процессах в ионосфере. Используя (7) и (8), получим

$$\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} \approx \left| \lambda \frac{\Omega_z}{\Omega_1} \right|. \quad (12)$$

Учитывая, что порядок крупномасштабного вихря в верхней ионосфере $\Omega_z \sim 10^{-1} \text{ c}^{-1}$, для умеренных широт $\Omega_1 \sim 10^{-1} \text{ c}^{-1}$, $\lambda \approx (N / N_m) v_{im}$, $v_{im} \approx 1$, $N / N_m \sim 10^{-5} \div 10^{-4}$ [1, 4], из (12) получим:

$$\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} \approx 10^{-5} \div 10^{-4} \text{ c}^{-1},$$

где N , N_m – концентрации ионов и нейтральных частиц; v_m – частота столкновений ионов с нейтральными частицами. Таким образом, в тех областях ионосферы, где электронно-ионная концентрация N будет возрастать, должны порождаться области дивергенции и конвергенции. Такие области, очевидно, должны наблюдаться в районе экватора, где существует экваториальная аномалия ионосферной плазмы [6], в полярных областях во время магнитных бурь (6) и т. д. Во всех других случаях $\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}}$ на порядок меньше по сравнению с вихрем Ω_z , и на глобальных схемах системы крупномасштабных ветров общей циркуляции они не заметны. В случае солнечного вздутия на глобальной картине общей циркуляции в приэкваториальной области должны наблюдаться зоны схождения и расхождения ветров ($\text{Div} \mathbf{v}^{\mathbf{r}} \neq 0$) и вращение ветров вокруг центра подсолнечной точки ($\Delta P < 0$) по часовой стрелке ($\Omega_z < 0$), сопровождающиеся нисходящими движениями ($v_z < 0$). В

следующем параграфе полученные теоретические выводы будут проиллюстрированы как на базе известных моделей, так и численными расчётами [18].

III. Влияние ионосферной плазмы на общую циркуляцию в ионосфере. Численная модель.

2.1. В предыдущем параграфе теоретически была показана возможность существования крупномасштабных вихрей в общей циркуляции атмосферы, обусловленных наличием горизонтальных градиентов давления, силы Кориолиса и электромагнитных сил в ионосфере. Выявлена существенная роль электромагнитных эффектов в общей циркуляции ветров в ионосфере на различных уровнях [22]. Для иллюстрации полученных выше выводов приводим результаты численных расчётов системы горизонтальных ветров в сферической системе координат. Для расчётов горизонтальных составляющих скоростей крупномасштабного ветра исходим из формул [4, 9]:

$$u = \left[\rho r (\Omega^2 + \lambda_{\perp 0} \lambda_{\perp}) \right]^{-1} \left[\Omega \partial P / \partial \theta - (\lambda_{\perp} / \sin \theta) \partial P / \partial \psi \right], \quad (1)$$

$$v = - \left[\rho r (\Omega^2 + \lambda_{\perp 0} \lambda_{\perp}) \right]^{-1} \left[\lambda_{\perp} \partial P / \partial \theta + (\Omega / \sin \theta) \partial P / \partial \psi \right], \quad (2)$$

где u , v – зональная и меридиональная составляющие скорости, ρ – плотность воздуха, r – расстояние от центра Земли до рассматриваемой точки, θ , ψ – соответственно дополнение широты и долготы, $\lambda_{\perp 0} = \sigma_1 H_0^2 / (\rho c^2)$, $\lambda_{\perp} = \sigma_1 H_z^2 / (\rho c^2)$, $\Omega = 2\omega_z - \sigma_2 H_0 H_z / (\rho c^2)$, $\omega_z = \omega \sin \varphi$,

$H_z = H_0 \cos \chi$, $H_0 = 0,5 H_p (1 + 3 \sin^2 \varphi)^{1/2}$, φ – широта, χ – широта, H_0 и H_p – значения H на широте φ и на полюсе. Расчёты u и v велись с использованием моделей [14, 21].

2.2. Из глобальной системы крупномасштабных ветров для лета северного полушария, полученной из системы уравнений (1)-(2) при условии, что плазма в ионосфере отсутствует, $N_i = 0$, [9] видно, что нейтральная атмосфера характеризуется областями с чисто зональной циркуляцией в интервале $0 \div 6$ ч и перетеканием ветров через полюс с утренней ионосферы на вечернюю. В согласии с приведёнными в [22] теоретическими выводами зоны дивергенции и конвергенции здесь не обнаруживаются. Картина ветров в южном полушарии симметрична с картиной в северном полушарии для летнего сезона и асимметрична для зимы. Как показывают расчёты, учёт ионизации при чисто зональной циркуляции, характерной для нижних слоёв ионосферы, из-за различия на 1,5 порядка между концентрациями плазмы в ночной и дневной ионосфере приводит к большим скоростям ветра в ночной ионосфере и к существенному погашению скоростей в дневной ионосфере для всех сезонов в обоих полушариях (рис. 1). На уровнях области F2 ионосферы получается картина ветров, на которой хорошо видны зоны расхождения и схождения ветров, обусловленных наличием большой поперечной составляющей к изобарам скорости нейтрального ветра ($u_{\lambda} \neq 0$). В частности, при равноденствии между 2 и 4 ч наблюдается схождение и расхождение между 14 и 16 ч вблизи экватора; летом область дивергенции находится между 12 и 16 ч, а зона конвергенции примерно одинакова с равноденственной зоной конвергенции. Кроме того, хорошо видны также области двух вихревых движений, начинающихся в областях дивергенции и заканчивающихся в областях конвергенции.

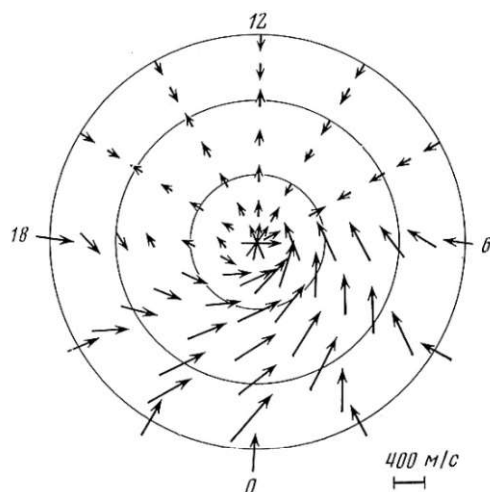


Рис. 1

2.3. Отмеченные вихревые движения и области схождения и расхождения ветров наиболее чётко проявляются на плоской картине глобальной системы горизонтальных крупномасштабных ветров. Здесь выделяются 4 крупномасштабных вихря циклонического и антициклонического характера между 0 и 6 ч и антициклонического и циклонического характера между 12 и 24 ч в северном и южном полушариях соответственно [10]. На рис. 2 и 3 представлена система ветров для толщи ионосферы от 90 до 400 км для полуденной летней и зимней ионосфер в обоих полушариях.

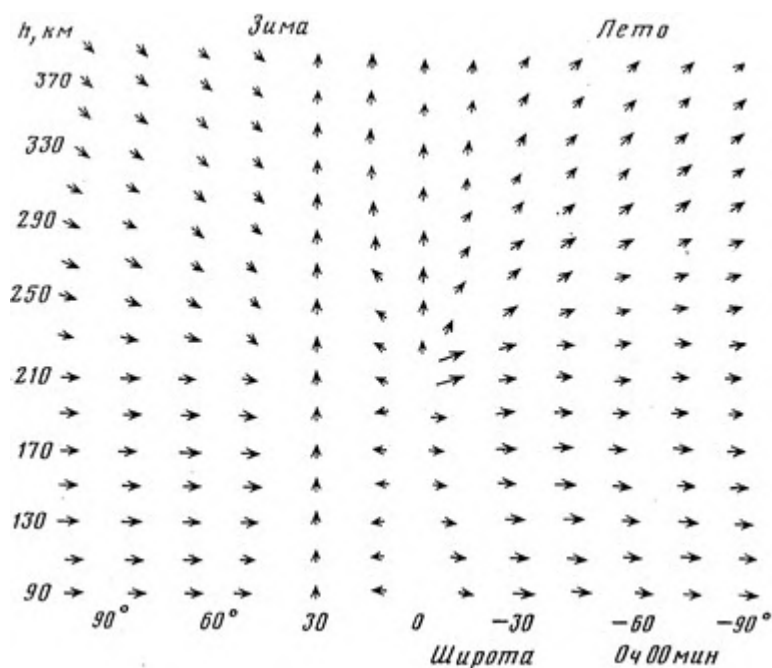


Рис. 2

На рис. 2, видны зоны: схождения ветров (между 15 и -15°), расхождения ветров (между -15 и -30°), схождения ветров (между -60 и -90°). На рис. 2 зона схождения ветров находится в зимнем северном полушарии между 45 и 15° , зона расхождения – между 15 и -15° . Кроме того, наблюдаются большие вихри, охватывающие область ионосферы выше 210 км, где происходит нарушение геострофичности ветра. Отметим, что в случае равноденствия зоны схождения и расхождения ветров не обнаруживались; нарушение геострофичности в полночь также выше 210 км. В дневной ионосфере вертикальный масштаб вихревых движений возрастает дважды, так как в этом случае нарушение геострофичности ветра происходит в более низких слоях (выше 100 км)

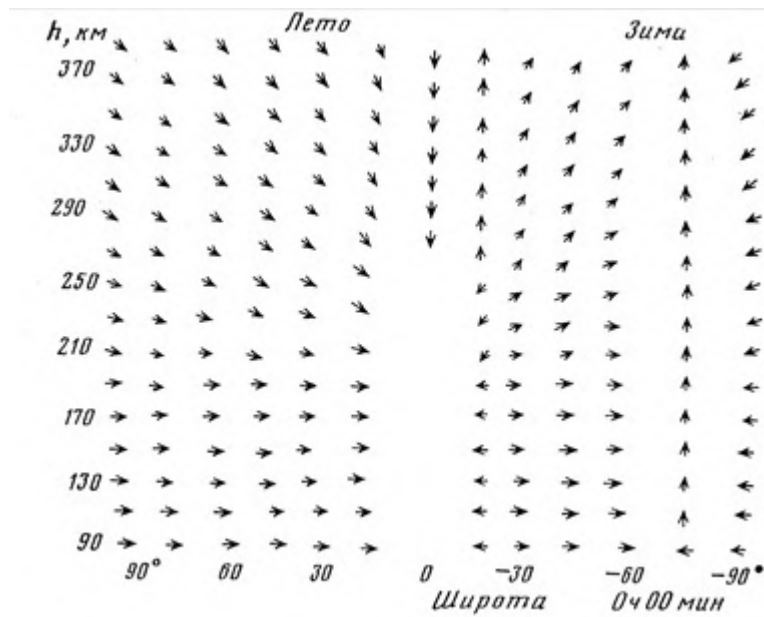


Рис. 3

2.4. Чтобы наглядно представить, к каким особенностям приводят зоны вихревых образований и схождения и расхождения ветров, построим для ночной ионосферы системы ветров для $h \geq 400$ км и для $h < 210$ км (рис. 4).

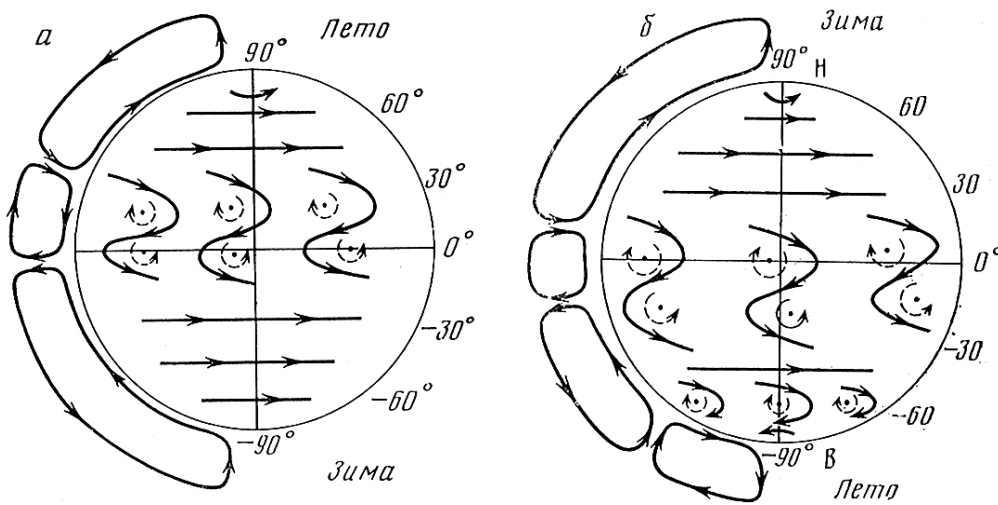


Рис. 4

На картинах ночной системы течений атмосферы, соответствующих полуночи, для которых сравнительно велики меридиональные градиенты давления, для зимы и лета северного полушария при $h \geq 400$ км обнаруживаются зоны схождения ветров. На аномальных широтах, около $+30^\circ$ и около -20° соответственно в зимних северном и южном полушариях в верхней ионосфере будут порождаться восходящие движения. Из рис. 4 следует, что для полуночной ионосферы существуют вихревые зоны ветров вблизи экваториальных широт (аномальная область) и аномальной высокоширотной области ($\sim 70^\circ$). Здесь штрихами показаны вихри циклонического и антициклонического характера, возникающие в ячейках крупномасштабных течений. Таким образом, согласно расчётам, вблизи экватора обнаруживаются системы вихрей, имеющие попарно противоположные направления вращения (см. рис 4). Со временем их взаимодействия друг с другом должны привести к их перемещению в противоположных зональных направлениях. Как отмечалось

уже в [22], горизонтальные вихревые движения порождают восходящие и нисходящие потоки вдоль оси вихря. В северном полушарии (см. рис. 4) полярный циклон должен дать на северном полюсе восходящий поток воздуха. В приэкваториальной области верхний ряд антициклонических вихрей (рис. 4а) должен давать нисходящие потоки воздуха, а нижний ряд системы циклонических вихрей – восходящие потоки воздуха. В южном полярном антициклоне имеем нисходящие потоки воздуха. Всё это приводит к системе замкнутых ячеек с вертикальной циркуляцией в меридиональном сечении, изображённой слева на рис. 4а, б. Для лета имеются три такие ячейки (рис. 4а), а для зимы – система из четырёх ячеек вертикальной циркуляции. Картина течений ветров ниже 210 км, изображённая на рис. 4 для полудневной ионосферы, хорошо согласуется с моделью планетарной циркуляции на высотах 100 и 80 км [19].

Таким образом, проведённые нами аналитические и численные расчёты показывают, что в картине общей циркуляции в ионосфере должны присутствовать крупномасштабные вихревые образования и зоны схождения и расхождения ветров, приводящие к порождению восходящих и нисходящих потоков воздуха. Эти особенности общей циркуляции приводят и к переносу, и к перераспределению ионосферной плазмы как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях.

Следовательно, с одной стороны, изучение общей трёхмерной циркуляции в ионосфере позволяет выявить зоны аномально повышенной ионизации, с другой, экспериментальное обнаружение крупномасштабных областей повышенной ионизации на различных долготах и широтах в глобальном масштабе позволяет судить о наличии зон схождения и расхождения ветров и восходящих и нисходящих движений атмосферы в общей циркуляции в ионосфере.

III. Меридиональная циркуляция ветров в F-области ионосферы

3.1. Особое место в физике верхней атмосферы занимают исследования меридиональных течений, как составной части меридиональной циркуляции, играющей в общей циркуляции верхней атмосферы роль возмущающего фактора и способствующей динамическому взаимодействию различных слоёв ионосферы между собой. Несмотря на важность исследований меридиональных течений в динамике верхней атмосферы, они не только менее изучены, чем регулярные зональные течения, но остаются до сих пор практически не изученными [5, 20]. Ниже на основе численного решения упрощённых уравнений движения даётся картина системы горизонтальных крупномасштабных ветров ионосферы для различных сезонов и времени суток.

3. 2. Горизонтальные крупномасштабные перемещения нейтральной атмосферы на ионосферных уровнях, подверженной закручивающему и тормозящему действию ионосферной плазмы, описываются следующими уравнениями движения и неразрывности:

$$\sigma_{\perp} \frac{d\mathbf{v}}{dt} = -\frac{1}{\rho} \nabla P - \lambda_{\perp 0} \mathbf{v}_{\perp} + 2\Omega [\mathbf{v} \nabla r], \quad \text{div } \dot{\mathbf{v}} = 0 \quad (1)$$

откуда для стационарного решения $\mathbf{v} = \{v, u\}$ имеем выражения [2, 4]:

$$\Omega = 2\omega \cos \theta + (\rho c^2)^{-1} \sigma_H H_0^2 \cos \chi, \quad \lambda_{\perp 0} = (\rho c^2)^{-1} \sigma_{\perp} H_0^2, \quad \lambda_{\perp} = (\rho c^2)^{-1} \sigma_{\perp} H_0^2 \cos^2 \chi, \quad (2)$$

где $\Omega = 2\omega \cos \theta + (\rho c^2)^{-1} \sigma_H H_0^2 \cos \chi$, $\lambda_{\perp 0} = (\rho c^2)^{-1} \sigma_{\perp} H_0^2$, $\lambda_{\perp} = (\rho c^2)^{-1} \sigma_{\perp} H_0^2 \cos^2 \chi$, v_{\perp} – перпендикулярная направлению геомагнитного поля составляющая скорости ветра, v и u – меридиональная и зональная составляющие скорости ветра; P и ρ – давление и плотность среды; r , θ и ψ – расстояние от центра Земли, полярный угол (ко-широта) и азимут; χ – угол между вертикалью и направлением геомагнитного поля \mathbf{H} , $H_0 = |\mathbf{H}|$; σ_{\perp} и σ_H – поперечная и холловская проводимости; ω – угловая скорость вращения Земли; c – скорость света; t – время. Расчёты скоростей ветра проводились с использованием моделей ионосферы и нейтральной атмосферы Яккия-70 [14, 21], результаты которых представлены на рис. 5–7.

На рис. 5а-в построены для периодов равноденствия ($\delta = 0^0$), летнего ($\delta = 23,4^0$) и зимнего ($\delta = -23,4^0$) солнцестояний зависимости скоростей меридиональных ветров от широты при различных фиксированных значениях высоты h над земной поверхностью ($h = 200, 300$ и 400 км), указанных около соответствующих кривых.

На рис. 6а-в построены линии тока, соответствующие полуночному полю скоростей ветра на высоте $h \approx 300$ км, в плоскости меридионального сечения утро-вечер для зимы и лета, соответственно, (когда упоминается сезон без уточнения полушария, то имеется в виду сезон северного полушария).

На рис. 7 представлена широтная зависимость меридионального (сплошные линии) и зонального (штриховые линии) градиентов давления для периода зимнего солнцестояния и цифрами 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 обозначены кривые, соответствующие высотам 200, 300 и 400 км; значения градиентов давления, взятые с графиков, выражаются в системе СГС после перемножения их соответственно на 10^{-7} , 10^{-10} и 10^{-13} .

3.3. Как видно из сравнения кривых, представленных на рис. 5, меридиональные ветры имеют качественно одинаковый ход с широтой в северном и южном полушариях в периоды равноденствия и зимнего солнцестояния независимо от времени суток. Несколько отличается от них соответствующая картина ветров для периода летнего солнцестояния в северном полушарии (независимо от времени суток), а в южном полушарии (особенно в полдень) имеется качественное сходство между ними. Картина меридиональных течений в период равноденствия оказывается симметричной относительно экватора, где скорости v обращаются в нуль. Летом меридиональная компонента скорости исчезает вблизи широты 30^0N , а зимой меридиональные скорости ветра от нулевого значения растут, проходя через максимумы, и затем спадают до нуля на полюсе на высотах $h \leq 200$ км, а на высотах $h = 300$ и $h = 400$ км принимают значения, лежащие вблизи 50 м/с, причём ветвь кривой с $h = 400$ км, пересекая кривую с $h = 300$ км, поднимается выше последней с широты $\varphi \approx \pm 60^0$ с приближением к полюсам. На низких же широтах кривые располагаются в обратном порядке: скорости возрастают с опусканием на меньшие высоты в ионосфере. В случае лета на низких широтах расположение кривых противоположно их распределению при $\delta = 0^0$ и $\delta = -23,4^0$, а на высоких широтах концы ветвей всех кривых приподняты к большим, чем зимой и в равноденствие, значениям скоростей на полюсе; причём, превышение скоростей на $h = 400$ км над значениями их на $h = 300$ км происходит с приближением к полюсу в северном полушарии, начиная с $\varphi \approx 60^0 N$, а в южном – с $\varphi \approx 30^0 S$. Обращает на себя внимание также факт исчезновения максимумов скоростей в полуночной ионосфере на всех высотах и их слабая выраженность в полуденной ионосфере северного полушария.

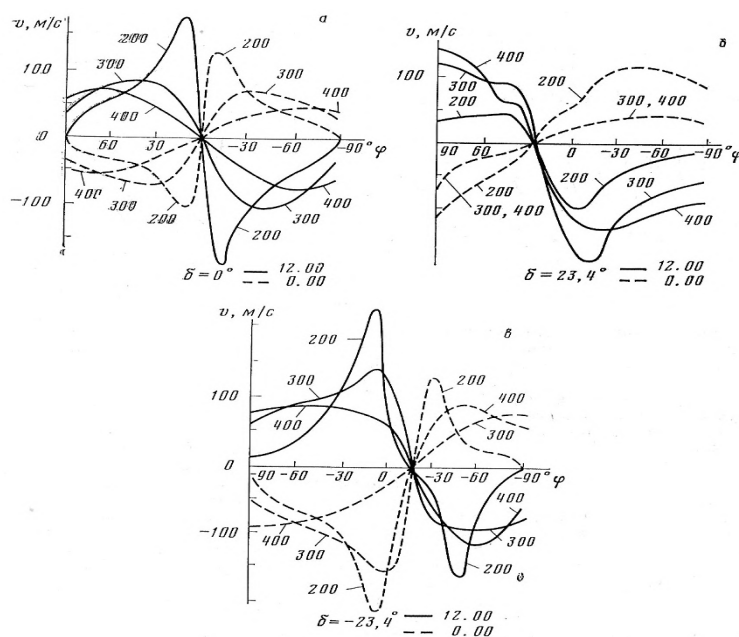


Рис. 5

Картина течений полуночных ветров на $h \approx 300$ км для лета и зимы, представленная на рис. 5а, б, наглядно иллюстрирует описанную выше ситуацию (по рис. 5б, в), обнаруживая поразительное сходство с тропосферными пассатами, со штилевыми (“конскими”) широтами, являясь как бы их зеркальным отображением в области F ионосферы.

На указанных (рис. 6) широтах (30° N и 20° S) схождения течений ветров, как показано ниже, порождают вертикальные движения атмосферы, замыкающиеся в меридиональные циркуляционные ячейки, как их составная часть. Полученная в [18. 22] горизонтальная система вихрей на $h < 200$ км вблизи указанных широт послужила основанием для выдвигания механизма возникновения вертикальных движений. На $h \sim 300$ км, как видно из рис. 5, вихревая структура течений на $\varphi = 30^\circ$ N и 20° S нарушается, но особенность сходящегося течения, благодаря которой на указанных высотах поддерживаются восходящие потоки воздуха, возникающие на более низких уровнях, сохраняется. На $h > 300$ км до $h = 400$ км имеется тенденция к потенциальности течения ветров, однако вихрь скорости существует, хотя и мал, а на высоте $h \sim 500$ км особенность сходящегося течения исчезает, исчезает и вертикальная составляющая скорости, и тем самым фактически определяется верхняя граница вертикальной меридиональной ячейки в F-области ионосферы.

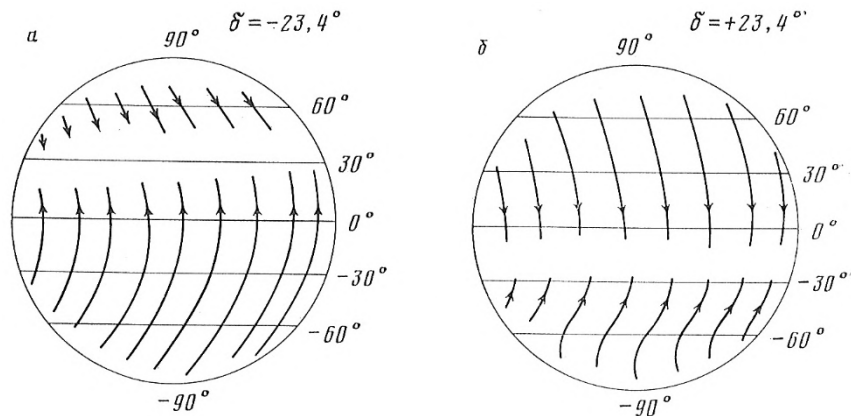


Рис. 6

На высоте $h \approx 300$ км поле скоростей ветра приблизительно описывается формулами

$$v \approx (\rho \lambda_{\perp} r)^{-1} \frac{\partial P}{\partial \theta}, \quad u \approx -(\rho \lambda_{\perp 0} \sin \theta)^{-1} \frac{\partial P}{\partial \psi}. \quad (3)$$

Более того, $\partial P / \partial \psi < \partial P / \partial \theta$ и $u < v$, т. е. преобладают меридиональные ветры, что хорошо видно на рис. 2. Учитывая это обстоятельство, можно оценить значение скорости восходящего потока воздуха для среднеширотной ионосферы в приближении β -плоскости, полагая для $h \approx 300$ км: $r = R + h$, $R = 6,4 \cdot 10^2$ см, $H_0 = 0,5$ Гс, $\cos^2 \chi = 0,7$, $\Delta h = 5 \cdot 10^6$ см, $\bar{\sigma}_{\perp} c^2 = 2 \cdot 10^{-16}$ СГСМ, $\partial^2 P / \partial \theta^2 = 0,4 \cdot 10^{-12}$ г · (см · с² · град)⁻¹; из уравнения непрерывности в указанном приближении, сохраняя для удобства сферические координаты, получим

$$w \approx \frac{1}{R \bar{\sigma}_{\perp} H_0^2 \cos^2 \chi} \frac{\partial^2 P}{\partial \theta^2} \Delta h \approx 1 \text{ м / с.}$$

4. Из сопоставления соответствующих кривых для полудня зимы рис. 5в и рис. 7 нетрудно проследить за упомянутой выше тенденцией течения ветров к потенциальному характеру, сопровождающейся возрастанием степени агеострофичности ветра в области F и уменьшением величины вертикального вихря. Одинаковый ход изменения v и градиента давления

$\partial P / \partial \theta$ (сплошные кривые) вдоль широты можно наблюдать, привлекая (3) для установления знака меридиональных скоростей. Легко видеть сдвиг фаз по широте, примерно равный $\varphi \approx 30^\circ$ N, и совпадение по фазе с усреднённой по широте кривой $\partial P / \partial \psi$ (во избежание загромождения чертежа, она не нанесена на рис. 3) на высотах 300 и 400 км в северном полушарии; в южном полушарии для тех же высот ход кривых v и усреднённых значений $\partial P / \partial \theta$ примерно одинаков, в то время как изменения v и $\partial P / \partial \psi$ по φ происходят в противофазе друг с другом. Что касается поведения соответствующих кривых на высотах $h \leq 200$ км, то, как видно из рис. 7, градиенты $\partial P / \partial \theta$ и $\partial P / \partial \psi$ ведут себя различным образом друг относительно друга, а из сопоставления их с кривыми рис. 5 обнаруживается бóльшая роль зональных градиентов давления $\partial P / \partial \psi$, чем градиентов $\partial P / \partial \theta$ (в полуденной ионосфере геострофичность ветра нарушается выше $h = 200$ км [20, 23, 24, 26]). Таким образом, о нарушении геострофичности ветра можно судить по меридиональной составляющей скорости ветра, выступающей в качестве индикатора агеострофичности ветра в области F ионосферы, где эффективно проявляется сила индукционного торможения.

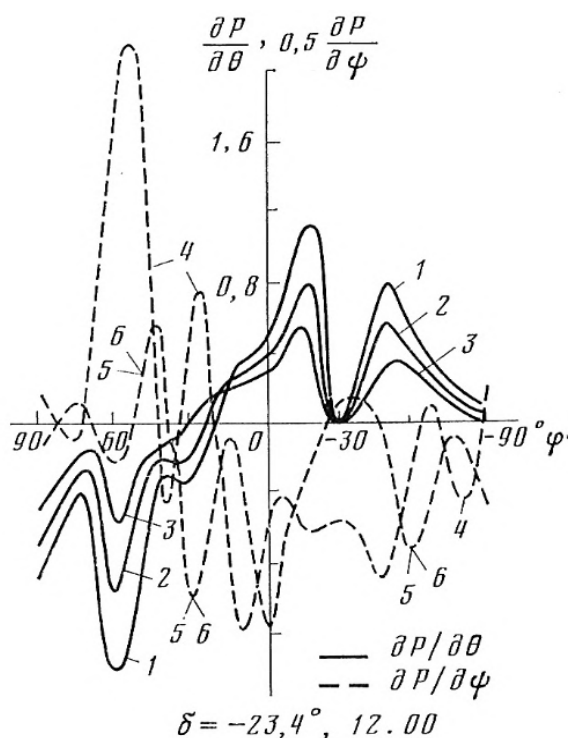


Рис. 7

5. Полученные результаты качественно согласуются с оценками [2, 4] и численными расчётами v (φ), выполненными в [25], согласно которым вблизи экваториальной зоны также обнаруживается чёткий узкий максимум (авторы указанной работы ограничились в своих расчётах лишь фиксированной высотой 300 км). В [25] не делается различия между v (φ) для периодов летнего и зимнего солнцестояний, в то время как на рис. 5б, в видно качественное различие между ними в обоих полушариях; симметрия существует лишь для периода равноденствия (рис. 5а). В [10] в период солнцестояния (летнего и зимнего) максимум кривой v (φ) более размыт в южном полушарии, чем в северном. В нашем случае примерно такая ситуация выполняется в период зимнего солнцестояния и обратная – в период летнего солнцестояния в северном полушарии (рис. 5б, в). В последнем случае максимум кривой v (φ) в северном полушарии выражен сильнее выше уровня h_m F2 и слабее – ниже него. Таким образом, из изложенного выше следует существенная зависимость скорости меридионального ветра v от широты, высоты, сезона и времени суток, которая отражает магнито-

термо-гидродинамические эффекты, диагностически определяемые формулами (2) и использованными эмпирическими моделями нейтральной атмосферы и ионосферы

Литература

1. Хантадзе А. Г. Некоторые вопросы динамики проводящей атмосферы. Тбилиси: Мецниереба, 1973.
2. Докучаев В. П. Изв. АН СССР. Сер. Геофиз., N 5, 1959, с. 781.
3. Новиков Е. А. Изв. АН СССР. Сер. Геофиз., N 11, 1960.
4. Гершман Б. Н. Динамика ионосферной плазмы. М.: Наука, 1974, 256 с.
5. Казимировский Э. С., Кокоуров В. Д. Движения в ионосфере. Новосибирск: Наука, 1979, 344 с.
6. Акасофу С.-И., Чепмен С. Солнечно-земная физика. Ч. 1. М.: Мир, 1974.
7. Blum P. W., Harris I. J. Atmos. Terr. Phys., v. 37, 1975, p. 193.
8. Ветер в ионосфере / под ред. Э. С. Казимировского. Л.: Гидрометеиздат, 1969.
9. Хантадзе А. Г., Гвелесиани А. И., Курцхалия Е. Г. В кн.: Ионосферные исследования, М.: Советское радио, № 24, 1977, с. 6.
10. Гвелесиани А. И., Курцхалия Е. Г. В кн.: Ионосферные исследования, М.: Советское радио, № 24, 1977, с. 15.
11. Creckmore S. P., Straus J. M., Harris R. M., Ching B. K., Chin Y. T. J. Atmos. Terr. Phys., v. 37, 1975, p. 491; 1245.
12. Ill M., Clairemido J., Falin J.-L. Planet. Space Sci., v. 23, 1975, p. 401.
13. Альперт Я. Л. Распространение электромагнитных волн в ионосфере. М.: Наука, 1972.
14. Эмпирические модели среднеширотной ионосферы / под ред. Фаткуллина М. Н. М.: Наука, 1975.
15. Stubbe P. Das photochemische, dynamische und thermodynamische Verhalten der oberen Ionosphäre. Mitteilungen Max-Planck-Institut für Aeronomie, 52 (1), 1974, 91.
16. Danilov A. D., Semenov V. K. J. Atmos. Terr. Phys., v. 40, 1978, p. 1093.
17. Rishbeth H. R., Moffett R. J., Bailey G. I. J. Atmos. Terr. Phys., v. 31, 1969, p. 1035.
18. Хантадзе А. Г., Гвелесиани А. И. Геомагнетизм и аэрономия, т. 22, 1982, с. 86.
19. Kochanski A. J. Geophys. Res., v. 68, 1963, p. 213.
20. Гвелесиани А. И. Исследование движений проводящей атмосферы и проблемы динамики ионосферы (Дис. на соиск. уч. ст. докт. физ.-мат. наук). Тбилиси, ИГ АН ГССР, 1980, 266 с.
21. Jacchia L. G. Smith. Astrophys. Observ. Spec. Rep. № 313, 1970, 87 p.
22. Хантадзе А. Г., А. И. Гвелесиани. Влияние ионосферной плазмы на общую циркуляцию в верхней атмосфере, I. Геомагнетизм и аэрономия, т. 21, N6, 1981, с. 988-992.
23. Гвелесиани А. И., Е. Г. Курцхалия. О поле скоростей крупномасштабного ветра в ионосфере. Геомагнетизм и аэрономия, т. 23, N 1, 1983, с. 147 – 148.
24. Гвелесиани А. И., Е. Г. Курцхалия. О возмущённом крупномасштабном вихре в ионосфере. Геомагнетизм и аэрономия, т. 23, N 5, 1983, с. 858 – 859.
25. Blum P. W., Harris I. J. Atmos. Terr. Phys., v. 37, 1975, p. 199, 213.
26. Гвелесиани А. И. О меридиональных ветрах в ионосфере. Геомагнетизм и аэрономия, т. 25, N 1, 1985, с. 58 – 62.

იონოსფერულ დონეებზე ატმოსფეროს გლობალური ცირკულაციის შესახებ

ა. გველესიანი

რეზიუმე

შემოთავაზებულია ატმოსფეროს იონოსფეროს დონეებზე სამგანზომილებიანი გლობალური ცირკულაციის ანალიზური მოდელი, რომელიც მტკიცდება შესაბამისად გამარტივებული სამუშაო მაგნიტურ-ჰიდროდინამიკური განტოლებათა სისტემის მეშვეობით

ჩატარებული და გრაფიკული სახით წარმოდგენილი დიდმასშტაბიანი ქართა სისტემების სიჩქარეთა ველების დედამიწის ჩრდილო და სამხრეთ ნახევარსფეროებისათვის იონოსფეროს და ნეიტრალური ატმოსფეროს ცნობილი მოდელების მონაცემთა ბაზის გამოყენებით. გამოვლენილია ოთხი დიდმასშტაბიანი გრივალი, დივერგენციის და კონვერგენციის ზონები, რომლებსაც ძალუძს ატმოსფეროს აღმავალი და დაღმავალი დინებების გამოწვევა, პოლუსებიდან ეკვატორამდე განლაგებული ვერტიკალური ცირკულაციის მქონე მერიდიანული უჯრედების სისტემები.

О глобальной циркуляции атмосферы на ионосферных уровнях

А. И. Гвелесиани

Реферат

Предложена аналитическая трёхмерная глобальная модель циркуляции атмосферы на ионосферных уровнях, которая подтверждается численными расчётами по соответствующим образом упрощённой системе магнитно-гидродинамических уравнений движения проводящей атмосферы и представляется графически в виде поля скоростей системы крупномасштабных ветров для обоих полушарий Земли с использованием базы данных параметров известных эмпирических моделей нейтральной атмосферы и ионосферы. Выявлены 4 крупномасштабных вихря, зоны схождения и расхождения (конвергенции и дивергенции) ветров, способствующих возникновению восходящих и нисходящих потоков воздуха, системы меридиональных ячеек с вертикальной циркуляцией, в направлении от полюса к экватору.

On the Atmosphere Global Circulation at the Ionosphere Levels

A. Gvelesiani

Abstract

Here the analytical 3D- global model of the upper atmosphere circulation at the ionosphere is suggested, which is supported by numerical calculations of accordingly simplified hydro-magnetic equations of the conductive atmosphere motion. The construction of the large-scale wind systems' velocity fields for the north and south hemispheres of the Earth, using well-known database of models of the neutral atmosphere and the ionosphere shows, that there are four global vortexes of cyclone and anticyclone types, regions of divergence and convergence, vertical down- and up-stream of air, systems of vertical meridional circles from poles to equator.

ОБ УРАВНЕНИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА В РЕГИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ МОРЯ

Деметрашвили Д. И.

Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

Особенности изменчивости региональной циркуляции и термохалинных полей в самой восточной части Черного моря рассмотрены в работах [1-4] на основе региональной, прогностической численной модели динамики Черного моря Института геофизики им. М. З. Нодиа Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили. Региональная модель является основным ядром региональной системы морского прогноза, а в свою очередь, региональная система является составной частью системы диагноза и прогноза Черного моря в бассейновом масштабе [5, 6]. Исследования, проведенные в [1-4], показывают, что циркуляция в грузинском секторе Черного моря и его окружающей акватории характеризуется существенной сезонной и межгодовой изменчивостью и интенсивным вихреобразованием, где непрерывно формируются и эволюционируют мезомасштабные и субмезомасштабные вихри с циклоническим и антициклоническим вращением. Такие вихри вносят существенный вклад в распределение термохалинных полей и разных примесей, поступающих в морскую акваторию разным путем.

С целью более глубокого изучения и лучшего понимания физического механизма изменчивости динамических процессов в одной из самой динамически активной акватории Черного моря – в восточной части морского бассейна, представляет значительный научный интерес проанализировать энергетические превращения в гидротермодинамической системе Черного моря и, на основе энергетического анализа исследовать роль различных факторов в формировании особенностей сезонной и межгодовой перестроек региональной циркуляции в грузинском секторе Черного моря и прилегающей акватории, которая отделена от открытой части морского бассейна условной жидкой границей, проходящей примерно вдоль меридиана $39,08^{\circ}$ в. д.

Целью данной статьи является получение уравнений энергетического баланса в региональной численной модели динамики Черного моря, на основе которых нам предоставится возможность изучать энергетику региональных гидрофизических процессов, протекающих в восточной акватории Черного моря. Кроме того, эти уравнения позволят контролировать точность численного решения в процессе интегрирования уравнений модели, что является очень важной для прогностической модели. Базовой для получения энергетических уравнений служит система уравнений региональной модели динамики моря, записанная в декартовой системе координат.

Гидротермодинамические процессы в морском бассейне Ω с боковой поверхностью σ и глубиной $H(x,y)$ описываем следующей системой уравнений гидротермодинамики океана (оси x , y , z направлены соответственно на восток, север и вертикально вниз от поверхности моря, которая считается плоской), записанной в терминах отклонений термодинамических полей от стандартных значений [4, 5]

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial x} + l v + D_u^{xy} + D_u^z, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p'}{\partial y} - l u + D_v^{xy} + D_v^z, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T'}{\partial t} + u \frac{\partial T'}{\partial x} + v \frac{\partial T'}{\partial y} + w \frac{\partial T'}{\partial z} + \gamma_T w = -\frac{1}{c \rho_0} \frac{\partial I}{\partial z} + D_T^{xy} + D_T^z, \quad (3)$$

$$\frac{\partial S'}{\partial t} + u \frac{\partial S'}{\partial x} + v \frac{\partial S'}{\partial y} + w \frac{\partial S'}{\partial z} + \gamma_S w = D_S^{xy} + D_S^z, \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

$$\frac{\partial p'}{\partial z} = g \rho', \quad (6)$$

$$\rho' = \alpha_T T' + \alpha_S S', \quad (7)$$

$$p = \bar{p} + p', \quad \rho = \bar{\rho} + \rho', \quad T = \bar{T} + T', \quad S = \bar{S} + S', \quad \gamma_T = \frac{\partial \bar{T}}{\partial z}, \quad \gamma_S = \frac{\partial \bar{S}}{\partial z}.$$

Здесь приняты следующие обозначения:

u, v, w – компоненты вектора скорости вдоль осей x, y, z , соответственно; p', ρ', T', S' – отклонения давления, плотности, температуры и солености от средних значений по глубине $\bar{p}(z), \bar{\rho}(z), \bar{T}(z), \bar{S}(z)$; l, g, c, ρ_0 – параметр Кориолиса, ускорение силы тяжести, удельная теплоемкость морской воды и средняя по толще моря плотность морской воды, соответственно; I – поток суммарной солнечной радиации, считая экспоненциально затухающей функцией с глубиной

$$I = I_0 e^{-\alpha z},$$

где I_0 – падающий на поверхность моря $z = 0$ поток суммарной солнечной радиации, определенный формулой Альбрехта [7], α – коэффициент поглощения радиации морской водой. Последние два слагаемых в правой части уравнений (1) – (4) представляют собой члены горизонтальной и вертикальной вязкости и диффузии тепла и солей, соответственно, которые имеют вид

$$D_u^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial u}{\partial y}, \quad D_u^z = \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial u}{\partial z}, \quad D_v^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial v}{\partial y}, \quad D_v^z = \frac{\partial}{\partial z} \nu \frac{\partial v}{\partial z},$$

$$D_T^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_1 \frac{\partial T'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_1 \frac{\partial T'}{\partial y}, \quad D_T^z = \frac{\partial}{\partial z} \nu_1 \frac{\partial T'}{\partial z}, \quad D_S^{xy} = \frac{\partial}{\partial x} \mu_1 \frac{\partial S'}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_1 \frac{\partial S'}{\partial y}, \quad D_S^z = \frac{\partial}{\partial z} \nu_1 \frac{\partial S'}{\partial z},$$

где μ и ν – коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной вязкости, а μ_1 и ν_1 – коэффициенты горизонтальной и вертикальной турбулентной диффузии для тепла и солей.

Уравнение (7) представляет собой линеаризованную форму уравнения состояния морской воды $\rho = f(T, S)$ с точностью до малых второго порядка, где

$$\alpha_T = \frac{\partial f}{\partial \bar{T}}, \quad \alpha_S = \frac{\partial f}{\partial \bar{S}}.$$

В качестве краевых и начальных условий принимаются следующие. По вертикали будем иметь:

на поверхности моря $z = 0$

$$v \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{\tau_{zx}}{\rho_0}, \quad v \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{\tau_{zy}}{\rho_0}, \quad w = 0, \quad (8)$$

$$v_1 \frac{\partial T}{\partial z} = Q^T, \quad v_1 \frac{\partial S}{\partial z} = Q^S,$$

на дне моря $z = H(x, y)$

$$u = v = w = 0, \quad \frac{\partial T'}{\partial z} = -\gamma_T, \quad \frac{\partial S'}{\partial z} = -\gamma_S. \quad (9)$$

В (8) τ_{zx} и τ_{zy} - компоненты вектора тангенциального напряжения трения ветра на поверхности $z = 0$ вдоль осей x и y , соответственно; Q^T и Q^S пропорциональны потокам тепла и соли на границе море-атмосфера.

Боковые границы рассматриваемой области состоят из твердой и жидкой частей. На твердой части принимаются

$$u = v = 0, \quad \frac{\partial T'}{\partial n} = 0, \quad \frac{\partial S'}{\partial n} = 0, \quad (10)$$

где n - нормаль к боковой поверхности.

На жидкой границе рассматриваемой области примем

$$u = \tilde{u}, \quad v = \tilde{v}, \quad T = \tilde{T}, \quad S = \tilde{S}, \quad (11)$$

где \tilde{u} , \tilde{v} , \tilde{T} , \tilde{S} - заданные значения компонентов вектора скорости течения, температуры и солености на жидкой поверхности. За жидкую границу принимаем условную граничную поверхность, которая ограничивает с запада рассматриваемую региональную область от остальной части Черного моря, а также устья рек западной Грузии, расход которых учитывается в модели.

В начальный момент $t = 0$

$$u = u^0, \quad v = v^0, \quad T = T^0, \quad S = S^0. \quad (12)$$

Отметим, что теорема единственности задачи (1) - (12) для всего морского бассейна в случае $g\alpha_T/\gamma_T > 0$, $g\alpha_S/\gamma_S > 0$ доказана в [8].

Умножая первые два равенства в (8) на $\rho_0 u$, и $\rho_0 v$, соответственно, и складывая их, получим

$$v \frac{\partial K'}{\partial z} = -(u\tau_{zx} + v\tau_{zy}), \quad (13)$$

где $K' = 0.5\rho_0(u^2 + v^2)$ - кинетическая энергия единичного объема жидкости. Уравнение (13) выражает тот факт, что поступление кинетической энергии от атмосферы к морю обусловлено работой напряжения трения ветра на морской поверхности.

Аналогично, умножим последние два равенства в (8) на $(g\alpha_T/\gamma_T)T'$ и $(g\alpha_S/\gamma_S)S'$, соответственно, и сложим. Получим

$$v_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial z} = \frac{g\alpha_T}{\gamma_T} T' Q^T + \frac{g\alpha_S}{\gamma_S} S' Q^S, \quad (14)$$

где

$$\Pi' = \frac{1}{2} \left(\frac{g\alpha_T}{\gamma_T} T'^2 + \frac{g\alpha_S}{\gamma_S} S'^2 \right)$$

есть доступная потенциальная энергия единичного объема жидкости. При получении (14), считалось, что $\partial T/\partial z \approx \partial T'/\partial z$, $\partial S/\partial z \approx \partial S'/\partial z$ у поверхности моря. Уравнение (14) выражает термомохаalinное воздействие атмосферы, генерирующее поток Π' на границе море-атмосфера.

При компьютерной реализации модели, реальная боковая поверхность σ , ограничивающая область решения Ω , аппроксимируется совокупностью плоских поверхностей, параллельных координатным плоскостям xoz и yoz : с востока – поверхностями σ_x , перпендикулярными оси x ; с юга и севера поверхностями σ_{y1} и σ_{y2} , соответственно, перпендикулярными оси y . Жидкая граница L_x , ограничивающая область решения с запада от открытой части моря, является плоскостью, перпендикулярной оси x .

С целью иллюстрации, на рис.1 показана рассчитанная по модели (1) - (12) поверхностная циркуляция для 19 сентября 2019 в восточной акватории Черного моря с использованием реальных входных данных. Как видно из рисунка, в этот день региональная циркуляция носила вихревой характер с образованием антициклонического вихря с характерным размером примерно 100-120 км (Батумский вихрь) и нескольких циклонических вихрей с гораздо меньшими размерами.

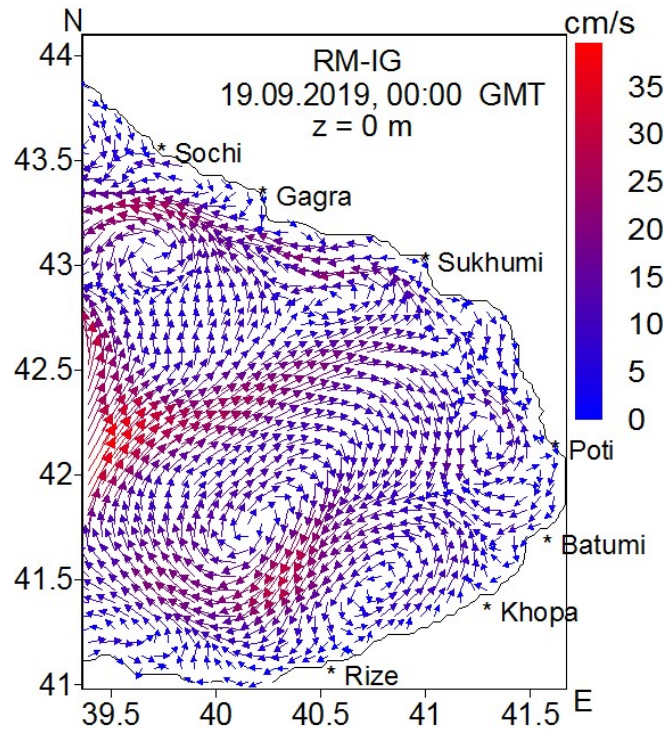


Рис.1. Рассчитанная мезомасштабная циркуляция в восточной акватории Черного моря к моменту 00:00 GMT, 19 сентября 2019.

Получим интегральные энергетические соотношения на основе системы уравнений (1) - (7). С этой целью умножим уравнения (1) - (4) на $\rho_0 u$, $\rho_0 v$, $(g\alpha_T/\gamma_T)T'$, $(g\alpha_S/\gamma_S)S'$, соответственно, воспользуемся уравнением неразрывности и сложим (3) и (4). Получим

$$\frac{\partial K'_u}{\partial t} + \frac{\partial uK'_u}{\partial x} + \frac{\partial vK'_u}{\partial y} + \frac{\partial wK'_u}{\partial z} = -u \frac{\partial p'}{\partial x} + \rho_0 u v + \rho_0 u D_u^{xy} + \rho_0 u D_u^z, \quad (15)$$

$$\frac{\partial K'_v}{\partial t} + \frac{\partial uK'_v}{\partial x} + \frac{\partial vK'_v}{\partial y} + \frac{\partial wK'_v}{\partial z} = -v \frac{\partial p'}{\partial y} - \rho_0 u v + \rho_0 v D_v^{xy} + \rho_0 v D_v^z, \quad (16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi'}{\partial t} + \frac{\partial u \Pi'}{\partial x} + \frac{\partial v \Pi'}{\partial y} + \frac{\partial w \Pi'}{\partial z} + g(\alpha_T T' + \alpha_S S') w = - \frac{g \alpha_T T'}{\gamma_T c \rho_0} \frac{\partial I}{\partial z} + \\ + \frac{g \alpha_T}{\gamma_T} T' (D_T^{xy} + D_T^z) + \frac{g \alpha_S}{\gamma_S} S' (D_S^{xy} + D_S^z), \end{aligned} \quad (17)$$

где

$$K'_u = \frac{\rho_0 u^2}{2}, \quad K'_v = \frac{\rho_0 v^2}{2}$$

представляют собой кинетическую энергию движения единичного объема жидкости вдоль осей x и y , соответственно.

Складывая уравнения (15) и (16), получим уравнение для полной кинетической энергии $K' = 0.5 \rho_0 (u^2 + v^2)$ единичного объема движущегося элемента жидкости

$$\begin{aligned} \frac{\partial K'}{\partial t} + \frac{\partial u K'}{\partial x} + \frac{\partial v K'}{\partial y} + \frac{\partial w K'}{\partial z} = - \left(\frac{\partial u p'}{\partial x} + \frac{\partial v p'}{\partial y} + \frac{\partial w p'}{\partial z} \right) + w g (\alpha_T T' + \alpha_S S') + \\ + \rho_0 u (D_u^{xy} + D_u^z) + \rho_0 v (D_v^{xy} + D_v^z). \end{aligned} \quad (18)$$

Уравнение (18) получено с учетом следующего преобразования

$$- \left(u \frac{\partial p'}{\partial x} + v \frac{\partial p'}{\partial y} \right) = - \left(\frac{\partial u p'}{\partial x} + \frac{\partial v p'}{\partial y} + p' \frac{\partial w}{\partial z} \right) = - \left(\frac{\partial u p'}{\partial x} + \frac{\partial v p'}{\partial y} + \frac{\partial w p'}{\partial z} \right) + w g (\alpha_T T' + \alpha_S S').$$

После явного написания последних двух слагаемых в правой части уравнений (17) и (18), описывающих эффекты турбулентной диффузии и вязкости, и осуществления некоторых преобразований, эти уравнения можно переписать следующим образом

$$\begin{aligned} \frac{\partial K'}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(u K' - \mu \frac{\partial K'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v K' - \mu \frac{\partial K'}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(w K' - \nu \frac{\partial K'}{\partial z} \right) = \\ = - \left(\frac{\partial u p'}{\partial x} + \frac{\partial v p'}{\partial y} + \frac{\partial w p'}{\partial z} \right) + w g (\alpha_T T' + \alpha_S S') - \rho_0 \mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right] - \\ - \rho_0 \nu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right], \end{aligned} \quad (18a)$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\partial \Pi'}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(u \Pi' - \mu_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v \Pi' - \mu_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(w \Pi' - \nu_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial z} \right) = \\
& = -w g (\alpha_T T' + \alpha_S S') - \frac{g \alpha_T T'}{\gamma_T c \rho_0} \frac{\partial I}{\partial z} - \frac{g \alpha_T}{\gamma_T} \left\{ \mu_1 \left[\left(\frac{\partial T'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T'}{\partial y} \right)^2 \right] + \nu_1 \left(\frac{\partial T'}{\partial z} \right)^2 \right\} - \\
& - \frac{g \alpha_S}{\gamma_S} \left\{ \mu_1 \left[\left(\frac{\partial S'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial S'}{\partial y} \right)^2 \right] + \nu_1 \left(\frac{\partial S'}{\partial z} \right)^2 \right\}. \tag{17a}
\end{aligned}$$

Получим интегральные уравнения энергетического баланса для кинетической энергии движения K

$$K = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \rho_0 (u^2 + v^2) dx dy dz$$

и доступной потенциальной энергии Π

$$\Pi = \frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \left(\frac{g \alpha_T}{\gamma_T} T'^2 + \frac{g \alpha_S}{\gamma_S} S'^2 \right) dx dy dz$$

для региональной акватории Ω морского бассейна. С этой целью проинтегрируем уравнения (18a) и (17a) по всей области моделирования с учетом краевых условий (8) - (11) и уравнений (13) и (14). Тогда, получим следующие энергетические соотношения

$$\frac{\partial K}{\partial t} = \{K, LB\} + \{K, AW\} + \{K, \Pi\} + \{K, D\}, \tag{19}$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial t} = \{\Pi, LB\} + \{\Pi, AT\} - \{K, \Pi\} + \{\Pi, R\} + \{\Pi, D\}, \tag{20}$$

где

$$\{K, LB\} = - \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \int_0^H \left(u K' - \mu \frac{\partial K'}{\partial x} \right) \Big|_{L_x}^{\sigma_x} dy dz,$$

$$\{K, AW\} = - \int_{L_x}^{\sigma_x} \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \left(w K' - \nu \frac{\partial K'}{\partial z} \right) \Big|_0^H dx dy = - \int_{L_x}^{\sigma_x} \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \nu \frac{\partial K'}{\partial z} \Big|_{z=0} dx dy = \int_{L_x}^{\sigma_x} \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} (\tau_{zx} u + \tau_{zy} v) dx dy,$$

$$\{K, \Pi\} = \iiint_{\Omega} w g (\alpha_T T' + \alpha_S S') dx dy dz = \iiint_{\Omega} w \frac{\partial p'}{\partial z} dx dy dz,$$

$$\{K, D\} = - \rho_0 \iiint_{\Omega} \left\{ \mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] + \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right\} + \nu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right] dx dy dz,$$

$$\{\Pi, LB\} = - \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \int_0^H \left(u \Pi' - \mu_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial x} \right) \Big|_{L_x}^{\sigma_x} dy dz, \quad \{\Pi, R\} = - \frac{g \alpha_T \alpha I_0}{\gamma_T c \rho_0} \iiint_{\Omega} T' e^{-\alpha z} dx dy dz,$$

$$\begin{aligned} \{ \Pi, R \} &= -\frac{g \alpha_T \alpha I_0}{\gamma_T c \rho_0} \iiint_{\Omega} T' e^{-\alpha z} dx dy dz, \\ \{ \Pi, AT \} &= -\int_{L_x}^{\sigma_x} \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \left(w \Pi' - v_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial z} \right) \Big|_0^H = -\int_{L_x}^{\sigma_x} \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \left(v_1 \frac{\partial \Pi'}{\partial z} \right)_{z=0} dx dy = \\ &= -\int_{L_x}^{\sigma_x} \int_{\sigma_{y1}}^{\sigma_{y2}} \left(\frac{g \alpha_T}{\gamma_T} T' Q^T + \frac{g \alpha_S}{\gamma_S} S' Q^S \right) dx dy, \\ \{ \Pi, D \} &= -\frac{g \alpha_T}{\gamma_T} \iiint_{\Omega} \left\{ \mu_1 \left[\left(\frac{\partial T'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T'}{\partial y} \right)^2 \right] + v_1 \left(\frac{\partial T'}{\partial z} \right)^2 \right\} dx dy dz - \\ &= -\frac{g \alpha_S}{\gamma_S} \iiint_{\Omega} \left\{ \mu_1 \left[\left(\frac{\partial S'}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial S'}{\partial y} \right)^2 \right] + v_1 \left(\frac{\partial S'}{\partial z} \right)^2 \right\} dx dy dz. \end{aligned}$$

Уравнения (19) – (20) описывают энергетические преобразования в гидрофизических процессах, протекающих в региональной области морского бассейна. Слагаемые, стоящие в правой части этих уравнений, представляют собой скорости изменения кинетической и доступной потенциальной энергий за счет действия различных физических факторов. Их можно интерпретировать следующим образом: $\{K, LB\}$, $\{\Pi, LB\}$ описывают взаимодействие выделенной региональной акватории с открытой частью морского бассейна путем обмена энергиями K и Π через жидкую западную границу, а также энергетическое влияние рек на гидрофизический процесс. Эти члены состоят из двух слагаемых, первое из них описывает упорядоченный перенос энергий K и Π течением, а второе обусловлено процессами турбулентной вязкости и диффузии на жидких границах. $\{K, \Pi\}$ описывает обмен между кинетической и доступной потенциальной энергиями за счет работы силы плавучести за единицу времени, которая может быть положительной или отрицательной в зависимости от конкретного гидрофизического процесса. $\{K, AW\}$ описывает энергетическое воздействие атмосферного ветра на развитие гидрофизических процессов и представляет собой работу совершаемой силой трения ветра за единицу времени на поверхности моря. $\{\Pi, R\}$ выражает прирост доступной потенциальной энергии из-за поглощения солнечной радиации морской водой. $\{K, D\}$ и $\{\Pi, D\}$ описывают диссипацию и диффузию K и Π , соответственно, обусловленными турбулентностью морского течения. $\{\Pi, AT\}$ выражает вклад в баланс доступной потенциальной энергии термохалинного воздействия атмосферы, определяемого теплообменом и обменом пресной воды на границе раздела море-атмосфера. Следует отметить, что из-за малости первого слагаемого в правой части уравнения (18а), оно не учитывалось при получении (19).

Складывая уравнения (19) и (20), получим уравнение энергетического баланса для полной энергии $E = K + \Pi$

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \{E, LB\} + \{E, A\} + \{E, R\} + \{E, D\}, \quad (21)$$

где

$$\begin{aligned} \{E, LB\} &= \{K, LB\} + \{\Pi, LB\}, \quad \{E, A\} = \{K, AW\} + \{\Pi, AT\} \\ \{E, R\} &= \{\Pi, R\}, \quad \{E, D\} = \{K, D\} + \{\Pi, D\} \end{aligned}$$

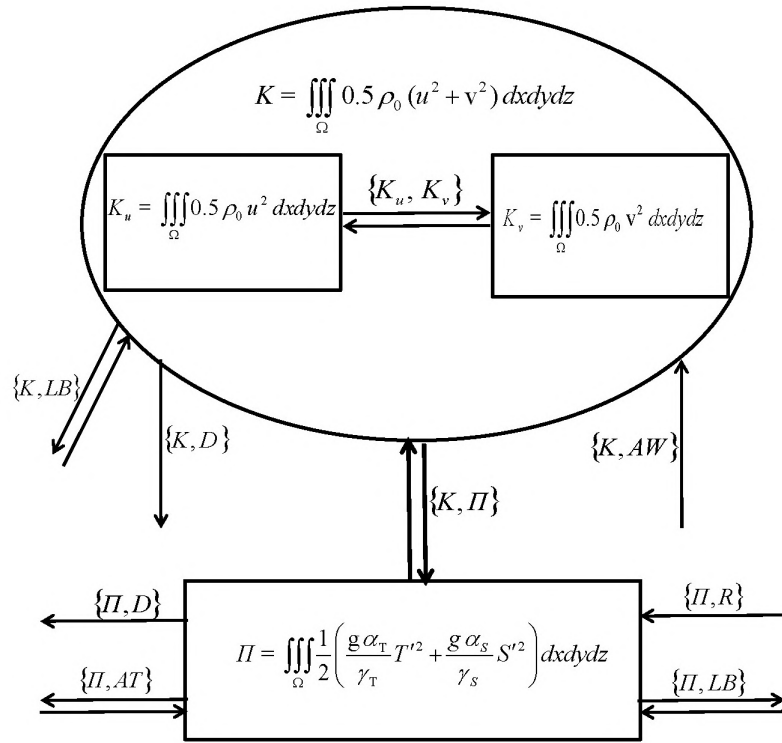


Рис.2. Общая схема энергетических преобразований.

Из (21) видно, что изменение полной энергии в выделенной области обусловлено: 1) потоком полной энергии через боковые жидкие границы ($\{E, LB\}$); 2) атмосферным ветровым и термохалинным воздействием ($\{E, A\}$); 3) поглощением солнечной радиации морской водой ($\{E, R\}$); 4) диссипативными и диффузионными процессами, обусловленными турбулентностью течения ($\{E, D\}$). В случае отсутствия этих факторов, полная энергия сохраняется

$$\frac{1}{2} \iiint_{\Omega} \left[\rho_0 (u^2 + v^2) + \left(\frac{g \alpha_T}{\gamma_T} T'^2 + \frac{g \alpha_S}{\gamma_S} S'^2 \right) \right] dx dy dz = const.$$

Для наглядности на рис. 2 изображена общая энергетическая диаграмма, построенная на основе полученных энергетических уравнений (19) - (20). Двойными стрелками обозначены те составляющие энергетического баланса, которые могут играть роль стоков и источников в различные моменты времени развития региональных динамических процессов, а одной стрелкой – которые могут играть роль только источника или стока в течение всего развития процесса.

Из рис.2 видно, что энергетическим источником энергии к кинетической энергии K является атмосферный ветер; из-за положительной работы силы трения ветра, гидродинамическая система моря постоянно пополняется энергией. Эффект силы Кориолиса сводится к перераспределению кинетической энергии между меридиональным и широтным движениями, что хорошо видно из уравнений (15) и (16), если их проинтегрировать по всему

объему. Кинетическая энергия морского движения может перейти в доступную потенциальную энергию и обратно из-за работы силы плавучести. Термохалинное воздействие атмосферы может привести поступлению энергии к доступной потенциальной энергии и наоборот, море может отдать энергию атмосфере. Лучистая энергия солнца всегда вызывает пополнение доступной потенциальной энергии. Диссипативные и диффузионные процессы всегда приводят к уменьшению K и P .

В заключение отметим, что полученные в настоящей статье уравнения энергетических преобразований будут использованы нами для энергетического анализа гидротермодинамических процессов, протекающих в грузинском секторе Черного моря и прилегающей акватории, которому будет посвящена отдельная статья.

Литერატურა

1. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И., Сурмава А. А., Кухалашвили В. Г. Некоторые особенности динамического режима восточной части Черного моря по результатам моделирования и прогноза гидрофизических полей за 2010-2013 гг. Труды Института геофизики им. М. Нодиа. т. LXIV, 2013, с. 117-130.
2. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I., Surmava A. A. Dynamical processes developed in the easternmost part of the Black Sea in warm period for 2010-2013. J. Georgian Geophys. Soc., v. 16b, 2013.
3. Кордзадзе А. А., Деметрашвили Д. И. Краткосрочный прогноз гидрофизических полей в восточной части Черного моря. Изв. РАН, Физика атмосферы и океана, т. 49, № 6, 2013, с. 733-745.
4. Кордзадзе А., Деметрашвили Д. Океанография Черного моря в прошлом и на современном этапе. Издательство Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили. 1987, 187 с (на груз.).
5. Kordzadze A. A., Demetrashvili D. I. Operational forecast of hydrophysical fields in the Georgian Black Sea coastal zone within the ECOOP. Ocean Science, 7, 2011, pp. 793-803. www.ocean-sci.net/7/793/2011/, doi: 10.5194/os-7-793-2011.
6. Kubryakov A. I., Korotaev G. K., Dorofeev V. L., Ratner Y. B., Palazov A., Valchev N., Malciu V., Matescu R., Oguz T. Black Sea coastal forecasting system. Ocean Science, 8, 2012, pp. 183-196.
7. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности. Ленинград, Гидрометеиздат, 1956, 254 с.
8. Кордзадзе А. А. Математические вопросы решения задач динамики океана. Новосибирск, 1982, 147 с.

ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებათა შესახებ ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელში

დ. დემეტრაშვილი

რეზიუმე

სტატიაში ოკეანის ჰიდროთერმოდინამიკის განტოლებათა სისტემის საფუძველზე სასაზღვრო პირობების გამოყენებით მიღებულია ინტეგრალური ენერგეტიკული თანაფარდობები, რომლებიც შესაძლებელია გამოყენებულ იქნას ენერგეტიკულ გარდაქმნების შესასწავლად რეგიონულ ჰიდროფიზიკურ პროცესებში.

Об уравнениях энергетического баланса в региональной модели динамики моря

Д. И. Деметрашвили

Реферат

В данной статье получены интегральные энергетические соотношения на основе системы уравнений гидротермодинамики океана с использованием граничных условий. Полученные соотношения могут быть использованы для изучения энергетических превращений в региональных гидрофизических процессах.

On the Energy Balance Equations in the Regional Model of the Sea Dynamics

D. Demetrashvili

Abstract

In this paper, integral energy relations are obtained on the basis of a system of ocean hydrothermodynamic equations using boundary conditions. The obtained relations can be used to study energy transformations in regional hydrophysical processes.

МОДЕЛЬ ЛОКАЛЬНОГО АТМОСФЕРНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ НИЖНЕЙ ЧАСТИ УЩЕЛЬЯ РЕКИ ВЕРЕ

¹И.Б. Хведелидзе, ¹М.С. Чхитунидзе, ²Н.И. Жонжолაძე

¹Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

²Телавский государственный университет им. Я. Гогебашвили
marina_chxitunidze@yahoo.com

Введение. В Грузии много горных рек, но среди них, у реки Вере – отличительный специфический признак – это достаточно сильная и быстрая урбанизация конца последних десятилетий, что и продолжается ныне. С этой точки зрения, для наблюдения, можно аналог ущелья Вере искать в Европе. Например, в северной Италии, в прилегающих к Альпам регионах, или, возможно, на Балканах. Известно, что густое заселение и, в особенности влияние высотных зданий и небоскребов на формирование микроклимата, возможно изобразить одним тривиальным фактором, в частности искусственным изменением естественной орографии ущелья, что вносит определенное возмущение в формировании естественного теплового баланса в ущелье. Также отмечено, что в течение последних двух десятилетий чувствуется влияние изменения орографии на картину атмосферной циркуляции. В частности, растет интенсивность ветра, у этого явления много вызывающих причин, но, вероятно, в первую очередь, это – возмущение локального температурного режима ущелья Вере, что вызвано увеличенной за последнее время радиацией отраженных от поверхности урбанных объектов солнечных лучей. Сегодня, на обеих сторонах ущелья плотно размещены высотные здания, что еще более помогает квазистационарному возмущению локального температурного поля в ущелье. Отметим, что действующие в бывшем Советском Союзе строительные нормы, требуют и сегодня в нашей стране, при строительстве многоэтажных домов, т.н. точной защиты условия «Соляризации» [1]. Этими же нормами, по определенному правилу должны быть распределены фасады зданий (по направлению юго-востока и востока). Несмотря на то, что это требование в основном защищено в построенных ныне многоэтажных зданиях, их тесное распределение вдоль ущелья Вере обязательно действует на динамическую картину формирования и развития приземных ветров. С этой точки зрения значительно узкое ущелье Вере можно уподобить криволинейному каналу, в котором формируется движение воздушных масс и налицо возмущение, вызванное градиентом атмосферного давления из-за столкновения с высокими стенами канала. Такой же эффект, или регулируемое возмущение атмосферных потоков, также характерно для узких каньонов, подобных ущелью Вере, в случае, если они ограничены вдоль всей длины довольно высокими стенами. При росте высоты приблизительно до 200-250 метров, растет также скорость ветра, величина которой при достижении определенной высоты, постепенно уменьшается, притом настолько, что выше т.н. уровня «инверсии» ее направление меняет

знак. Это известный факт, который по существу одинаково наблюдается практически во всех ущельях, по количественным данным же должно быть изображено по-разному. Например, на северном Кавказе в ущелье реки Цеа, длина которой 17км, H_0 – 1100 м, а в городе Алма-Ате, орография которой очень похожа на Тбилисскую, протекает с таким же названием маленькая горная река Алмаатинка, для которой высота «инверсии» $H_0=800$ м [2]. Общеизвестно, что при росте неустойчивости атмосферы, высота «инверсии» так же, как и скорость ветра, растет. В спокойных, нормальных, менее облачных естественных условиях, на склоне горы течение ветра, приблизительно через 30 минут после захода солнца, происходит в нижнем направлении ущелья, в теплых периодах, перед восходом солнца, ветер дует в том же направлении приблизительно в течение одного часа, а после этого направление ветра меняется с нисходящего на восходящее. В спокойных условиях характерная скорость этого ветра 1-3 м/сек.

Явление, которое описано выше, по существу должно развиваться по одинаковой схеме в случае, когда дело имеем с ущельем маленькой горной реки, что характеризует и ущелье Вере. Главная причина, вызывающая похожий эффект, неоднородность температурного поля околоземной нижней атмосферы. Главная локальная характеристика этой неоднородности - это высота хребта. Надо учесть и то, что на склонах гор суточные изменения температуры поверхности земли, в отличие от естественных условий, меняются в достаточно большом диапазоне, т.к. они ограничивают теснение масс воздуха вдоль склонов хребтов.

Автором математической модели, описываемого этого процесса, является создатель теории граничного слоя Л. Прандтль. Известное аналитическое решение Л. Прандтля получено на основе следующего упрощенного допущения: рассматривается движение, только развитое в вертикальной плотности XZ , склон гор наклонен к горизонту довольно малым углом α , исходя из того, что имеем малый линейный масштаб, возможно пренебречь эффектом Кориолиса; не рассматривается (не происходит) возникновение конвекционных потоков, т.к. вдоль хребта масса воздуха не отстает от поверхности, движение настолько медленное, что можно пренебречь ускорением. В общем, в ущельях горных стран, особенно в теплое время года, наблюдается достаточно регулярное изменение воздушных регуляций. В ущелье на склонах гор в течение дня ветер дует (выше их) сверху, ночью же ниже - вдоль их.

Предложенная Прандтлем теория о воздушных потоках, переходящих сверху через горные склоны звучит так: допустим, что склон достаточно большой горы отклонен от горизонта на угол α , который достаточно мал, для того, чтобы текущие потоки не выделились от него и не создали конвекционные потоки. Для данного случая, при рассмотрении системы допускаем, что можно пренебречь ускорением, т.к. масштаб выявления мал (несколько км), возможно пренебречь силой Кориолиса и рассмотрим движение только в плоскости XZ , тогда будем иметь формулы:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \eta \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right),$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \eta \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial z^2} \right) - g\rho, \quad (1)$$

Где η коэффициент турбулентной вязкости, допустим, что в свободной атмосфере потенциальная температура $\tilde{\Theta}$ растет линейно по высоте и кроме того, теплый слой вносит в атмосферу температурные возмущения, которое представляет функцию n , зависящую от расстояния до склона, когда

$$\tilde{\Theta} = \tilde{\Theta}_0 + Bz + \tilde{\Theta}'(n) \quad (2)$$

Если пренебрежем изменением плотности, связанным с изменением давления, тогда будет формула

$$\rho = \rho_0 [1 - \beta(\tilde{\Theta} - \tilde{\Theta}_0)] = \rho_0 [1 - \beta Bz - \beta \tilde{\Theta}'(n)],$$

где $\beta = 1/273 \text{grad}^{-1}$.

Переходим на новую систему координат (s, n) , где ось s направлена на склоне вверх, а n – нормаль склона, тогда

$$x = s \cos \alpha - n \sin \alpha,$$

$$z = s \sin \alpha + n \cos \alpha.$$

Обозначим через v составляющую скорости, которая направлена вдоль склона кверху т.е.

$$v = u \cos \alpha + w \sin \alpha$$

Если применим (1) формулу и явную зависимость

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 v}{\partial n^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial s^2}$$

и $\frac{\partial^2 v}{\partial s^2} = 0$ условие, получим выражение

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial x} \cos \alpha + \frac{\partial p}{\partial z} \sin \alpha = \eta \left[\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \cos \alpha + \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \sin \alpha \right] - g\rho_0 \sin \alpha [1 - \beta Bz - \beta \tilde{\Theta}'(n)] = \eta \frac{\partial^2 v}{\partial n^2} - g\rho_0 \sin \alpha [1 - \beta Bz - \beta \tilde{\Theta}'(n)] \quad (3)$$

В состоянии спокойствия будет:

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)_{v=0} = -g\rho_0 \sin \alpha [1 - \beta Bz] \quad (4)$$

т.к. мы не учитываем ускорение, возможно признать, что давление в состоянии спокойствия такое же, как давление при медленном передвижении, учитывая (4) и (3) получим

$$g\rho_0 \beta \sin \alpha \tilde{\Theta}'(n) + \frac{\partial^2 v}{\partial n^2} = 0, \quad (5)$$

Напишем уравнение переноса тепла для новой (s, n) системы координат, когда $\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial t} = 0$, тогда имеем уравнение

$$v \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial s} = \alpha^2 \left(\frac{\partial^2 \bar{\theta}}{\partial s^2} + \frac{\partial^2 \bar{\theta}}{\partial sn^2} \right), \quad (6)$$

но,

$$\frac{\partial \bar{\theta}}{\partial s} = \frac{\partial \bar{\theta}}{\partial z} \sin \alpha = B \sin \alpha,$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \bar{\theta}}{\partial sn^2} &= \frac{\partial^2 \bar{\theta}'(n)}{\partial n^2} \\ v B \sin \alpha &= \alpha^2 \frac{\partial^2 \bar{\theta}'(n)}{\partial n^2} \end{aligned} \quad (7)$$

и (6) после дифференцирования дважды по n , когда в (5) вставим $\eta/\rho_0 = v$, получим

$$\frac{\partial^4 \bar{\theta}'(n)}{\partial n^4} + \frac{g \beta \sin^2 \alpha \bar{\theta}'(n)}{v \alpha^2} = 0. \quad (8)$$

Возмущение температуры должно сравниться с величиной $\bar{\theta}$, когда $n = 0$ и когда n стремиться к бесконечности, соответствующее (8) решение имеет следующий вид:

$$\bar{\theta} = \bar{\theta}'_0 e^{-\frac{n}{L}} \cos \frac{n}{L} \quad (9)$$

где

$$L = \sqrt[4]{\frac{4v\alpha^2}{g\beta \sin^2 \alpha}} \quad (10)$$

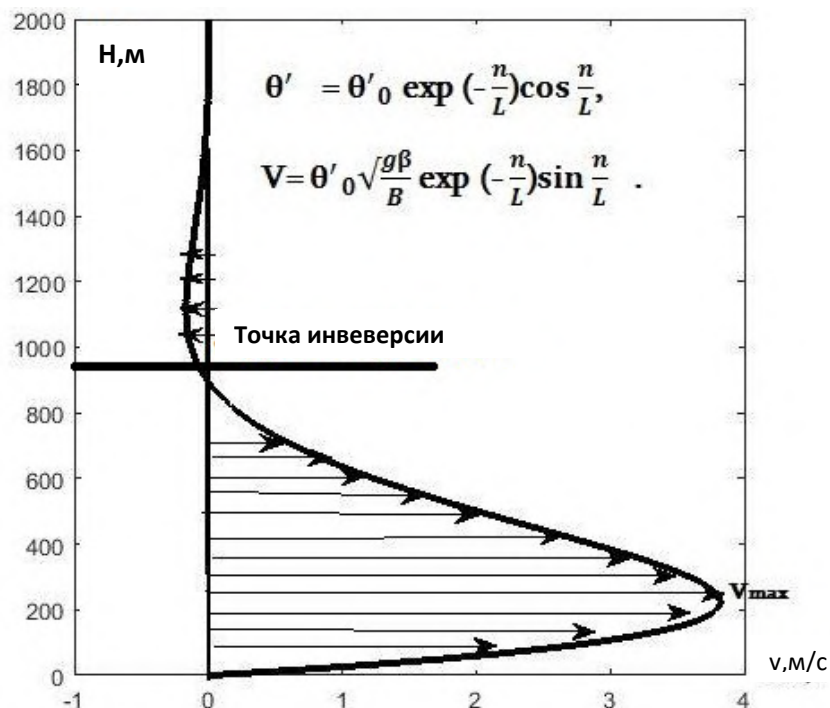


Рис.1. Профили скорости

Если применим (6), получим:

$$v = \frac{\alpha^2}{B \sin \alpha} \frac{\partial^2 \theta'}{\partial n^2} = \theta'_0 \sqrt{\frac{g\beta\alpha^2}{vB}} e^{-\frac{n}{L}} \sin \frac{n}{L} \quad (11)$$

Значит скорость равна нулю на поверхности наклона (склона) и растет до максимума v_m , когда высота $n_m = \frac{\pi L}{4}$.

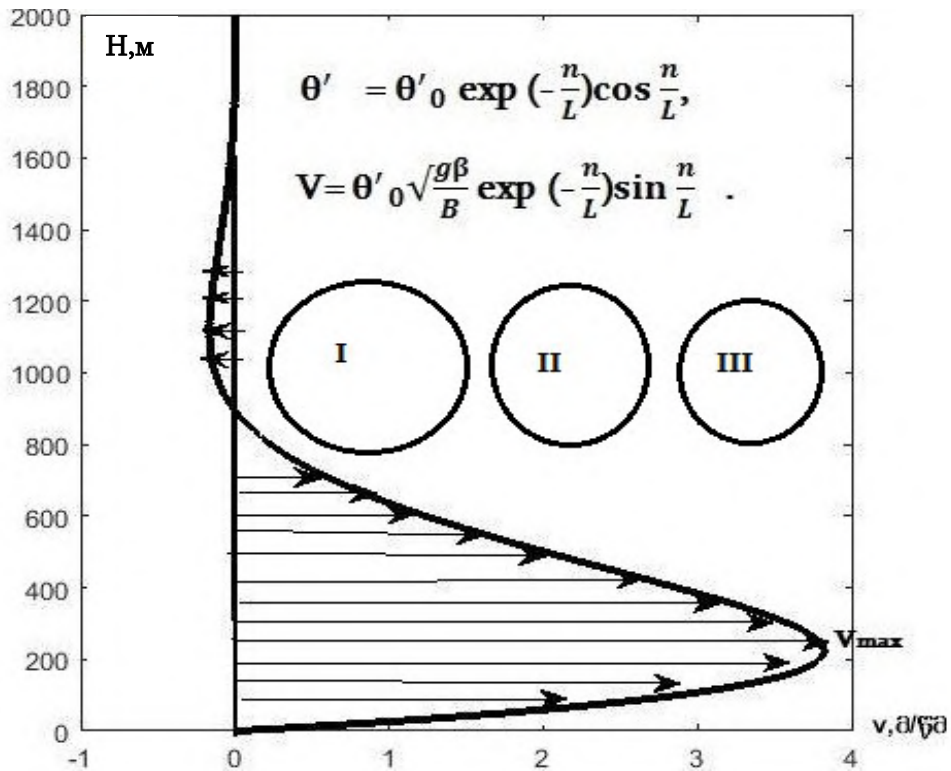


Рис.2. Профили скорости

Соответственно, максимальная скорость ветра пропорциональна аномалии температуры и стремительно растет при нестабильности атмосферы, т.е. должна увеличиться днем и ослабеть ночью. Наблюдением становится ясным, что оно не зависит от угла наклона склона.

Наблюдая данную систему найдем: если мы выберем n_0 высоту более малой, чем есть n_m , легко можно доказать, что при увеличении угла наклона α , скорость на этой данной высоте начнет увеличиваться.

Согласно модели Прандтля можем заключить, что в свободной атмосфере температура θ вместе с высотой линейно увеличивается, а поверхность склона вносит возмущение θ' , которое является функцией высоты n удаления от склона.

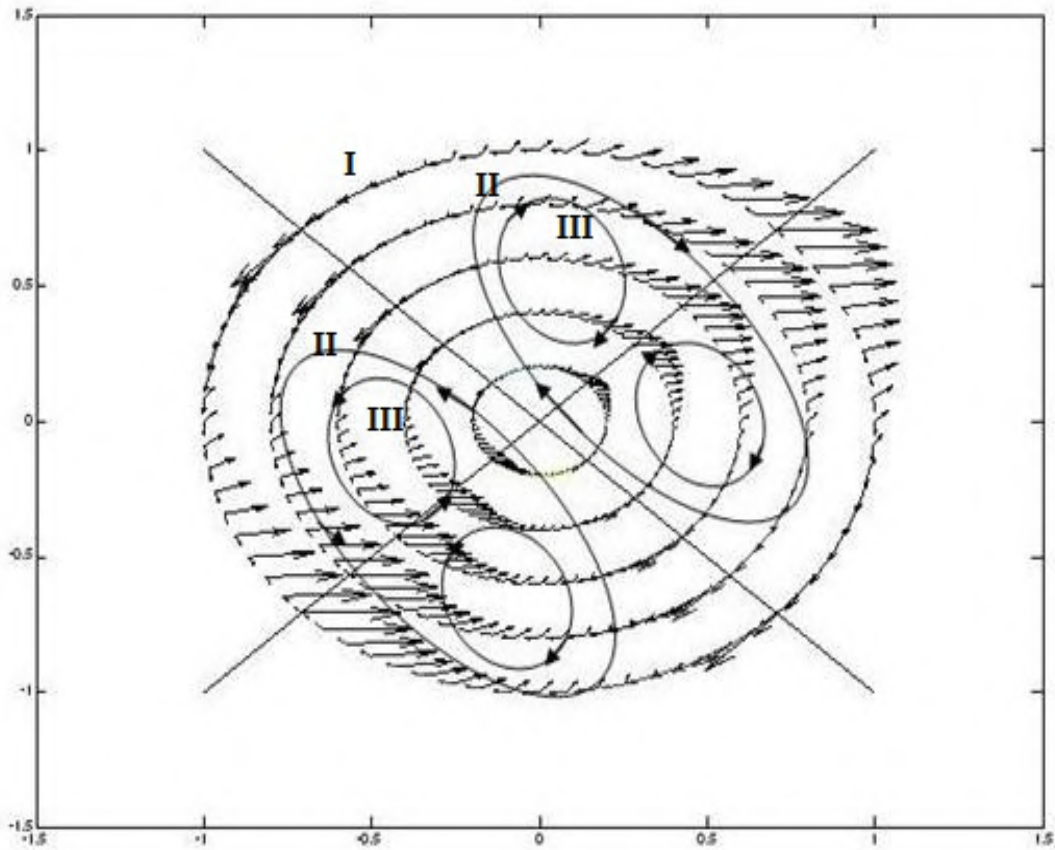


Рис.3. Разложение неоднородного урагана

Для атмосферы, движение которой турбулентное, передача температуры и коэффициенты кинематической вязкости можно считать равными между собой, для параметра θ' было получено уравнение (8), где β -коэффициент температурного расширения, g – ускорение силы тяжести, ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, а $B = \text{const}$ вертикальный температурный градиент.

Общее решение уравнения (8) состоит из четырех членов, хотя в монографии [3] дан только тот член общего решения, который удовлетворяет следующему конкретному условию

$$\begin{aligned} \theta' &= \theta'_0, & \text{где } n &= 0, \\ \theta' &= 0, & \text{где } n &= \infty, \end{aligned} \quad (12)$$

Вместе с этим, подразумевается эффект инверсии скорости ветра. Соответствующее решение имеет вид (9), в котором характерным вертикальным масштабом участвует высота максимума скорости, решаемая формулой (10). Образованное вдоль склона хребта температурное возмущение вызывает вначале конвективное движение масс воздуха, скорость которого дана (11) формулой.

Таким образом, выражение (11) дает вертикальный профиль скорости ветра, также определяет высоту ($n_m = \frac{L\pi}{4}$) максимума скорости и высоту инверсии, которая соответствует первому минимуму тригонометрической функции ($n_m = \pi L$). Но, несмотря на очевидность такого решения, по нашему мнению, применение только одного частного

решения, достаточно ограничивает практическую стоимость модели Прандтля. В частности, считаем, что физическая картина будет более совершенной, если примем во внимание эффект перманентного изменения во времени граничных условий. Такое явление вполне реально для атмосферных процессов. Известно также, что учет этого часто вызывает значительную количественную коррекцию результатов долгосрочных прогностических метеорологических задач. Поэтому, естественно соображение, что эффект изменения граничных условий должен быть значительным в короткопериодных локальных атмосферных процессах. В частности, вероятно, что в узких каньонах, подобно ущелью Вере, возмущение температурного поля из-за антропогенного воздействия, не зависит только от естественных факторов, что в пределах модели Л. Прандтля. В виде анализа должно быть учтено влияние урбанического эффекта на локальное температурное поле. Лучше, рассмотрим еще один (12) различный вариант граничных условий, который также учитывает эффект инверсии

$$\begin{aligned} \theta' &= \theta'_0, & \text{когда } n &= 0, \\ \theta' &= \infty, & \text{когда } n &= \infty. \end{aligned} \quad (13)$$

Этим граничным условиям удовлетворяет еще одно частное решение уравнения (8), которое отличается от (9) только знаком экспоненциального множителя

$$\theta' = \theta'_0 \exp\left(\frac{n}{L}\right) \cos \frac{n}{L}, \quad (14)$$

Формула соответствующей скорости будет

$$V_2 = -\theta'_0 \sqrt{\frac{g\beta}{B}} \exp\left(\frac{n}{L}\right) \sin \frac{n}{L}. \quad (15)$$

Что в конечной сумме вызывает изменение уравнения инверсии, поэтому, эффект инверсии будет иметь место на различной высоте ($n_m = \frac{3L\pi}{4}$), так же, как и будет разным вертикальный профиль скорости.

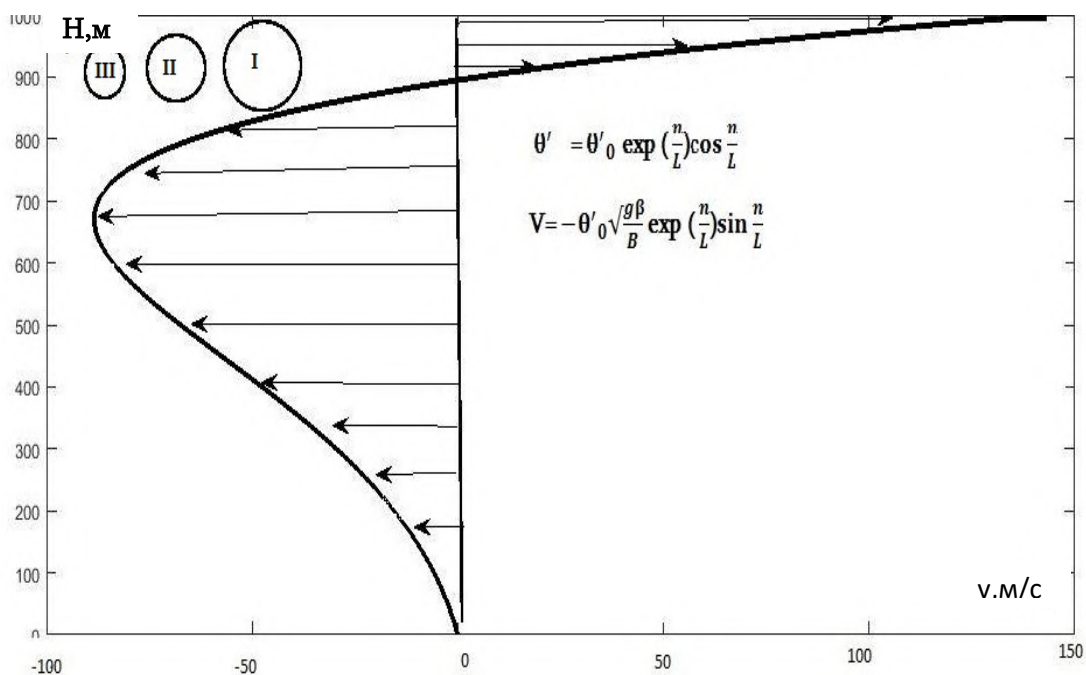


Рис.4. Вертикальный профиль скорости

У профиля полученной скорости есть две особенные точки, первая V_{max} – точка, где скорость бывает максимальной, но направление скорости не меняется, знак производного же – меняется. Вторая особенная точка инверсии, где скорость равна нулю и направление скорости меняется, эта вторая особенная точка (инверсии) интересна, т.к. здесь физически более прощще должно произойти образование вихрей и затем – распад, подразумеваем неоднородный вихрь приблизительно такой, какой он изображен на рисунке.

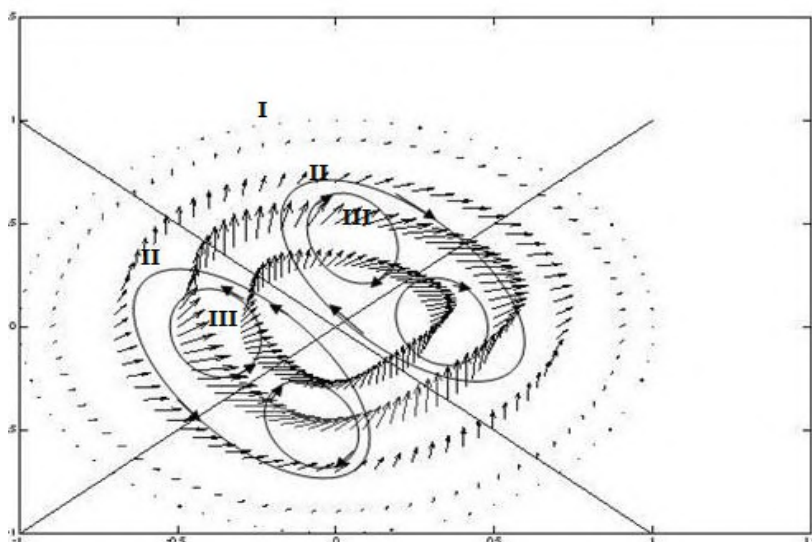


Рис. 5. Распад вихрей

Хотя, в этом случае возникает вопрос: есть ли практическая стоимость у такого решения задачи Л. Прандтля, асимптотическое поведение которой не удовлетворяет

условию убывания возмущения температурного поля в том случае, когда $n \rightarrow \infty$? При таком стремлении, когда $n \rightarrow \infty$ при одном взгляде, (14) решение ошибочное, т.к. в общем случае в возмущении всегда подразумевается только малое изменение основной величины, хотя, модель Прандтля – специфического характера, для получения уравнения (8) была применена такая модель изменения температурного поля, которая формально допускает вместе с высотой неограниченное увеличение температуры, что в общем некорректно для температуры Земли и дается формулой (2).

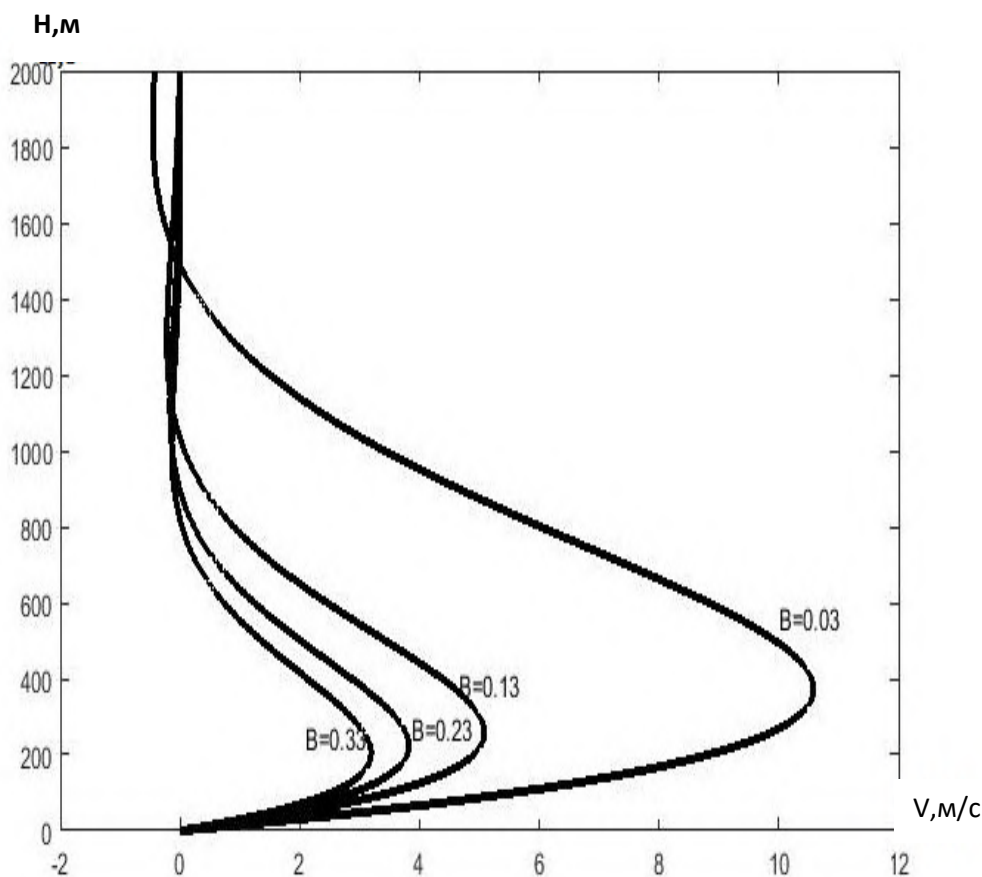


Рис.6. Изменение вертикального температурного градиента

Заключение. Реально, в модели Л. Прандтля имеет место кажущее сопротивление, если предположим, что она справедлива только для малых высот. Действительно, целью этой модели является определение вертикального профиля и высоты инверсии направления слабого ветра, параллельного поверхности хребта и вызванного возмущением температурного поля в нижней атмосфере. Поэтому, реально, область корректности решения (14), подобно (11), ограничена прилегающей окрестностью уровня инверсии. Именно, поэтому физическая стоимость задачи Л. Прандтля не только сомнительна, но и явно растет добавлением еще одного дополнительного решения. В таком случае, становится возможным неявное моделирование эффекта изменения высоты инверсии во времени из-за перманентного изменения начальных условий. По нашему мнению, вероятность именно этого явления значительно возросла в ущелье Вере в

результате урбанического воздействия, что, со своей стороны, должно влиять на локальные гидрометеорологические характеристики.

Литერატურა:

1. Кереселидзе З., Одилавадзе Д. Гидродинамическая модель конусообразной подземной лавовой трубки. Труды института геофизики, т. 67, 2017, с. 5-19.
2. Хргиан А.Х. Физика атмосферы, т.2. Ленинград, Гидрометеиздат, 1978, 237 с.
3. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Гл. XX, Москва, Наука, 1974.
4. Амиранашвили А.Г., Кереселидзе З.А., Митин М.Н., Хведелидзе И.Б., Чихладзе В.А. Тревожные факторы микроклимата долины реки Вере и их влияние на интенсивность паводков. Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. 69, 2018, с.196-210.
5. Kereselidze Z., Khvedelidze I. Shergilashvili G. On the Probable Technical Reasons of the Devastating Flood in 2015 in Tbilisi Journal of the Georgian Geophysical Society, Physics of Solid Earth, Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.21(2), 2018, pp. 5 -16.
6. კერესელიძე ზ., შერგილაშვილი გ. მდინარე ვერეს 13.06.2015 წლის წყალმოვარდნა და დახურული კალაპოტის ჰიდროდინამიკური პრობლემა. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომათა კრებული, ტ. 66., 2016, გვ. 199-221.

ვერეს ხეობის ქვედა ნაწილის ლოკალური ატმოსფერული შეშფოთების მოდელი

ი. ხვედელიძე, მ. ჩხიტუნიძე, ნ. ჟონჟოლაძე

რეზიუმე

მდინარე ვერეს ხეობაში ალმატინკას ხეობის ანალოგიურად, გეოფიზიკური პარამეტრების მსგავსების საფუძველზე, შესაძლებელია დღე-ღამური ტემპერატურის ცვლილებით გამოწვეული ლოკალური ატმოსფერული დინებების სურათის ვერტიკალური ჭრილის მოდელირება, რისთვისაც გამოვიყენეთ სასაზღვრო ფენის თეორიის შემქმნელის ლ. პრანდტლის ცნობილი მათემატიკური მოდელი. მოცემულ ნაშრომში მოვახდინეთ ამ მოდელის მოდიფიკაცია ტემპერატურული ველის შეშფოთების სასაზღვრო პირობების ცვლილების დაშვების ფარგლებში, რაც თვისებრივად შესაძლებელია ნებისმიერი პატარა მთის მდინარის კანიონში. ფიზიკური ანალოგიის გარდა ჩვენს მიერ გამოყენებულია ბრუნვის სიჩქარეთა ველის კინემატიკური მოდელი, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია მსხვილმასშტაბოვანი ატმოსფერული ქარის გენერაცია ჰორიზონტალური ინვერსიის ზედაპირის მახლობლად.

Модель локального атмосферного возмущения нижней части ущелья реки Вере

И.Б. Хведелидзе, М.С. Чхитунидзе, Н.И. Жонжолодзе

Реферат

В ущелье реки Вере, аналогично ущелью реки Алмаатинка, на основе подобия геофизических параметров, возможно моделирование картины вертикального разреза локальных атмосферных течений, вызванных суточными изменениями температуры. Для этого была применена известная математическая модель Л. Прандтля – основателя теории пограничного слоя. В данной работе показана модификация этой модели в пределах допущения изменений граничных условий возмущения температурного поля. Это возможно в каньоне реки произвольно малой горы. Кроме физической аналогии, нами применена кинематическая модель вращения поля скоростей. С помощью чего и возможна генерация крупномасштабного атмосферного ветра вблизи поверхности горизонтальной инверсии.

Model of Local Atmospheric Disturbance of Lower Part of Gorge of River Vere

I. Khvedelidze, M. Chkhitunidze, N. Zhonzholadze

Abstract

In the Vere River gorge, similar to the Almaatinca River gorge, based on the similarity of geophysical parameters, it is possible to model the vertical section pattern of local atmospheric currents caused by daily temperature changes. For this purpose, the well-known mathematical model of L. Prandtl, the founder of the theory of the boundary layer, was used. This paper shows a modification of this model within the limits of assuming changes in the boundary conditions of the temperature field disturbance. This is possible in the canyon of the river arbitrarily small mountain. In addition to the physical analogy, we have applied a kinematic model of velocity field rotation. With this it is possible to generate large-scale atmospheric wind near the surface of horizontal inversion.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕСЯЧНЫХ СУММ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ В ТИАНЕТИ (ГРУЗИЯ) В 1956-2015 ГГ.

¹А.Г. Амиранашвили, ¹Т.Г. Блиадзе ²Л.Г.Картвелишвили

¹Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

²Агентство по окружающей среде Грузии
avtandilamiranashvili@gmail.com

Введение

В Грузии, как и во многих других странах, исследованиям атмосферных осадков уделялось и уделяется особое внимание. Так, изучение климатологии осадков, их статистической структуры и распределения на территории Грузии проводилось в работах [1-5]. Анализ статистической структуры весенне-летних осадков для 18 населенных пунктов Восточной Грузии был проведен в [6]. Изучение долговременных изменений и ожидаемой изменчивости атмосферных осадков в будущем в связи с изменением климата, в частности, проведены в работах [7-13]. Информация о влиянии проливных дождей на опасность ливневых паводков в Грузии представлена в [14, 15].

Так, в работе [11] был проведен статистический анализ данных о месячных и сезонных значениях температуры воздуха и осадков в Тбилиси с 1844 по 2018 годы. Изучены тренды температуры воздуха и осадков за три периода года (год, холодное и теплое полугодия) для наблюдений за 175 лет. Проведено сравнение среднемесячных и сезонных значений температуры воздуха и осадков за два тридцатилетних периода времени (1844-1873 и 1989-2018 годы). В частности, было установлено, что в последний период времени по сравнению с первым в Тбилиси в октябре и ноябре наблюдается рост осадков, а в июле и сентябре - уменьшение.

В последнее время с учетом полученной новой информации об атмосферных осадках начато детальное исследование их режима в различных пунктах Грузии с целью уточнения и определения тенденций к опустыниванию, либо – к избыточному увлажнению. Климат Грузии весьма неоднороден [5,7,8]. Поэтому, даже в пределах одного и того же региона долговременные вариации отдельных климатических элементов могут быть различны.

Например, в работе [12] представлены результаты статистического анализа данных по месячным осадкам для пяти пунктов Кахетии - Телави, Сагареджо, Кварели, Гурджаани, Дедоплисцаро и Лагодехи. Период исследования с 1956 по 2015 гг. В частности, было установлено, что в течение указанного периода времени в разные месяцы года в Кахетии в разных точках изменчивость осадков довольно неоднородна. Так, в 1986-2015 гг. по сравнению с 1956-1985 гг. режим осадков в Кварели не изменился; в Телави во второй период времени по сравнению с первым месячное количество осадков уменьшилось в июне и июле и увеличилось в октябре; в Сагареджо - уменьшение осадков с июня по август и увеличение в октябре; в Гурджаани и Дедоплисцаро - уменьшение количества осадков в июне; в Лагодехи увеличение в октябре и ноябре.

Выбор этих пунктов не был случайным, так как в Кахетинском регионе Грузии в шестидесятые – восьмидесятые годы прошлого столетия проводились производственные работы по борьбе с градом [16,17], которые были возобновлены 28 мая 2015 года и продолжаются по сей день [18,19]. В перспективе планируется расширение работ по модификации погоды в Грузии и, в частности, возобновление работ по регулированию атмосферных осадков [19], которые ранее осуществлялись в различных регионах Восточной Грузии.

В этой работе, которая представляет продолжение предыдущих исследований, представлены результаты исследований изменчивости месячной суммы атмосферных осадков в Тианети в 1956-2015 гг., где в семидесятые – восьмидесятые годы прошлого столетия проводились работы по вызыванию осадков [16,17].

Район исследования, используемые данные, методика обработки данных

Район исследования – город Тианети, Грузия (широта - 42.12° с.ш., долгота - 44.97° в.д., высота – 1099 м над уровнем моря). В работе используются данные агентства по окружающей среде Грузии о месячной сумме осадков в указанном городе в 1956-2015 гг.

Используются стандартные статистические методы обработки данных наблюдений [20]. Ниже будут использоваться следующие обозначения и сокращения: **Сред.** - среднее значение; **Мин.** – минимальное значение; **Макс.** – максимальное значение; **Вар. размах** – вариационный размах: **Макс. - Мин.**; **Ст. откл.** – стандартное отклонение; **Ст. ошибка** – стандартная ошибка; **Коэфф. вар.** - коэффициент вариации: $100 \cdot \text{Ст. откл.} / \text{Сред.}$, %; **Дов. инт., 95%(+/-)** – 95% доверительный интервал среднего; **P** – месячная сумма осадков, мм; ΔP – разность между средним количеством осадков в 1986-2015 и 1956-1985 гг.; $\alpha(t)$ – уровень значимости критерия Стьюдента, сравнение средних значений осадков за два указанных периода времени производилось с использованием критерия Стьюдента с уровнем значимости не хуже 0.15; R^2 - коэффициент детерминации; $\alpha(R^2)$ - уровень значимости коэффициента детерминации. Недостающие данные наблюдений были восстановлены с использованием стандартных методов [20].

Результаты

Результаты работы представлены на рис. 1-4 и в таб. 1-3.

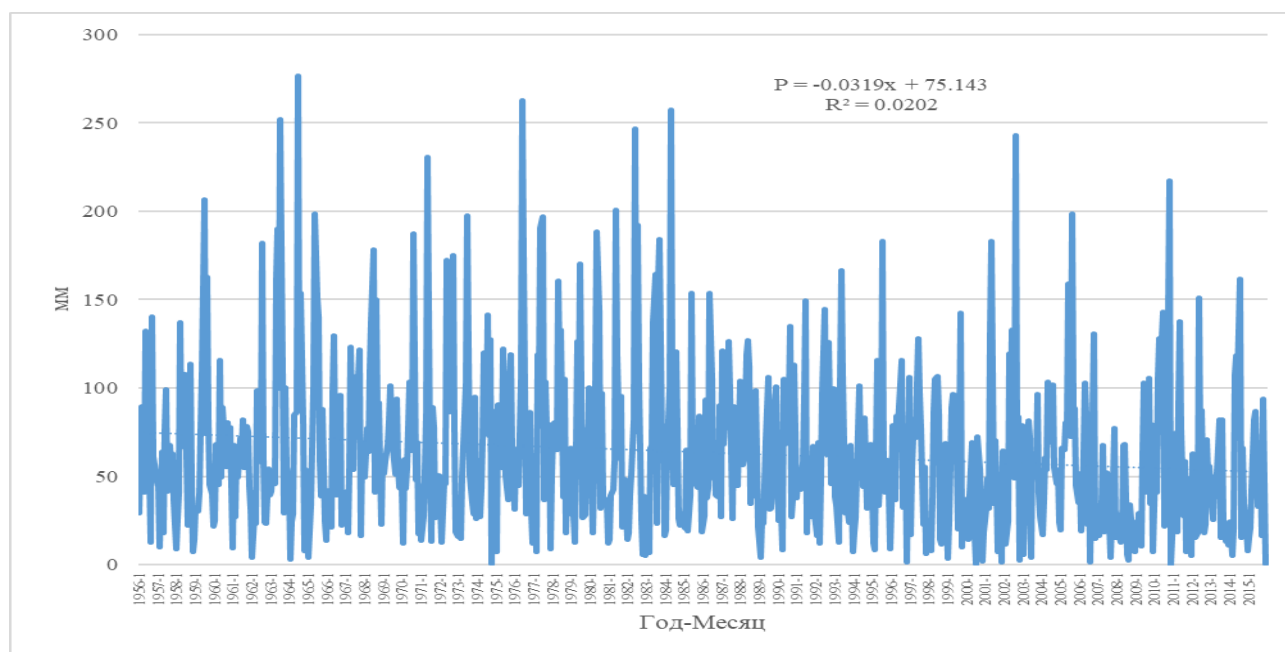


Рис. 1. Месячная сумма осадков в Тианети в 1956-2015 гг., $\alpha(R^2) = 0.001$

На рис. 1 для наглядности в графическом виде представлены данные о месячной сумме осадков в Тианети в период с 1956 по 2015 гг. Как следует из этого рисунка наблюдается общая тенденция уменьшения осадков в этом пункте в указанный шестидесятилетний промежуток времени.

Статистические характеристики месячной суммы осадков в Тианети в холодное и теплое полугодия представлены в таб. 1-2, а среднемесячной суммы осадков в три периода года - в таб. 3. В этих же таблицах представлены данные о значениях ΔP и их уровнях значимости по критерию

Стьюдента. На рис. 2 представлена информация о средних месячных, полугодовых и годовых значениях P в 1956-1985 и 1986-2015 гг.

Таблица 1

Статистические характеристики месячной суммы осадков в Тианети в холодное полугодие с 1956 по 2015 гг.

Параметр/месяц	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Сред.	57.2	43.6	33.0	30.5	39.2	49.1
Мин.	0.5	0.0	0.4	3.2	5.0	8.5
Макс.	217.4	113.0	106.0	121.0	93.4	137.0
Вар. размах	216.9	113.0	105.6	117.8	88.4	128.5
Ст. откл.	36.4	27.7	26.4	21.3	24.5	26.8
Ст. ошибка	4.7	3.6	3.4	2.8	3.2	3.5
Коэфф. вар., %	64	63	80	70	63	55
Дов. инт., 95%(+/-)	9.3	7.1	6.7	5.4	6.3	6.8
ΔP	6.6	-0.8	3.9	-0.2	-3.3	-12.4
$\alpha(t)$	0.49	0.91	0.57	0.97	0.60	0.07
$\Delta P/\text{Сред.}, \%$	11.5	1.8	11.7	0.8	8.5	25.3

Таблица 2

Статистические характеристики месячной суммы осадков в Тианети в теплое полугодие с 1956 по 2015 гг.

Параметр/месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Сред.	84.8	114.8	104.1	71.8	73.8	61.7
Мин.	10.5	18.7	3.8	0.4	1.6	4.0
Макс.	257.6	262.7	276.8	252.3	243.1	184.1
Вар. размах	247.1	244.0	273.0	251.9	241.5	180.1
Ст. откл.	40.2	52.5	51.4	50.6	49.5	41.9
Ст. ошибка	5.2	6.8	6.7	6.6	6.4	5.5
Коэфф. вар., %	47	46	49	71	67	68
Дов. инт., 95%(+/-)	10.3	13.4	13.1	12.9	12.6	10.7
ΔP	-11.0	-39.6	-30.4	-27.6	-17.6	-25.1
$\alpha(t)$	0.29	<0.001	0.02	0.03	0.15	0.02
$\Delta P/\text{Сред.}, \%$	12.9	34.5	29.2	38.5	23.9	40.7

Таблица 3

Статистические характеристики среднемесячной суммы осадков в Тианети в три периода года с 1956 по 2015 гг.

Параметр/период	Год	Холодный период	Теплый период
Сред.	63.6	42.1	85.2
Мин.	25.0	16.7	32.9
Макс.	98.4	85.5	140.3
Вар. размах	73.4	68.7	107.4
Ст. откл.	14.3	13.0	24.0
Ст. ошибка	1.9	1.7	3.1
Коэфф. вар., %	22	31	28
Дов. инт., 95%(+/-)	3.6	3.3	6.1
ΔP	-13.1	-1.1	-25.2
$\alpha(t)$	<0.001	0.76	<0.001
$\Delta P/\text{Сред.}, \%$	20.7	2.5	29.6

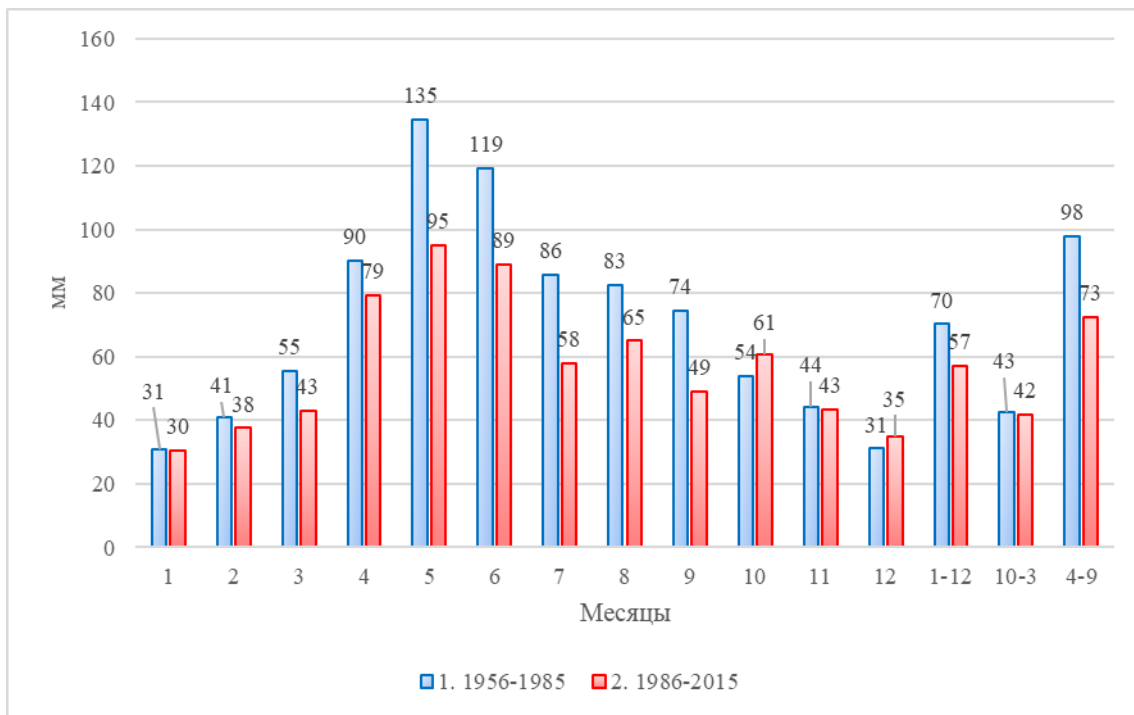


Рис. 2. Среднемесячная сумма осадков в Тианети в 1956-1985 и 1986-2015 гг.

Как следует из таб. 1-2 минимальное месячное количество осадков варьирует от 0 мм (ноябрь) до 18.7 мм (май), максимальное значение P изменяется от 93.4 мм (февраль) до 276.8 мм (июнь), среднее - от 30.5 мм (январь) до 114.8 мм (май).

Среднемесячная сумма осадков в холодный период года меняется от 16.7 мм до 85.5 мм при среднем значении 42.1 мм, в теплое полугодие - от 32.9 мм до 140.3 мм при среднем значении 85.2 мм, и в целом за год - от 25.0 мм до 98.4 мм при среднем значении 63.6 мм (таб. 3).

Наибольший вариационный размах значений P наблюдаются в июне (273.0 мм), наименьший - 88.4 мм, в феврале (таб. 1-2). Наибольшие значения коэффициента вариации значений P наблюдаются в декабре (80%), наименьшие - 46 %, в мае (таб. 1-2).

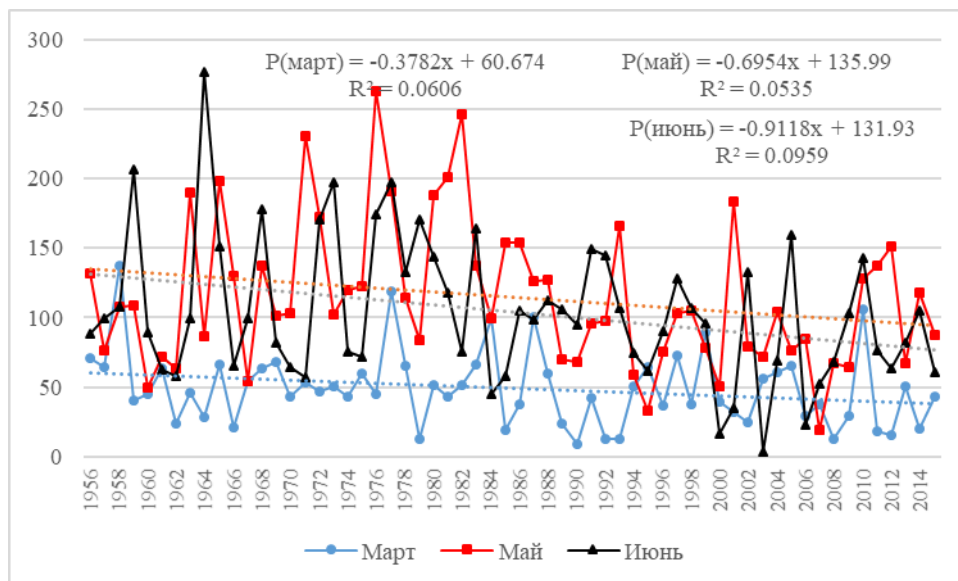


Рис. 3. Тренд месячной суммы осадков в Тианети в марте, мае и июне с 1956 по 2015 гг. Март - $\alpha(R^2) = 0.05$, май - $\alpha(R^2) = 0.05$, июнь - $\alpha(R^2) = 0.02$.

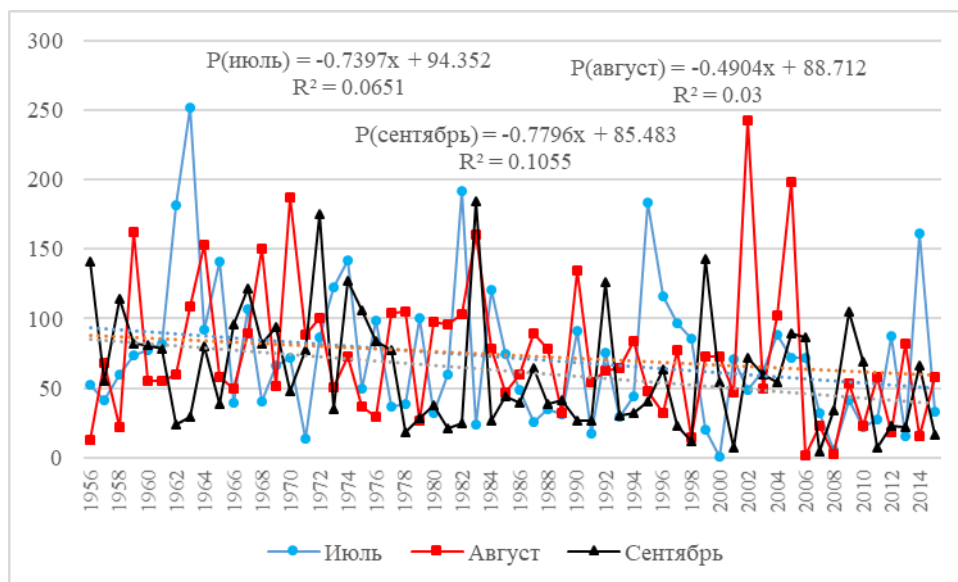


Рис. 4. Тренд месячной суммы осадков в Тианети в июле, августе и сентябре с 1956 по 2015 гг. Июль - $\alpha(R^2) = 0.05$, август - $\alpha(R^2) = 0.2$, сентябрь - $\alpha(R^2) = 0.01$.

В исследуемый период времени в отдельные месяцы (март, с мая по сентябрь) наблюдается лишь тенденция к уменьшению количества осадков (таб. 1-2). При этом наибольший эффект убывания осадков отмечается в сентябре ($\Delta P/\text{Сред.} = 40.7\%$), наименьший – в августе ($\Delta P/\text{Сред.} = 23.9\%$).

В холодное полугодие с 1956 по 2015 гг. режим осадков не меняется. В целом за год эффект убывания осадков составляет 20.7%, в теплое полугодие - 29.6% (таб. 3).

Наконец, на рис. 2-4 для наглядности представлены графики линейных трендов месячной суммы осадков в Тианети в марте и с мая по сентябрь в период с 1956 по 2015 гг.

Заключение

В заключение еще раз обратим внимание на неоднородность изменчивости режима осадков для отдельных пунктов Грузии. Так, расстояние от Тианети до пяти пунктов Кахетии следующее: Телави – 59 км, Кварели – 96 км, Гурджаани – 97 км, Дедоплискар – 135 км, Лагодехи – 150 км. Если в Кахетии в отдельные месяцы наряду с неизменностью и убыванием осадков за исследуемый период времени отмечался и их рост [12], то в Тианети наряду с неизменностью режима осадков в течение шести месяцев наблюдается лишь их уменьшение.

В дальнейшем предусмотрено проведение аналогичных исследований и для других пунктов Грузии, результаты которых, в частности, будут использованы для планирования работ по искусственному регулированию осадков [19].

Литература

1. Khvichia M.S. Genезis osadkov i ikh rejim na territorii Gruzii. Tr. ZakNIGMI, N, 44 (50), 1971, 189 p., (in Russian).
2. Alibegova D., Elizbarashvili E. Statisticheskaja struktura atmospernikh osadkov v gornikh raionakh. Leningrad, 1980, 136 p., (in Russian).
3. Javakhishvili S. Atmosperuli naleqebi saqartvelos teritoriaze. TSU, 1981, 181 p., (in Georgian).
4. Tavartqiladze K. Saqartveloshi naleqebis ganacilebis statistikuri struktura. Hidrometeorologiis institutis Sromebi, "Mecniereba", N 105, 2002, 117 p., (in Georgian).
5. Elizbarashvili E.E. Climate of Georgia. Monograph, ISBN 978-9941-0-9584-9, Tbilisi, 2017, 360 p., (in Georgian).

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. 79-87.
7. Budagashvili T., Karchava J., Gunia G., Intskirveli L., Kuchava T., Gurgenzidze 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. 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).
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 the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.
10. 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.
11. Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 86-90.
12. Bliadze T., Gvasalia G., Kirkitadze D., Mekoshkishvili N. Changeability of the Atmospheric Precipitations Regime in Kakheti in 1956-2015. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 74-77.
13. Miqautadze D., Kvabziridze M. Assessing the Repeatability of Extreme Rainfalls in the Background of Revealed Climate Change of Kutaisi. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 101-104.
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), 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>.
15. 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>
16. Amiranashvili A., Bakgsoliani B., Begalishvili N., Beritashvili B., Rekhviashvili R., Tsintsadze T., Chitanava R. On the Necessity of Resumption of Atmospheric Processes Modification Activities in Georgia. Trans. of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, ISSN 1512-0902, 2013, vol. 119, pp.144-152, (in Russian).
17. Amiranashvili A.G. History of Active Effects on Atmospheric Processes in Georgia. In the book: Essays of the History of Weather Modification in the USSR and the Post-Soviet Territory, ISBN 978-5-86813-450-0, St. Petersburg, RSHMU, 2017, 352 pp., ill., pp. 234-254, (in Russian), <http://mig-journal.ru/toauthor?id=4644>.
18. Amiranashvili A.G., Chikhladze V.A., Dzodzuashvili U.V., Ghlonti N.Ya., Sauri I.P. Reconstruction of Anti-Hail System in Kakheti (Georgia). Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, v.18B, Tbilisi, 2015, pp. 92-106.
19. Amiranashvili A., Chikhladze V., Dzodzuashvili U., Ghlonti N., Sauri I., Telia Sh., Tsintsadze T. Weather Modification in Georgia: Past, Present, Prospects for Development. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proc., ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 216-222.
20. Kobisheva N., Narovlianski G. Climatological Processing of the Meteorological Information, Gidrometeoizdat, Leningrad, 1978, 294 p., (in Russian).

თიანეთში ატმოსფერული ნალექების თვიური ჯამების სტატისტიკური მახასიათებლები 1956-2015 წწ.

ა. ამირანაშვილი, თ. ბლიაძე, ლ. ქართველიშვილი

რეზიუმე

წარმოდგენილია სტატისტიკური ანალიზის შედეგები ატმოსფერული ნალექების თვიური ჯამების ცვალებადობის შესახებ თიანეთში (საქართველოში) 1956 წლიდან 2015 წლამდე. კერძოდ, აღმოჩნდა, რომ აღნიშნულ პერიოდში იანვარში, თებერვალში, აპრილში და ოქტომბრიდან დეკემბრამდე, ნალექების რეჟიმი უცვლელი რჩება. მარტში და მაისიდან სექტემბრამდე შეინიშნება ნალექების თვიური ჯამების უარყოფითი წრფივი ტრენდები.

Статистические характеристики месячных сумм атмосферных осадков в Тианети (Грузия) в 1956-2015 гг.

А.Г. Амиранашвили, Т.Г. Блиадзе, Л.Г. Картвелишвили

Реферат

Представлены результаты статистического анализа изменчивости месячных сумм атмосферных осадков в Тианети (Грузия) в период с 1956 по 2015 гг. В частности, получено, что в указанный период времени в январе, феврале, апреле и с октября по декабрь наблюдается неизменностью режима осадков. В марте и с мая по сентябрь отмечаются отрицательные линейные тренды месячных сумм осадков.

Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015

A. Amiranashvili, T. Bliadze, L. Kartvelishvili

Abstract

The results of a statistical analysis of the variability of monthly sums of atmospheric precipitation in Tianeti (Georgia) from 1956 to 2015 are presented. In particular, it was found that during the indicated period of time in January, February, April, and from October to December, the precipitation regime remains unchanged. In March and from May to September, negative linear trends of monthly sum of precipitation are observed.

ტემპერატურული რეჟიმი გლობალური დათბობის ფონზე (იმერეთის რეგიონში)

ნ. ბერძენიშვილი

*ი.გოგებაშვილის სახ. თელავის სახელმწიფო უნივერსიტეტი
 nanaka.berdzenishvili@yahoo.com*

შესავალი: ჰაერის ტემპერატურა კლიმატის შემადგენელი ერთ-ერთი ძირითადი ელემენტია. მისი მონაცემები აუცილებელია გათვალისწინებულ იქნას ნაგებობათა დაგეგმარების, მშენებლობისა და ექსპლუატაციის, სოფლის მეურნეობის განვითარების, ტერიტორიის რეკრიაციული ათვისების, ეკოლოგიური და სხვა მიმართულების ამოცანების გადაწყვეტისას.

საქართველოს ტერიტორიის და მისი ცალკეული რეგიონების ტემპერატურული რეჟიმის კვლევას გარკვეული ისტორია გააჩნია. ტემპერატურის რეჟიმს იკვლევდნენ მ. კორძაბია, ი. ცუცქირიძე, ი. ქურდიანი, ვ. თავართკილაძე, ნ. ბეგალიშვილი, დ. მუმლაძე, ლ. ქართველიშვილი, ა. ამირანაშვილი და სხვები [1-20]. უკანასკნელი შრომებიდან აღსანიშნავია ე. ელიზბარაშვილის მონოგრაფია [15], სადაც განხილულია თითქმის ყველა ძირითადი კლიმატური ელემენტის განაწილება საქართველოს ტერიტორიაზე და მ. ელიზბარაშვილის მონოგრაფია [16], რომელიც სპეციალურად მიემდვნა საქართველოს ტერიტორიის ტემპერატურის ველს. საქართველოს ცალკეული რეგიონების ტემპერატურული რეჟიმი შესწავლილია კახეთის [17], აჭარის [18], აფხაზეთის [19] და სამეგრელო-ზემო სვანეთისათვის [20].

იმერეთის რეგიონის ტემპერატურული რეჟიმი, ჰაერის ექსტრემალური ტემპერატურების ტერიტორიული განაწილების ძირითადი კანონზომიერებანი: წინამდებარე ნაშრომში განხილულია იმერეთის რეგიონის ტემპერატურული რეჟიმი, ჰაერის ექსტრემალური ტემპერატურების ტერიტორიული განაწილების ძირითადი კანონზომიერებანი. იმერეთის რეგიონის ტემპერატურული რეჟიმის შესასწავლად გამოვიყენეთ ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის დაკვირვებათა მონაცემები რეგიონის 15 მეტეოროლოგიური სადგურისათვის.

ჰაერის საშუალო თვიური და წლიური ტემპერატურა °C

სადგური	სიმაღლე	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წლიური
საჩხერე	441	0.4	1.4	5.7	11.1	16.6	19.7	22.3	22.6	18.6	13.3	7.2	1.9	11.7
წყალტუბო	114	5.3	6.0	8.7	13.3	18.1	21.1	23.3	23.8	20.6	16.3	11.3	7.3	14.6

ტყიბული	541	2.6	3.1	5.8	10.8	16.0	18.7	21.0	21.6	18.3	14.1	9.2	4.9	12.2
ქუთაისი	148	5.2	5.8	8.7	13.0	17.8	20.7	23.0	23.6	20.6	16.6	11.4	7.2	14.5
ჭიათურა	348	2.4	3.6	6.9	12.2	17.4	20.5	23.1	23.5	19.8	14.9	9.1	4.4	13.1
კორბოული	793	0.3	0.2	3.2	8.7	14.2	17.2	19.6	20.2	16.6	11.8	6.2	1.8	10.0
კულაში	13	4.7	5.6	8.6	12.6	17.6	20.8	23.0	23.2	20.0	16.1	11.2	7.0	14.2
აჯამეთი	107	4.3	5.0	8.1	12.7	17.6	20.8	23.2	23.6	20.3	16.0	10.8	6.3	14.1
სამტრედია	26	4.7	5.6	8.8	13.0	18.0	21.0	23.2	23.5	20.4	16.2	11.2	7.0	14.4
საქარა	149	3.7	4.5	7.8	12.8	18.0	21.2	23.6	23.9	20.3	15.5	10.1	5.7	13.9
ვანი	520	4.1	4.8	8.2	12.6	17.6	20.7	23.0	23.4	20.0	15.6	10.8	6.3	13.9
მსაბუეთი	1247	3.9	3.3	0.1	4.9	10.0	13.2	15.6	16.2	12.7	8.3	2.9	1.2	6.3
ხარაგაული	280	3.2	3.9	7.1	12.0	17.1	20.2	22.6	23.0	19.6	15.1	9.8	5.3	13.2
თერჯოლა	449	3.8	4.6	7.9	12.9	17.9	21.0	23.2	23.5	20.2	15.3	10.3	5.8	13.9

ამ მონაცემების საფუძველზე შევადგინეთ იზოთერმების რუკები სეზონების ცენტრალური თვეებისათვის და საშუალო წლიური ტემპერატურისათვის.

იმერეთის რეგიონის ჰავაზე შავი ზღვის გავლენა, კოლხეთის დაბლობთან შედარებით, მართალია საერთოდ შესუსტებულია, მაგრამ მის თერმულ რეჟიმზე საგრძნობ გავლენას მაინც ახდენს. იმერეთში ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა მერყეობს 6^oC-დან 14^oC-მდე და სიმაღლის მიხედვით კანონზომიერად არის განაწილებული. კერძოდ, ზღვის დონიდან 200 მ-ზე საშუალო წლიური ტემპერატურა დაახლოებით 14^oC-ით განისაზღვრება, ზ.დ. 500მ-მდე=13^oC -ია, ზ.დ. 1000 მ-მდე 10^oC, ხოლო 1300 მ-ზე, კერძოდ, რაიონში ყველაზე მაღლა მდებარე მეტეოსადგურის მთა-საბუეთის მონაცემებით, საშუალო წლიური ტემპერატურები უკვე 6^oC-მდეც კი ეცემა. სიმაღლის მატებასთან ერთად ასევე მკაცრი ხდება ზანთარიც, უცივესი თვის – იანვრის ტემპერატურა ზღვის დონიდან 700 მ-მდე ყველგან დადებითია, ხოლო კორბოულში, უკვე 793 მ სიმაღლეზე, -0,3^oC -მდე, და მთა-საბუეთში (1217 მ ზ.დ.) კი -3,9^oC-მდე ეცემა. მთა-საბუეთში ასევე მატულობს უარყოფით ტემპერატურაზე თვეთა რიცხვიც და ოთხი თვის განმავლობაში, კერძოდ, დეკემბრიდან მარტის ჩათვლით მერყეობს -0,1^oC-დან -3,9^oC შორის.

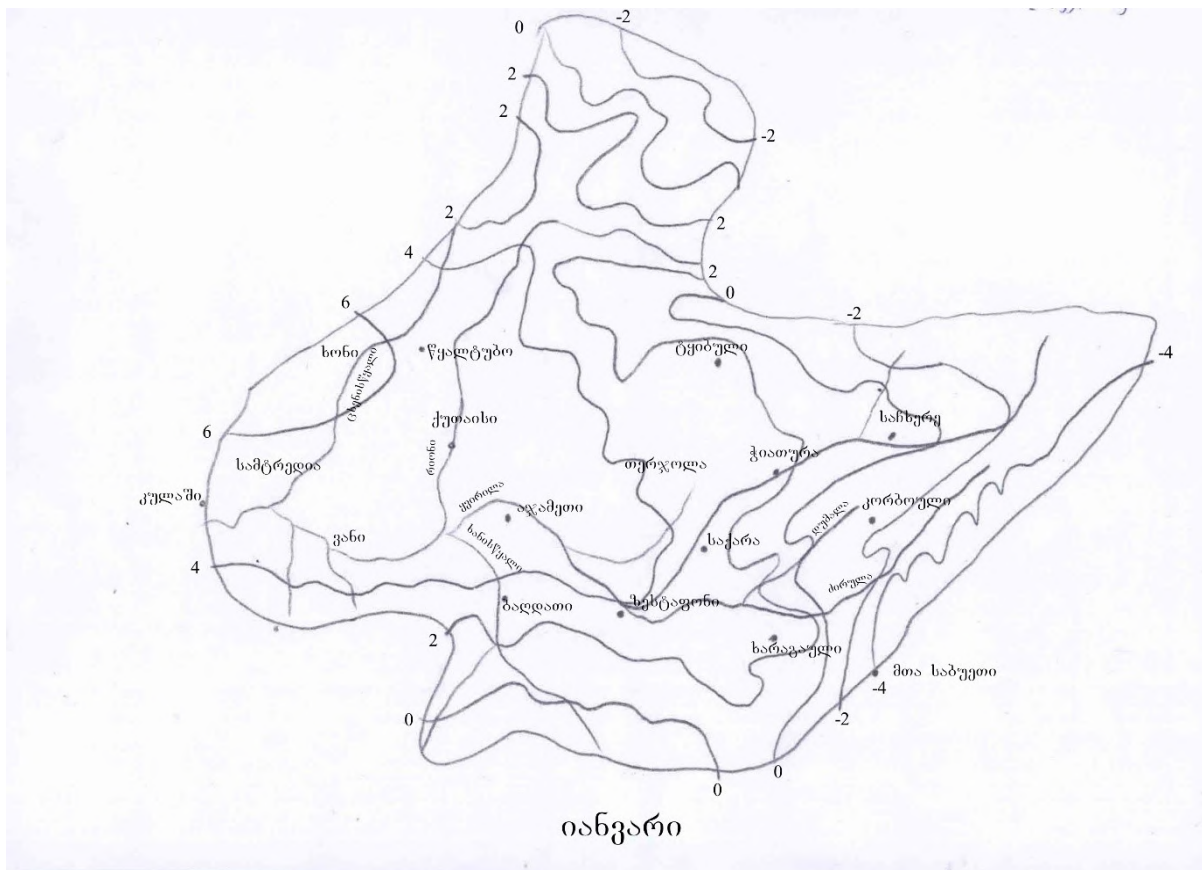
იმერეთში ყველაზე ცხელ თვეს აგვისტო წარმოადგენს. აგვისტოს თვის ყველაზე მაღალი ტემპერატურები აღინიშნება წყალტუბოში 23,8^oC და ზესტაფონში 23,9^oC. რეგიონის ჩრდილო- აღმოსავლეთით – ორპირში, საჩხერესა და ტყიბულში მონაცვლეობს შესაბამისად—22,1^o, 22,6^oC და 21,6^o ტემპერატურებს შორის. მთისწინეთებში იკლებს და რეგიონის აღმოსავლეთით, ლიხის ქედის მთისწინეთში 20,20-მდე მცირდება, ხოლო უმაღლეს წერტილში – მთა-საბუეთში მხოლოდ 16,2^oC -ია. წლის სეზონების ცენტრალურ თვეებს შორის – იანვარი, აპრილი, ივნისი და ოქტომბერი ტემპერატურათა სხვაობები საკმაოდ მაღალია. განსაკუთრებით დიდია ეს სხვაობები საჩხერესა და ტყიბულის ქვაბულებში. მაგალითად საჩხერეში აპრილსა და იანვარს შორის ტემპერატურათა სხვაობა 10,7^oC –ია, ხოლო ტყიბულში 8,2^oC. რაც შეეხება ტემპერატურათა ამპლიტუდას,

მისი მნიშვნელობა იმერეთის რეგიონში, ყველაზე მაღალი კვლავ საჩხერეშია და $22,2^{\circ}\text{C}$ -ს შეადგენს, ხოლო ტყიბულში $19,0^{\circ}\text{C}$.

ზაფხულის ცენტრალურ (და არა უცხელებს) თვედ, როგორც ვიცით, მიჩნეულია ივლისი. აპრილიდან ამ თვემდე ტემპერატურა მთელ რეგიონში თითქმის დაკვირვების ყველა პუნქტში, დაახლოებით 2-ჯერ იზრდება. მაგალითად, საჩხერეში, თუ აპრილის თვის საშუალო

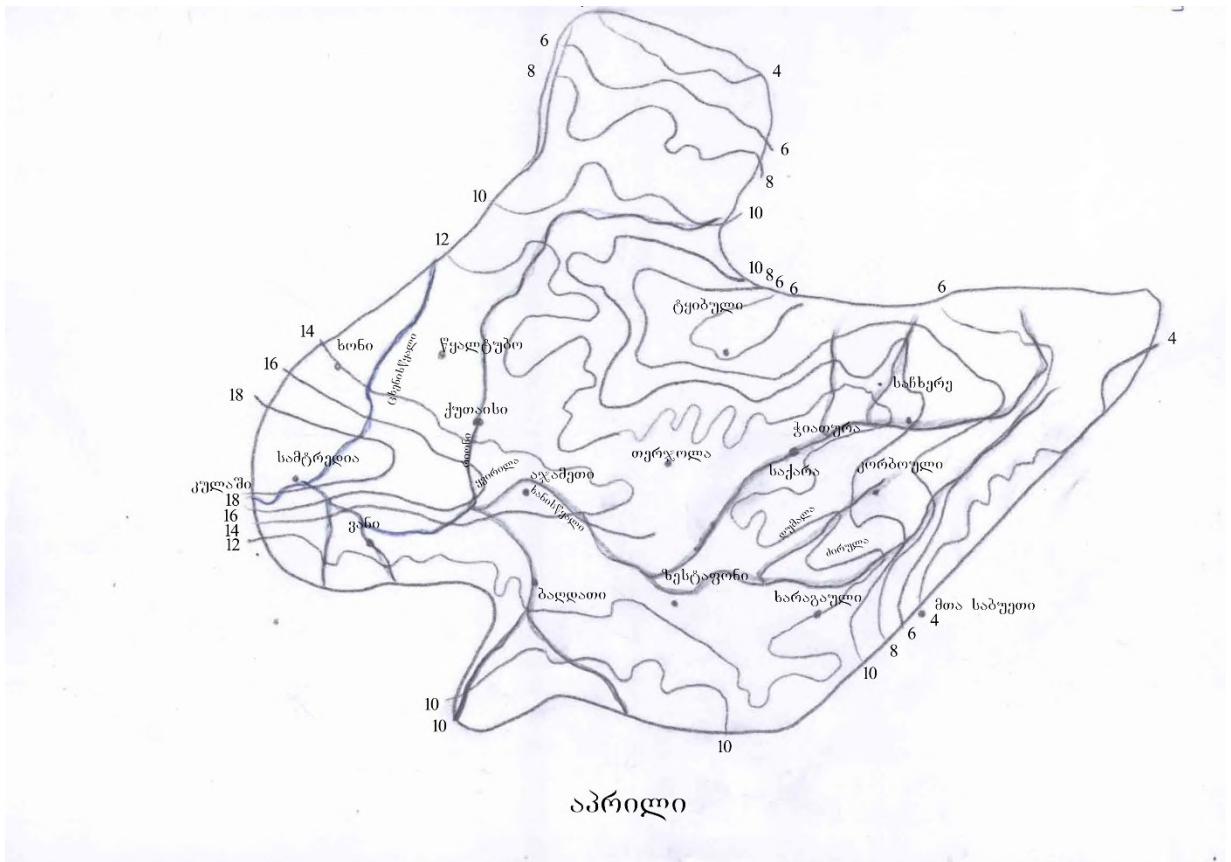
ტემპერატურა $-11,1^{\circ}\text{C}$ -ია, ივლისში უკვე $22,3^{\circ}\text{C}$ აღინიშნება; ტყიბულში $10,8^{\circ}\text{C}$ - დან ტემპერატურა $21,0^{\circ}\text{C}$ -მდე იზრდება, ხოლო კორბოულში 2-ჯერ მეტადაც და $8,7^{\circ}\text{C}$ -დან მისი სიდიდე $19,6^{\circ}\text{C}$ -ით განისაზღვრება.

შევეცადეთ, ჩვენს ხელთ არსებული მასალების საფუძველზე, შეგვედგინა იმერეთის რეგიონის იზოთერმების რუკები. ეს რუკები ავაგეთ წლის სეზონების ცენტრალური თვეებისათვის — იანვარი, აპრილი, ივლისი, ოქტომბერი და აგრეთვე საშუალოდ წლისათვის. აღნიშნული რუკები საშუალებას გვაძლევს ნათლად წარმოვიდგინოთ ჰაერის ტემპერატურათა განაწილების სურათები იმერეთის რეგიონში.



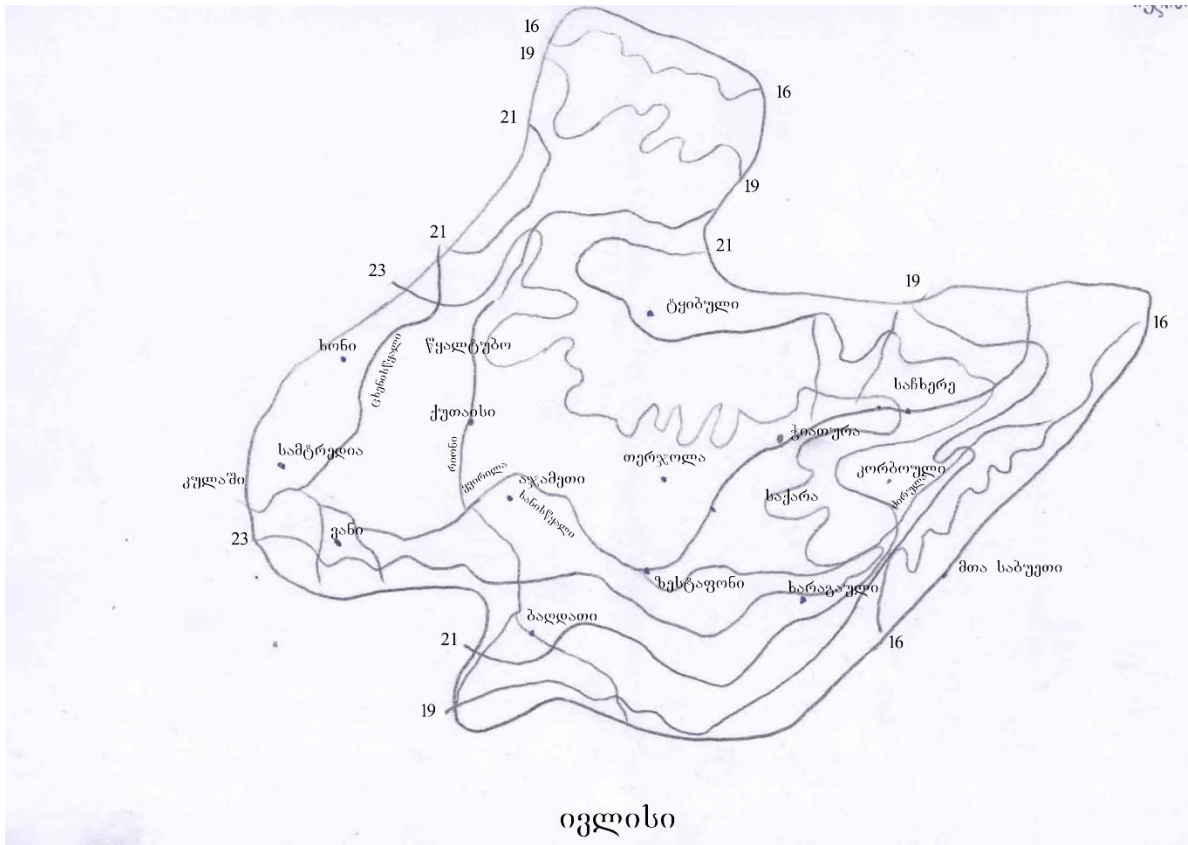
იანვარი - ჰაერის საშუალო თვიური ტემპერატურა იმერეთში $3,9^{\circ}\text{C}$ -დან $5,3^{\circ}\text{C}$ -მდე ფარგლებში იცვლება. როგორც იზოთერმების რუკა გვიჩვენებს, იმერეთში ტემპერატურა შესამჩნევად იკლებს დასავლეთიდან აღმოსავლეთისაკენ, რაც ტემპერატურის განაწილების ზოგადი კანონზომიერების ფარგლებშია მოქცეული. ხონი, ქუთაისი და წყალტუბო, იმერეთში, იანვრის ყველაზე მაღალი ტემპერატურებით გამოირჩევა, კერძოდ, $5,9^{\circ}\text{C}$ და მასზე მეტი. სამხრეთით სამტრედიისა და ვანისაკენ კლებულობს $4,1^{\circ}\text{C}$ -მდე. აღმოსავლეთით — თერჯოლა, ზესტაფონი, ხარაგაული იკლებს - $3,8^{\circ}\text{C}$ -დან $3,2^{\circ}\text{C}$ -

მდ. რაჭის ქედის მიდამოებში გადის 10° – 20° -იანი იზოთერმები. ხოლო მესხეთისა და ლიხის ქედის მიმდებარე, ვიწრო მაღალმთიან ზონაში უკვე – 5° -იანი იზოთერმაა წარმოდგენილი.



აპრილი - წლის აღნიშნულ დროს იმერეთის მთელ ტერიტორიაზე დადებითი ტემპერატურა დაიკვირვება და იგი 4° -დან 13° -მდე მერყეობს. ისევე, როგორც იანვრის თვეში, ამჟამადაც ყველაზე მაღალი ტემპერატურა ($13,3^{\circ}\text{C}$) წყალტუბოსა და მის მიდამოებში აღინიშნება, ხოლო 13°C -ქუთაისში, ხონსა და სამტრედიაში. ტყიბულის ქვაბულსა და რაჭის ქედის მიმდებარე ტერიტორიებზე გადის 10°C -იანი იზოთერმა. კორბოულში, რომელიც მდ. დუმალას ხეობაში მდებარეობს, ზ.დ-ან 793 მ სიმაღლეზე ტემპერატურა $8,7^{\circ}\text{C}$ -მდე იკლებს. ხოლო 4° -იანი იზოთერმით ისაზღვრება მესხეთის და ლიხის ქედის მაღალმთიანი ადგილები. მთა საბუეთის მონაცემებით, ზღვის დონიდან 1247 მეტრზე დაფიქსირებულია აპრილის თვეში $4,9^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურა.

ივლისი - აღნიშნულ თვეში ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 15° -დან 23° -მდე იცვლება. ყველაზე მეტი სითბო ამჟამად იმერეთის - დასავლეთ და ცენტრალურ ნაწილებზე მოდის (23° - $23,6^{\circ}$). კერძოდ, წყალტუბოში, ქუთაისში, თერჯოლასა და ზესტაფონში შესაბამისად აღინიშნება – $23,3^{\circ}\text{C}$; $23,0^{\circ}\text{C}$, $23,2^{\circ}\text{C}$, და $23,6^{\circ}\text{C}$ ტემპერატურები. ჩრდილოეთით, რაჭის ქედის მიმართულებით ტემპერატურა ეცემა და ქედის მაღალ ადგილებში გადის 20°C -იანი იზოთერმა. აღმოსავლეთით, კი სიმაღლის ზრდასთან ერთად 19°C -დან 15°C -მდე მცირდება.



ოქტომბერი - წლის მოცემულ პერიოდში ტემპერატურა საკმაოდ დიდ დიაპაზონში მერყეობს და იმერეთის განაპირა (აღმოსავლეთით და დასავლეთით) რაიონებში გადის 9⁰ და 16⁰--იანი იზოთერმები. ამ თვეშიც უნდა გამოვყოთ კორბოული, რომლის მიმდებარე ტერიტორია 12⁰-იანი იზოთერმით იფარგლება. ცენტრალური ნაწილი, კერძოდ, თერჯოლის, ზესტაფონის, ჭიათურისა და ხარაგაულის რაიონები იფარგლება 15⁰C-იანი იზოთერმით. რაჭის ქედის მაღალ ნაწილზე გადის 13⁰-იანი , ხოლო სამხრეთით და აღმოსავლეთით , მაღალმთიან ზონაში - 9⁰—იანი იზოთერმები.

საშუალო წლიური – ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა იმერეთის ტერიტორიაზე 6⁰-მდე 14⁰60-დან იცვლება. ისევე, როგორც მოცემულ ოთხ თვეში , საშუალო წლიური ტემპერატურაც ყველაზე მაღალი იმერეთის დასავლეთ და ცენტრალურ რაიონებში აღინიშნება. ეს ადგილები მოქცეულია 14⁰-იანი იზოთერმის ფარგლებში. ცალკე გამოიყოფა კორბოული და მისი მიმდებარე ტერიტორია, რომელიც ისაზღვრება ჩაკეტილი 10⁰-იანი იზოთერმით. ჩრდილოეთით, რაჭის ქედის მთისწინეთსა და მაღალ ზონებს კვეთს 12⁰-იანი იზოთერმა. ხოლო ამ შემთხვევაში ყველაზე დაბალი 6⁰-იანი იზოთერმა გადის მესხეთისა და ლიხის ქედის მაღალმთიან ზონაში.



იმერეთის რეგიონის ექსტრემალური ტემპერატურების რეჟიმის შესასწავლად კვლავ გამოვიყენეთ ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის დაკვირვებათა მონაცემები რეგიონის 15 მეტეოროლოგიური სადგურისათვის.

ჰაერის აბსოლუტური მაქსიმალური ტემპერატურა °C

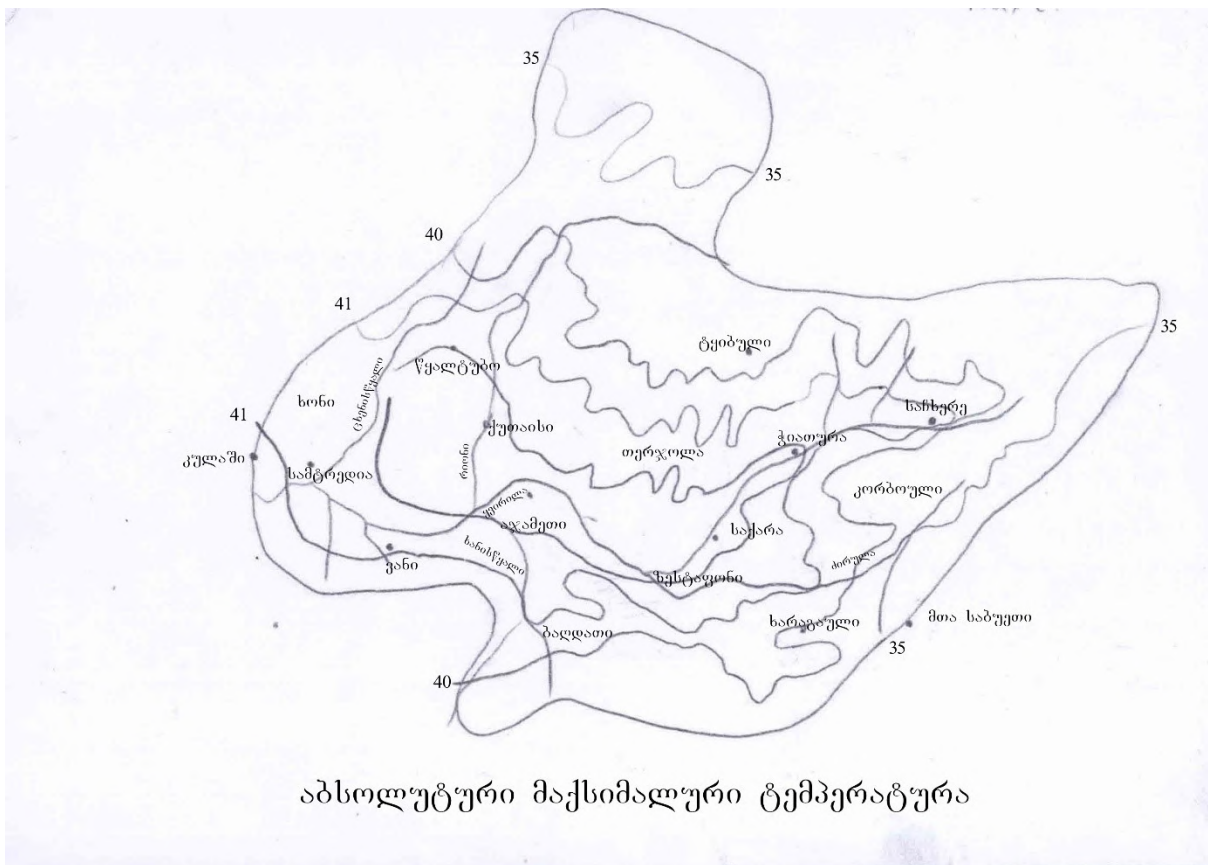
სადგური	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წლიური
საჩხერე	19	22	31	33	35	38	41	41	39	33	28	23	41
წყალტუბო	22	26	33	36	38	40	42	42	42	35	31	26	42
ტყიბული	19	23	29	32	35	37	38	38	38	33	27	24	38
ქუთაისი	22	26	32	34	37	40	40	40	40	35	29	25	40
ჭიათურა	19	23	31	34	37	40	41	42	41	34	28	23	42
კორბოული	16	20	26	39	32	34	37	36	32	29	25	23	37
კულაში	22	25	32	34	37	40	40	40	39	34	30	24	40
აჯამეთი	22	24	32	35	37	40	41	42	40	34	31	24	42
სამტრედია	20	25	33	35	37	40	41	40	38	34	30	23	41
საქარა	22	25	32	35	37	41	41	42	41	35	30	24	42
ვანი	21	24	32	35	36	40	40	42	40	33	29	24	42
მ.საბუეთი	21	24	32	36	36	41	41	41	39	33	29	22	41
ხარაგაული	12	14	20	25	25	29	32	31	31	26	22	16	32
თერჯოლა	21	24	31	34	36	39	40	40	38	34	28	23	40

ჰაერის აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა °C

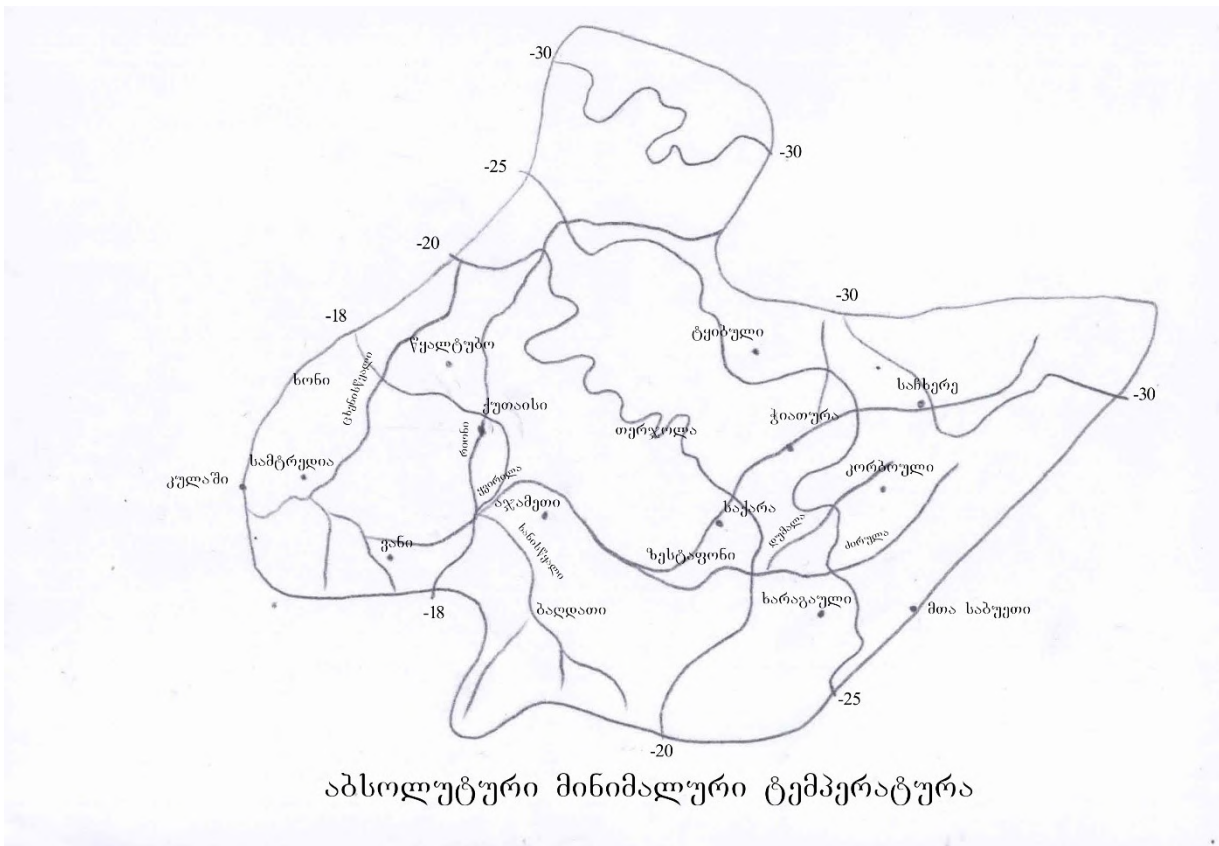
სადგური	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	წლიური
საჩხერე	-31	-24	-15	-17	-1	4	8	6	1	-7	-22	-26	-31
წყალტუბო	-19	-18	-12	-4	1	7	10	10	3	-4	-12	-17	-19
ტყიბული	-27	-23	-16	-9	-1	4	9	7	2	-6	-14	-24	-27
ქუთაისი	-17	-14	-10	-3	2	7	10	10	3	-3	-11	-14	-17
ჭიათურა	-20	-18	-10	-4	1	6	11	9	2	-4	-12	-17	-20
კორბოული	-28	-24	-21	-15	-2	3	5	4	0	-9	-17	-25	-28
კულაში	-18	-13	-11	-3	1	7	11	10	5	-3	-11	-14	-18
აჯამეთი	-20	-15	-11	-3	0	6	10	10	4	-4	-11	-17	-20
სამტრედია	-17	-15	-10	-2	2	8	11	11	5	-2	-10	-15	-17
საქარა	-20	-16	-12	-4	1	6	10	9	3	-4	12	-17	-20
ვანი	-18	-14	-11	-4	2	9	11	10	5	-3	-13	15	-18

მ.საბუეთი	-18	-14	-11	-3	2	8	11	10	4	-3	-13	-15	-18
ხარაგაული	-27	-24	-19	-10	-5	2	3	3	-4	-9	-19	-23	-27
თერჯოლა	-24	-17	-13	-4	0	6	9	8	3	-5	-12	-17	-24

ექსტრემალურ ტემპერატურათა მნიშვნელობანი რეგიონში საკმაოდ დიდ დიაპაზონში მერყეობს. რეგიონში აბსოლუტური მაქსიმალური ტემპერატურების წლიური სიდიდეები 32⁰C-დან 42⁰C-მდე იცვლება. ამ შემთხვევაშიც კარგად არის გამოხატული სიმაღლესა და ტემპერატურას შორის კავშირი. კერძოდ, თუ წყალტუბოში აბსოლუტური მაქსიმალური ტემპერატურა 42⁰-ია კორბოულში ეცემა 37⁰-მდე, ხოლო მთა საბუეთში 32⁰-მდე. იანვრის თვეში, რეგიონის მხოლოდ 5 სადგურში აღინიშნება 20⁰-ზე ნაკლები მაქსიმალური ტემპერატურები. ყველა დანარჩენი მეტეოსადგურის მონაცემებით, ეს მნიშვნელობანი აღემატება 20⁰C -ს. აქედან იანვარში ყველაზე დაბალი მაქსიმალური ტემპერატურები კვლავ მაღალ მეტეოსადგურებში კორბოულში (16⁰C) და მთა საბუეთშია (12⁰C). მეორე ადგილზე მოდის საჩხერისა და ტყიბულის ქვაბულები (19⁰C) , სადაც ცხადია ადგილი აქვს შედარებით ცივი ჰაერის დაგუბებას.



აბსოლუტური მაქსიმალური ტემპერატურა



მარტის თვიდან ოქტომბრის ჩათვლით, მთელს რეგიონში, მაქსიმალური ტემპერატურები აღემატება 30°C-ს. მხოლოდ, კვლავ კორბოულა და მთა საბუეთშია შესაბამისად -- 29°C და 26°C. ნოემბერ-დეკემბერში კი ყველგან 20-25 °C შორის მერყეობს, გარდა წყალტუბოს, კულაშის, სამტრედიის, აჯამეთის და საქარისა, სადაც ნოემბერში მაქსიმალური ტემპერატურები 30-31°C-ით განისაზღვრება (აქაც ცხადია გამოხატულია კავშირი სიმაღლესა და ტემპერატურას შორის.

რაც შეეხება საშუალო მინიმალურ ტემპერატურებს, მისი სიდიდეები იანვარში ყველგან უარყოფითია -0,5-7,5 °C; წლიური- დადებითი და 9-20°C-ის ფარგლებში იცვლება. ზამთარში, არც ისე იშვიათად, ადგილი აქვს ჰაერის ტემპერატურის ხანმოკლე, მაგრამ საგრძნობ დაცემას. აქ ტემპერატურის აბსოლუტური მინიმუმები --20-31°C-ია. ყველაზე დაბალი ტემპერატურა აღნიშნული იყო საჩხერის (-31 °C) და კორბოულის მიდამოებში (-28°C). ეს ადგილები ბევრად უფრო დაბლა მდებარეობენ, ვიდრე მეტეოროლოგიური სადგური მთა საბუეთი, სადაც აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურა დაფიქსირებულია -27°C. ეს სხვაობა ცხადია შეიძლება აიხსნას რელიეფის ფორმათა გავლენით. რეგიონში 7-8 თვის განმავლობაში აღინიშნება აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურათა უარყოფითი მნიშვნელობანი. მხოლოდ, მთა საბუეთში, 9 თვის განმავლობაში დაიკვირვება უარყოფითი მნიშვნელობების აბსოლუტური მინიმალური ტემპერატურები, რომელთა სიდიდეები მონაცვლეობს -5°C-დან -27°C-მდე და როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, მისი სიდიდეები რეგიონებში არ არის ყველაზე დაბალი, მიუხედავად ადგილის სამაღლისა, თუმცა თვეების რაოდენობით, იგი რეგიონში პირველ ადგილზეა. რეგიონის უმეტეს ნაწილზე, სავსეგეტაციო პერიოდი 10°C-ზე მეტი საშუალო თვიური ტემპერატურით, თითქმის 7-8 თვეს გრძელდება. კერძოდ, მარტის ბოლოდან ან აპრილის პირველი რიცხვებიდან, ნოემბრის მეორე-მესამე დეკადის

დასაწყისამდე. ასეთი დღეები ყველაზე მცირე 141 და 188 შესაბამისად, აღინიშნება მთა საბუეთისა და კორბოულში. მთასაბუეთში, რომელიც რეგიონის ყველაზე მაღალ მეტეოსადგურად ითვლება, ცხადია, ასეთი დღეების რაოდენობაც ყველაზე მცირეა. რეგიონის დაბალ ადგილებში 10⁰C-ზე ზევით ტემპერატურიან დღეთა რიცხვები 236-დან 245-ს შორის მერყეობს. აქტიურ ტემპერატურათა ჯამი იმერეთის რეგიონში 2000-4100 ⁰C-ის ტოლია. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ აქ სითბური რესურსები ტერიტორიის მნიშვნელოვან ნაწილში სავსებით საკმარისია მარცვლეულისათვის (ხორბალი, სიმინდი) , ვაზისათვის, ხეხილისათვის, ბოსტნეულისა და სხვა სასოფლო-სამეურნეო კულტურებისათვის. სასოფლო-სამეურნეო კულტურების განვითარებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობის ცოდნას. მცენარეები ჩვეულებრივ კარგად იტანენ ზამთრის მდგრად ყინვებს. გაზაფხულზე და შემოდგომაზე უცაბედი აცივება, რომელსაც მეტეოროლოგიაში წაყინვებს უწოდებენ, მცენარეულობას ხშირად აზიანებს. იგი განსაკუთრებით საზიანოა წვეთა დაწყებისა და ყვავილობის პერიოდში. წაყინვები საშუალოდ ზღვისპირა ზოლში იწყება დეკემბერში, ზოგან იანვარში და მოსალოდნელია მარტის შუა რიცხვებამდე (ამ ზოლში წაყინვები ყოველ წელიწადს არ იცის). ხმელეთის შიგნით, ფერდობებზე კი წაყინვები იწყება ოქტომბერ-ნოემბერში და წყდება აპრილში. იმერეთში ყველაზე ადრეული წაყინვები 1 ოქტომბრიდან 25 ოქტომბრამდეა მოსალოდნელი. მთა საბუეთში იყო შემთხვევა, როდესაც ყველაზე ადრეული წაყინვა 25 სექტემბერსაც კი დაფიქსირდა(25 / IX.1956). საშუალოდ კი მთელს რეგიონში ადრეული წაყინვები მოსალოდნელია პირველი ნოემბრიდან 17 დეკემბრამდე. რაც შეეხება უკანასკნელ წაყინვებს, მათი პროგნოზირება ასეთია: ყველაზე ადრეული დაფიქსირებულია იანვარ-მარტში, დიშში კი იანვარშიც აღინიშნა (28/I, 1955).

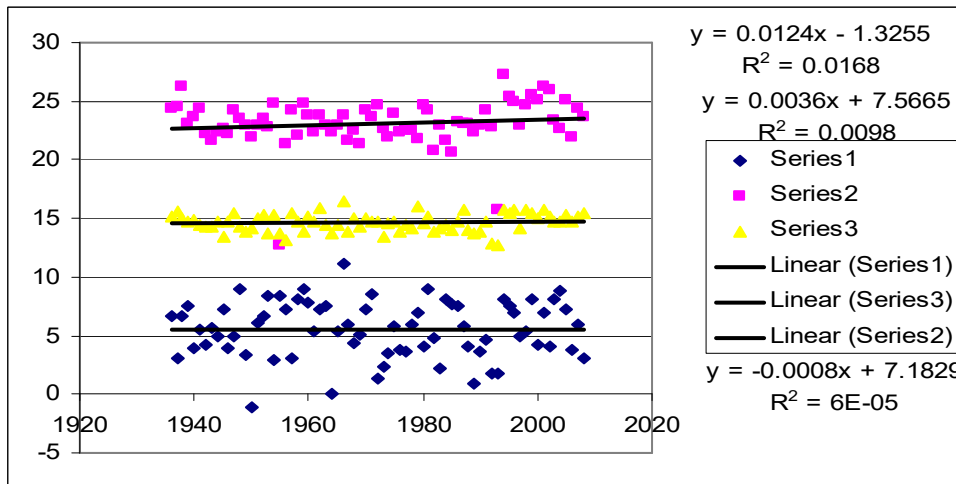
ყველაზე გვიანდელი წაყინვები მოსალოდნელია აპრილ-მაისის თვეებში. საშუალოდ, რეგიონში, ბოლო წაყინვები მოსალოდნელია მარტ-აპრილში, კერძოდ, 12 მარტიდან 25 აპრილის ჩათვლით. უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობა, რომელსაც, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს, საქართველოს ტერიტორიაზე საკმაოდ ხანგრძლივია. ხანგრძლივია იგი განსაკუთრებით დასავლეთ საქართველოს დაბალ ნაწილში, სადაც იგი 250-306 დღეს შორის იცვლება. რაც შეეხება იმერეთის რეგიონს, აქ უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობა ყველაზე მეტი 278 დღე ბაღდადასა და ვანშია დაფიქსირებული. ყველაზე ნაკლები—182 დღე კი აღინიშნება ყველაზე მაღალ ადგილას-მთა საბუეთში. საშუალოდ კი მთელს რეგიონში უყინვო პერიოდის ხანგრძლივობა 248 დღით განისაზღვრება. სიმაღლის მიხედვით ეს პერიოდი მცირდება და 3000 მ სიმაღლეზე 60-ს უახლოვდება. უფრო ზევით უყინვო პერიოდი საერთოდ არ იცის, მაგრამ ცალკეულ წლებში შეიძლება მას ადგილი ჰქონდეს, ისიც ძალიან მოკლე ხნით.

გლობალური დათბობის გავლენა იმერეთის რეგიონზე:

საქართველოს ტემპერატურული ველის ცვლილების სრული სივრცითი სურათი და აგრეთვე მრავალრიცხოვანი ტრენდები წარმოდგენილია კ.თავართქილაძის, ე.ელიზბარაშვილის, დ.მუმლაძის და ჯ.ვაჩნაძის მონოგრაფიაში(1999). კვლევის ძირითადი შედეგი იმაში მდგომარეობს, რომ თანამედროვე გლობალური დათბობის საერთო ფონზე აღმოსავლეთ საქართველოში მიმდინარეობს ტემპერატურის ზრდა, ხოლო დასავლეთში - უმთავრესად კლება. დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიის დიდ ნაწილზე წლიური ტემპერატურების მნიშვნელოვანი ცვლილება არ შეინიშნება, ცალკეულ რაიონებში კი შეიმჩნევა აცივება. აცივება

დამახასიათებელია კოლხეთის დაბლობის შიდა რაიონებისათვის, მესხეთის ქედის დასავლეთი ნაწილისა და მდინარე ენგურის ხეობის ზემო წელისათვის. დათბობის ცალკეული კერებია შავი ზღვის სანაპიროზე, აჭარაში ჩაქვის მახლობლად, იმერეთის მაღლობზე და რაჭის ქედზე. ტემპერატურის

გლობალური დათბობის იმერეთის რეგიონზე გავლენის შესაფასებლად გამოვიყენეთ რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის საგანტო პროექტის (GშNE, #1-5/67, 2010-2012) საარქივო მასალა და ავადგეთ ტემპერატურისა და ნალექების ცვლილების ტრენდები ქუთაისისათვის 1936-2008 წლების პერიოდისათვის (ნახ.1).



ნახ.1. ჰაერის ტემპერატურის მრავალწლიური ცვლილება: 1-იანვარი; 2-ივლისი; 3-საშუალო წლიური.

ნახაზებზე დატანილია აგრეთვე რეგრესიის განტოლებები და შესაბამისი კორელაციური ფარდობები. როგორც ვხედავთ კორელაციის კოეფიციენტები ძალზე დაბალია, რაც წერტილების მნიშვნელოვანი გაბნევით არის გამოწვეული. მიუხედავად ამისა რეგრესიის განტოლებები ობიექტურად ასახავენ კლიმატის ამ ელემენტების ცვლილების ხასიათს გლობალური დათბობის პირობებში. ნახ.1 –ზე წარმოდგენილი ტრენდებიდან და განტოლებებიდან გამომდინარე იმერეთის რეგიონი გლობალური დათბობას პრაქტიკულად არ დეაგირებს, რაც კარგ თანხვედრაშია ადრე ჩატარებულ გამოკვლევებთან(კ.თავართქილაძე, ე.ელიზბარაშვილი, მ.ელიზბარაშვილი და სხვ.).

ამრიგად, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ გლობალური დათბობის პირობებში მნიშვნელოვანი კლიმატური ცვლილებები იმერეთის რეგიონში არ აღინიშნება.

ლიტერატურა

1. 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.
2. 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).

3. Tavartkiladze K.A., Amiranashvili A.G. Expected Changes of the Air Temperature in Tbilisi City. Trans. of the Institute of Hydrometeorology, vol. 115, ISSN 1512-0902, Tb., 2008, pp. 57–65, (in Russian).
4. Amiranashvili A., Chikhladze V., Kartvelishvili L. Expected Change of Average Semi-Annual and Annual Values of Air Temperature and Precipitation in Tbilisi. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue B. Physics of Atmosphere, Ocean and Space Plasma, ISSN 1512-1127, vol. 13B, Tbilisi, 2009, pp. 50 – 54.
5. Amiranashvili A., Matcharashvili T., Chelidze T. Climate Change in Georgia: Statistical and Nonlinear Dynamics Predictions. Journal of Georgian Geophysical Soc., Iss. (A), Physics of Solid Earth, vol.15a, Tbilisi, 2011-2012, pp. 67-87.
6. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Khurodze T. Application of Some Statistic Methods for the Prognostication of Long-Term Air Temperature Changes (Tbilisi Case). Trans. of the International Scientific Conference Dedicated to the 90th Anniversary of Georgian Technical University “Basic Paradigms in Science and Technology Development for the 21th Century”, Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012, Part 2, ISBN 978-9941-20-098-4, Publishing House “Technical University”, 2012, pp. 331-338, (in Russian).
7. Amiranashvili A.G., Kartvelishvili L.G., Trofimenko L.T., Khurodze T.V. The Statistical Evaluation of the Expected Changes of Air Temperature in Tbilisi and St.-Petersburg up to 2056 Years. Trans. of the Institute of Hydrometeorology, Georgian Technical University, ISSN 1512-0902, 2013, vol. 119, pp.58-622, (in Russian).
8. Amiranashvili A., Kartvelishvili L., Trofimenko L., Khurodze T. Statistical Structure of Mean Annual Air Temperature in Tbilisi and St.-Petersburg in 1850-2012. Proc. of Int. Conf. “Modern Problems of Geography”, Dedicated to the 80th Anniversary Since the Fondation of Vakhushti Bagrationi Institute of Geography, Collected Papers New Series, N 5(84), ISSN 2233-3347, Tbilisi, 2013, pp. 160-163, (in Russian).
9. Amiranashvili A., Chargazia Kh., Trofimenko L. Dynamics of the thirty-year moving average values of the air temperature in Tbilisi and St.-Petersburg with 1851 to 2010 and their extrapolation to 2051-2080. International Conference “Applied Ecology: Problems, Innovations”, ICAE-2015. Proceedings, Tbilisi-Batumi, Georgia, ISBN 978-9941-0-7644-2, 7-10 May, 2015, Tbilisi, 2015, pp. 12-16, <http://icae-2015.tsu.ge/>
10. Varazanashvili O., Tsereteli N., Amiranashvili A., Tsereteli E., Elizbarashvili E., Dolidze J., Qaldani L., Saluqvadze M., Adamia Sh., Arevadze N., Gventcadze A. Vulnerability, Hazards and Multiple Risk Assessment for Georgia, Natural Hazards, Vol. 64, Number 3 (2012), 2021-2056, DOI: 10.1007/s11069-012-0374-3, <http://www.springerlink.com/content/9311p18582143662/fulltext.pdf>
11. Amiranashvili A. Changeability of Air Temperature and Atmospheric Precipitations in Tbilisi for 175 Years. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 86-90.
12. Jamrlishvili N., Tavidashvili Kh. Effect of Climate Change on the Freezing Level in Kakheti. Int. Sc. Conf. „Natural Disasters in Georgia: Monitoring, Prevention, Mitigation“, Proceedings, ISBN 978-9941-13-899-7, Tbilisi, Georgia, December 12-14, 2019, pp. 91-95.
13. კაპანაძე ნ., მკურნალოძე ი. ქ. თბილისის ჰაერის ტემპერატურის რეკონსტრუქცია კლიმატის გლობალური ცვლილების ფონზე. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ბუნებრივიკატასტროფებისაქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგებისშერბილება“, შრომები, ISBN 978-9941-13-899-7, თბილისი, საქართველო, 12–14 დეკემბერი, 2019 წ., გვ. 82-85.
14. თავართქილაძე კ. სუქნიძე ნ. ექსტრემალური ტემპერატურის რეჟიმი საქართველოში და გლობალური დათბობის გავლენა მასზე. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „ბუნებრივიკატასტროფებისაქართველოში: მონიტორინგი, პრევენცია, შედეგებისშერბილება“, შრომები, ISBN 978-9941-13-899-7, თბილისი, საქართველო, 12–14 დეკემბერი, 2019 წ., გვ. 260-266

15. ელიზბარაშვილი ე. საქართველოს კლიმატური რესურსები. თბილისი, 2007.
16. ელიზბარაშვილი მ. საქართველოს ტერიტორიის ტემპერატურის ველი. თბილისი, 1995.
17. საქართველოს ჰავა. ტომი 1, აჭარა. თბილისი, 2003.
18. საქართველოს ჰავა. ტომი 2, აფხაზეთი. თბილისი, 2006.
19. საქართველოს ჰავა. ტომი 3, სამეგრელო - ზემო სვანეთი. თბილისი, 2010.
20. ბერძენიშვილი ნ. იმერეთის რეგიონის კლიმატური რესურსები, 2012.

ტემპერატურული რეჟიმი გლობალური დათბობის ფონზე (იმერეთის რეგიონში)

ნ. ბერძენიშვილი

რეზიუმე

ჰაერის ტემპერატურა კლიმატის შემადგენელი ერთ-ერთი ძირითადი ელემენტია. ჰაერის საშუალო წლიური ტემპერატურა იმერეთის ტერიტორიაზე 6⁰-დან 14⁰-მდე იცვლება. ისევე, როგორც მოცემულ ოთხ თვეში საშუალო წლიური ტემპერატურაც ყველაზე მაღალი იმერეთის დასავლეთ და ცენტრალურ რაიონებში აღინიშნება. ეს ადგილები მოქცეულია 14⁰-იანი იზოთერმის ფარგლებში. ცალკე გამოიყოფა კორბოული და მისი მიმდებარე ტერიტორია, რომელიც ისაზღვრება ჩაკეტილი 10⁰-იანი იზოთერმით. ჩრდილოეთით, რაჭის ქედის მთისწინეთსა და მაღალ ზონებს კვეთს 12⁰-იანი იზოთერმა. ხოლო ამ შემთხვევაში ყველაზე დაბალი 6⁰-იანი იზოთერმა გადის მესხეთისა და ლიხის ქედის მაღალმთიან ზონაში. ჰაერის ექსტრემალურ მაღალ და დაბალ ტემპერატურებს დიდი მნიშვნელობა აქვს ადამიანის ჯანმრთელობის და მისი სამეურნეო საქმიანობისათვის. ამის გარდა, ასეთი ტემპერატურები უარყოფითად მოქმედებენ ეკონომიკის მთელი რიგი დარგების ნორმალურად ფუნქციონირებაზე - სოფლის მეურნეობა, ტრანსპორტი, საკურორტო მეურნეობა და სხვა. ამიტომ ექსტრემალური ტემპერატურების განაწილების გეოგრაფიული კანონზომიერებების შესწავლას აქვს, როგორც დიდი თეორიული, ისე პრაქტიკული მნიშვნელობა. იმერეთის რეგიონის ტემპერატურების რეჟიმის შესასწავლად გამოვიყენეთ ჰიდრომეტეოროლოგიური სამსახურის დაკვირვებათა მონაცემები რეგიონის 15 მეტეოროლოგიური სადგურისათვის. გლობალური დათბობის პირობებში მნიშვნელოვანი კლიმატური ცვლილებები იმერეთის რეგიონში არ აღინიშნება.

Температурный режим на фоне глобального потепления (Имеретинская область)

Н. Бердзенишвили

Реферат

Температура воздуха одна из главных элементов климата. Территория Грузии, её отдельные регионы имеют режим температурных исследований, даже свою историю. Для изучения температурного режима Имеретинского региона использовали данные гидрометеорологической службы (15 метеорологических станций). На основе этих данных были составлены изотермические

карты центральных месяцев сезона и средних годовых температур. Влияние климата Чёрного моря на регион Имеретии, в сравнении с низменностью Колхети, вообще, ослаблена, но на её термический режим имеет значительное влияние. Средняя годовая температура воздуха, в Имеретии колеблется от 6⁰С до 14⁰С и с высотой закономерно распределена.

На основе этих данных были составлены изотермические карты Для экстремальных температур: максимальная и минимальная. Значение экстремальных температур в регионе колеблется в значительно больших диапазонах. Абсолютно максимальные температуры годовые величины изменяются 32⁰С-42⁰С. Величина средних минимальных температур в январе везде отрицательная 0,5-7,5⁰С. В условиях глобального потепления значительных климатических изменений в регионе Имерети не наблюдается.

The Temperature Regime on the Background of Global Warming (Imereti Region)

N. Berdzenishvili

Abstract

Air temperature is one of the main component of the climate. Research of temperature regime in the territory of Georgia and its regions has its history. For investigation of temperature regime in Imereti region we used observation data of hydro meteorological service for 15 meteorological stations of the region. On the basis of the data we draw up isotherms' maps for the central months of the seasons and for middle annual temperature. The Black Sea influence on the climate of Imereti region is completely weakened comparing with Kolkheti valley, but still greatly influences its thermal regime. Middle annual air temperature in Imereti region varies between 6-14 degrees and according to altitude is regularly distributed. Temperature differences is quite high among the central months of seasons, they are - January, April, July and October. As for temperature amplitude its importance is the highest in Sachkhere - Imereti region, and composes 22,2 °C and in Tkibuli it is -19,0°C. Duration of the period without freeze is quite large at Georgia territory. It is long especially in the low part of west Georgia, where it is changed among 250-306 days. At 3000m high the period without freeze does not exists at all, but in private years it may take place, but for a very short period. Air temperature is one of the main components of the climate. Research of temperature regime in the territory of Georgia and its regions has its history. For investigation of temperature regime in Imereti region we used observation data of hydro meteorological service for 15 meteorological stations of the region. On the basis of the data we draw up isotherms' maps for extreme temperatures – maximal and minimal. Annual quantity of absolute maximal temperatures varies between 32°C-42°C. In January quantities of middle minimal temperatures is negative everywhere – 0, 5-7,5°C. In Korbouli it is -28°C, in Sachkhere - 31°C. In Imereti, absolute minimal temperatures are noted as negative for 7-8 months. Knowing the duration of non-freezing period has great importance for developing agriculture. The average annual temperature of the air on the territory of Imereti changes from 6° to 14 °. The highest average annual temperature is designated in west and central regions of Imereti. These territories are within the bounds of 14 ° isotherm. Korbouli and its nearby territory, which is measured with closed 10 ° isotherm, are separated. The lowest 6 ° isotherm passes in high mountain zone of Meskhети and Likhi range. Under the global warming, significant climatic changes in Imereti region are not observed.

РЕАКЦИЯ ВОДЫ НА ГРАВИТАЦИЮ В ГЛУБОКИХ СКВАЖИНАХ ГРУЗИИ. МЕТОДЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Г. Кобзев, З. Кереселидзе, Г. Меликадзе, Т. Джимшеладзе

Институт геофизики им. Михаила Нодиа, ТГУ

kobzev47@gmail.com, zurab.kereselidze@tsu.ge, melikadze@gmail.com, jimsheladzetamuna@gmail.com

1. Введение

Гравитационное воздействие осуществляется на любую точку Земли. Наиболее сильное воздействие на колебание воды (*water*) в глубоких скважинах Грузии оказывает вертикальная *Z*-компонента гравитации, *tidalZ*. Применяв разные способы, мы будем численно определять величину воздействия *tidalZ* на изменение уровня подземных вод для глубоких скважин, которые расположены в Марнели (41.436°N,44.755°E), Кобулету (41.802°N,41.772°E, берег Черного моря), Лагодехи (41.839N,46.282°E, Кавказские горы) [1].

Таблица 1. Характеристики скважин

Скважина	Глубина, м	Фильтр, м	Литология
Марнеули	3505	1235-1600	Трещиноватые мергели
Кобулету	2000	187-640	Трещиноватые андезиты-базальты
Лагодехи	800	255-367	Трещиноватые сланцы

Величину гравитации *tidalZ* можно заранее прогнозировать (вычислить), используя для этого, например, программу *solid* (автор Dennis Milbert <https://geodesyworld.github.io/SOFTS/solid.htm>). Потребуется также *tidalY* – это East (восток)-компонента гравитации [2,3].

Значения уровня воды *water* и *tidalZ* будут указаны в кПа. Влияние атмосферы на уровень воды предварительно удалено.

Поскольку *tidalZ* и *water* изменяются в противофазе, то для упрощения расчетов введем понятие *tidal*.

1. Постановка задачи

Наша цель: на примере разных скважин вычислить уравнение связи между *water* и *tidalZ*, применяя разные способы вычислений. Мы покажем, что разные методы позволяют на порядок сократить время для нужных замеров, пригодных для расчетов, и получить при этом сопоставимые результаты.

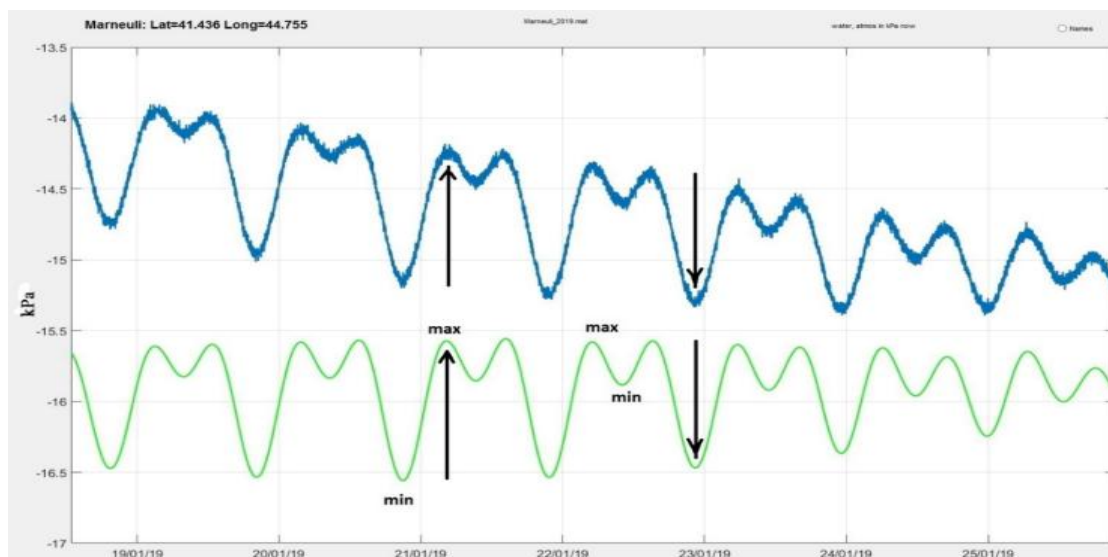


Рис. 1. Марнеули, 2019. *Water* (blue, верхняя линия) и *tidal* (green, нижняя линия).
Здесь $tidal = (-0.21) * tidalZ$

2. Определение.

“*tidal*”= “- *tidalZ*”.

После замены *tidalZ* на *tidal* значения величин *tidal* и *water* теперь синхронно увеличиваются или уменьшаются. На рис.1 видно, как *tidal* увеличивает свои значения (min -> max), а потом уменьшается (max-> min), вызывая в *water* соответствующие изменения.

Понятие *Jump*

Определение. Для переменной *X* число $Jump = abs(max - min)$ - это величина перехода от одного экстремума к другому экстремуму, находящемуся правее на оси времени: (min -> max) или (max -> min).

Если *X* есть *tidal* или *water*, то, используя понятие *Jump*, получим *tidalJump* и *waterJump* в каждой точке экстремума, $i=1,2,3...$ Количество точек *tidalJump* и *waterJump* одинаковое. Заметим также, что в течение 1 суток может быть получено до 4 точек *tidalJump* и *waterJump*, которые могут быть использованы для определения влияния *tidal* на *water*.

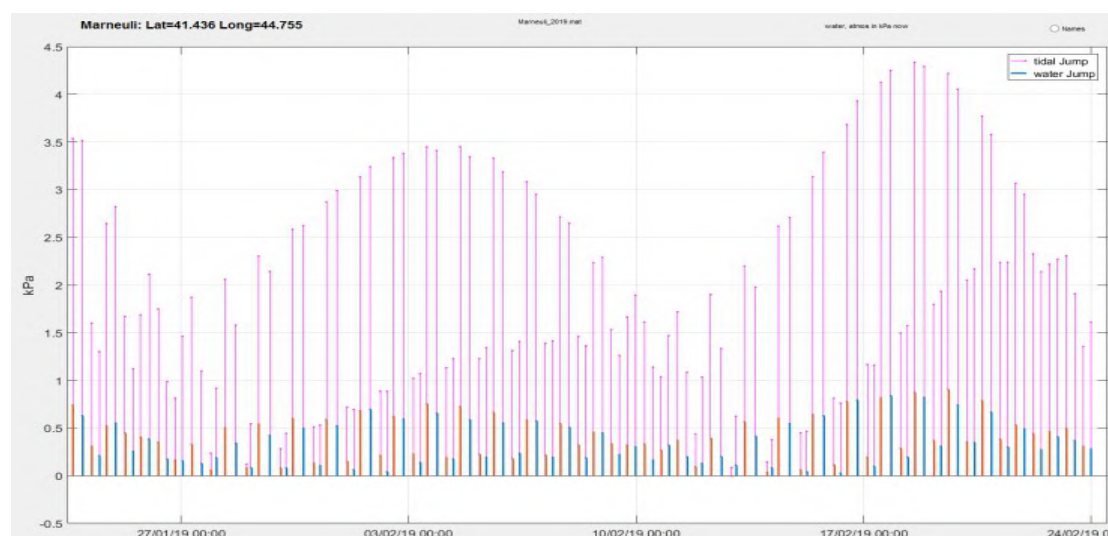


Рис. 2. Розовые линии (magenta) – это величина $tidalJump = abs(max - min)$ для гравитации *tidalZ*. Для воды *waterJump*: а) тип (min->max) изображен синим отрезком; б) тип (max->min) изображен коричневым отрезком. Марнеули, январь-февраль 2019.

Применим следующие способы вычисления величины воздействия *tidal* на *water*:

- 1) Метод **Jump**, когда сравниваются *tidalJump* и *waterJump*.
- 2) Метод **Speed**, когда сравниваются “скорость” (определение см. ниже) гравитации *tidalSpeed* и “скорость” воды *waterSpeed* непосредственно.
- 3) Комбинация методов *Jump* и *Speed*, когда
 - а) вычисляются *tidalSpeed* и *waterSpeed*;
 - б) применяется технология *Jump* к $X = tidalSpeed$ и *waterSpeed*.

3. Оценка воздействия *tidal* на *water*.

Способ 1.

Метод *Jump*

Имеем *tidalJump*(*i*) и *waterJump*(*i*), *i*=1,2,3,... На оси X указываются значения *tidalJump*(*i*), а на оси Y - соответствующие значения *waterJump*(*i*). Далее определяется тренд - аппроксимирующая прямая линия, ее наклон *slope* *A* и offset *B*.

На примере Марнеули для периода январь-февраль 2019 года получена совокупность точек (рис.3), расположенных вдоль тренд-линии (прямой линии) $waterJump = A * tidalJump + B$, где *slope* *A* = 0.20963, offset *B* = -0.0404. Следовательно, при таком способе подсчета величина воздействия *tidal* на *water* для Марнеули составляет 20.9% .

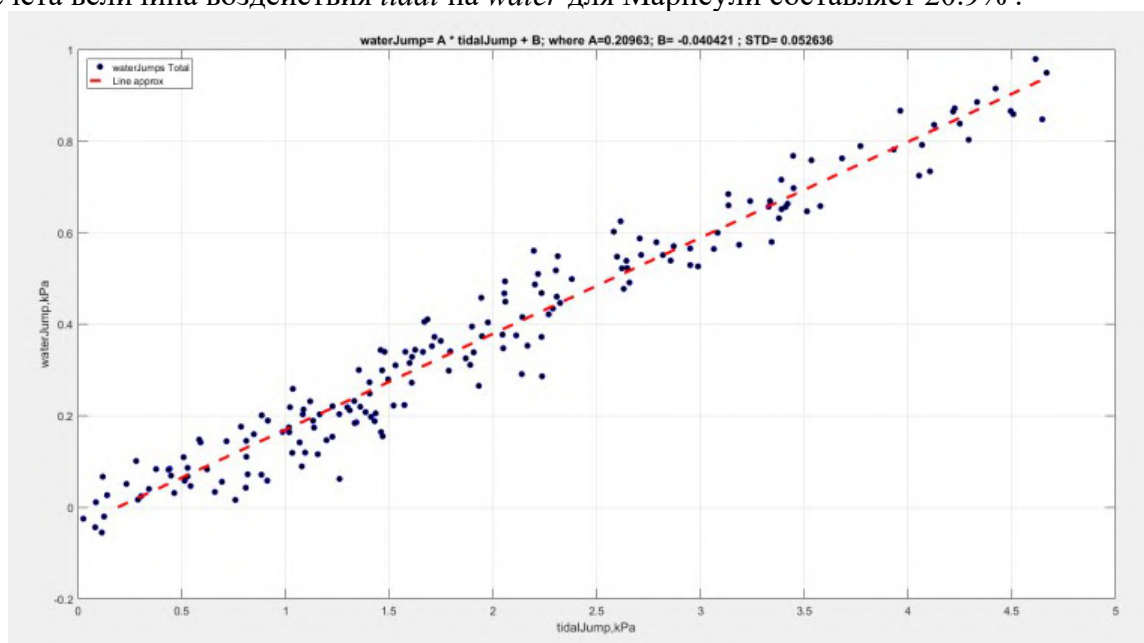


Рис. 3. Марнеули, *Jump*, *A*=0.20963, *B*=-0.040421, стандартное отклонение *STD*=0.052636

Понятие *Speed*

Определение 1.

Если $X(t)$ – функция, зависящая от времени t , то **скорость** $V(t) = \frac{dX}{dt}$.

Для дискретной функции *X* понятие *скорость* можно заменить на определение #2.

Пусть для параметра *X* замеры x_i проводятся в моменты времени t_i , $i = 1, 2, 3, \dots$

Определение 2. Если параметр *X* измеряется 1 раз в 1 минуту, *k*- натуральное число и приращение времени $n = 2k$, то **скорость** $v_i = (x_{i+k} - x_{i-k})/n$, где $i > k$. Время $time(v_i)$ для v_i укажем, взяв время точки x_i , т.е. t_i .

Очевидно, что при таком определении скорости вычислить v_i возможно для $i > k$. Отметим также, что выбирая разные *n*, мы получаем сравнительно разные значения скорости.

Если параметр X при определении $speed$ использует $tidal$ или $water$, то мы получаем $tidalSpeed$ и $waterSpeed$ соответственно.

Свойства $speed V$:

- Если X измерена в кПа, то $speed V$ измерена в кПа/minute.
- В течение 1 дня может быть получено (“накоплено”) 1440 точек скорости v_i (напомним, 1 день=1440 минут).
- Если в переменной X присутствует медленно изменяющийся тренд (сезонная составляющая), то в порожденной переменной $speed V$ тренд отсутствует, равен 0.

Примечание. Удаление тренда дает дополнительные возможности при сравнении поведения скважин: вместо сравнения значений $water$ разных скважин, имеющих разнонаправленные сезонные тренды, можно сравнивать значения их $waterSpeed$, тренды которых равны 0.

Скорость $speed$ и линейные коэффициенты

Предположим, что мы интересуемся коэффициентами линейного уравнения

$$water = a_1 * tidal + a_2 * atmos + \dots$$

Если дифференцировать это уравнение по времени t , то получим уравнение

$$waterSpeed = a_1 * tidalSpeed + a_2 * atmosSpeed + \dots$$

Таким образом, одни и те же коэффициенты a_1, a_2, \dots используются как в первом, так и во втором типе уравнений. Это замечание будет проверяться ниже.

Оценка воздействия $tidal$ на $water$.

Способ 2.

Метод $Speed$

При фиксированном n на оси X нанесем $tidalSpeed(i)$, а на оси Y – соответствующее значение $waterSpeed(i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, N - n$ (рис. 4, для $n = 300$). Через накопленные точки проводим прямую тренд-линию.

Как пример (рис. 4), для Марнеули используем данные воды, $water$, за 70 дней одновременно, получив $70 * 1440$ точек для $waterSpeed$ и $tidalSpeed$. Полученные точки оказываются вблизи тренд-линии $waterSpeed = A * tidalSpeed + B$ где $A = 0.196$ и $B = -8 * 10^{-5}$. Таким образом, для Марнеули влияние $tidalSpeed$ на $waterSpeed$ составляет 19.6%.

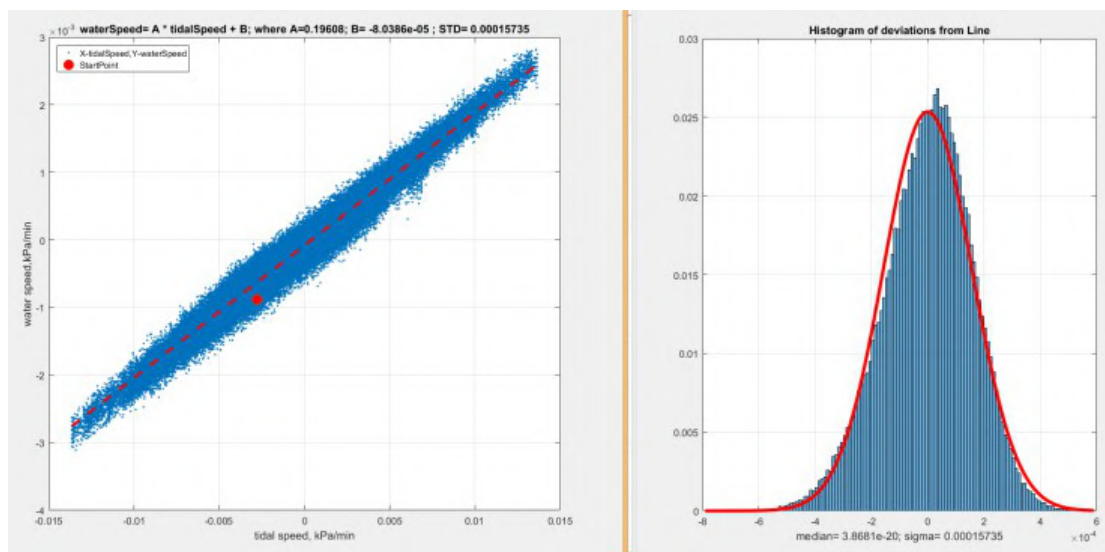


Рис. 4. Воздействие $tidalSpeed$ на $waterSpeed$ в Марнеули, 2019, $n = 300$

Для Марнеули, Кобулети и Лагодехи составлена таблица 2, в которой указаны коэффициенты уравнения вида $Y=A*X+B$, где Y – *water*, X – *tidal* (или *waterSpeed* и *tidalSpeed*), STD – стандартное отклонение. При подсчете использовались данные замеров воды за 70 дней, начиная с января 2019.

Таблица 2. $Y=A*X+B$, $Y=water$ (или *waterSpeed*); $X=tidal$ (или *tidalSpeed*), янв-фев 2019

Stations Name, method	A	B	STD
Марнеули, 2019, jump	0.20963	-4.0421e-2	5.2636e-2
speed, n=300	0.19608	-8.0386e-5	1.5735e-4
speed, n=60	0.19272	-8.7684e-5	5.6831e-4
speed, n=30	0.19309	-8.2836e-5	1.0921e-3
Кобулети, 2019, jump	0.11532	1.3129e-2	8.4384e-2
speed, n=300	0.12191	1.8617e-6	3.4514e-3
speed, n=60	0.12276	2.2117e-6	5.0723e-4
Лагодехи, 2019, jump	0.11374	-2.8775e-2	5.2042e-2
speed, n=300	0.10231	-6.4253e-5	1.9569e-4
speed, n=60	0.10141	-6.4379e-5	3.0175e-4

Из таблицы 2 видно, что:

- значения коэффициента A изменяются незначительно, если выбирать разные n ;
 - коэффициенты A , подсчитанные методом *jump* и *speed* отличаются на $< 10\%$.
- Следовательно, коэффициенты A , вычисленные разными способами, примерно равны и взаимозаменяемы.

4. Оценка взаимодействия *tidalY* и *tidalSpeedZ*

Временно забудем о скорости воды и изучим соотношение между вертикальной составляющей гравитации, точнее ее скорости *tidalSpeedZ* и горизонтальной, East, компонентой *tidalY*.

Таблица 3. Взаимодействие $tidalSpeedZ = A * tidalY + B$, Marneuli, 2019

<i>tidalSpeedZ</i> , n	A	B	STD
n=10 минут	0.022088	6.3158e-8	3.0149e-5
n=30	0.022044	5.8778e-9	2.9708e-8
n=60	0.021896	5.3759e-9	2.82e-5
n=120	0.02131	5.3969e-9	2.28e-5
n=180	0.020357	7.66e-9	1.682e-5
n=240	0.019071	1.31e-8	1.8723e-5
n=300	0.0175	2.2476e-8	3.192e-5
n=360	0.015699	3.578e-8	5.02e-5
n=420	0.013731	5.2482e-8	7.07e-5

Из таблицы 3 видно, что коэффициент $B \approx 0$ и, следовательно, верна более простая формула $tidalSpeedZ = A * tidalY$.

Укажем, что в таблицах 3 и 4 при подсчете скорости время измерялось в минутах, а значения *tidalY* и *tidalZ* взяты оригинальные, не измененные, из программы Dennis Milbert.

Зададимся вопросом: как будет изменяться коэффициент A взаимодействия *tidalSpeedZ* и *tidalY*, если бы изменилось географическое положение станции.

Оказалось, что:

- при перемещении от экватора к полюсу коэффициент A уменьшается (рис. 5);
- при перемещении с востока на запад коэффициент A остается постоянным.

В таблице 4 указаны изменения коэффициента А для станций, расположенных на расстоянии в 400 км от West (Kobuleti) до East (Lagodexi), Грузия, Кавказ.

Таблица 4. Изменение коэффициента А, где $tidalSpeedZ = A * tidalY + B$ в зависимости от координаты станции

Stations, tidal 2019	n=30 minutes	n=60 minutes	n=300 minutes
Кобулети, 41.802N,41.772E	0.021906	0.021760	0.017409
Они, 42.573N,43.437E	0.021613	0.021470	0.017213
Аджамети, 42.187N,42.791E	0.021760	0.021615	0.017311
Гори, 41.862N,43.953E	0.021884	0.021737	0.017393
Ахалкалаки, 41.403N,43.500E	0.022057	0.021908	0.017508
Накалакеви, 41.424N,43.317E	0.022049	0.021900	0.017503
Марнеули, 41.436N,44.755E	0.022044	0.021896	0.017500
Лагодехи, 41.839N,46.282E	0.021892	0.021746	0.017399
Экватор, lat=0.00N, long=44.755E	0.030394	0.030149	0.022894
Гринвич, lat=41.436N, long=0.00E	0.022044	0.021896	0.017500
ПолюсN, lat=89.9N, long=44.755E	4.699e-5	4.69e-5	4.39e-5

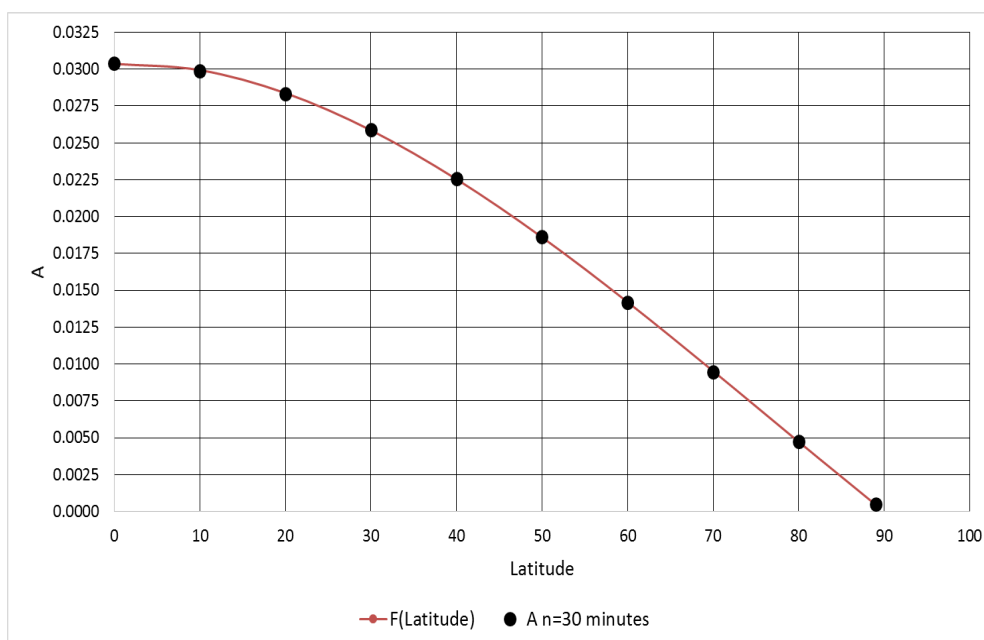


Рис. 5. Изменения коэффициента А в зависимости от Latitude (градусы)

Формула связи. Если мы хотим для точки Земли с координатами $P=(Lat, Long)$ найти коэффициент А уравнения

$$tidalSpeedZ = A * tidalY,$$

то надо подставить Lat вместо X в уравнение:

$$A = F(X) = a * X^3 + b * X^2 + c * X + d,$$

где $a = 2.837e-8$; $b = -6.525e-6$; $c = 2.001e-5$; $d = 0.03036$. Для построения графика (рис. 5) были вычислены значения А для $Lat=0,10,20,30,\dots,70,80,89^\circ$ при $Long=0^\circ$. Далее определялась аппроксимирующая функция $F(X)$. Величина Long в формуле не нужна.

Вернемся к изучению скорости воды и их коэффициентам.

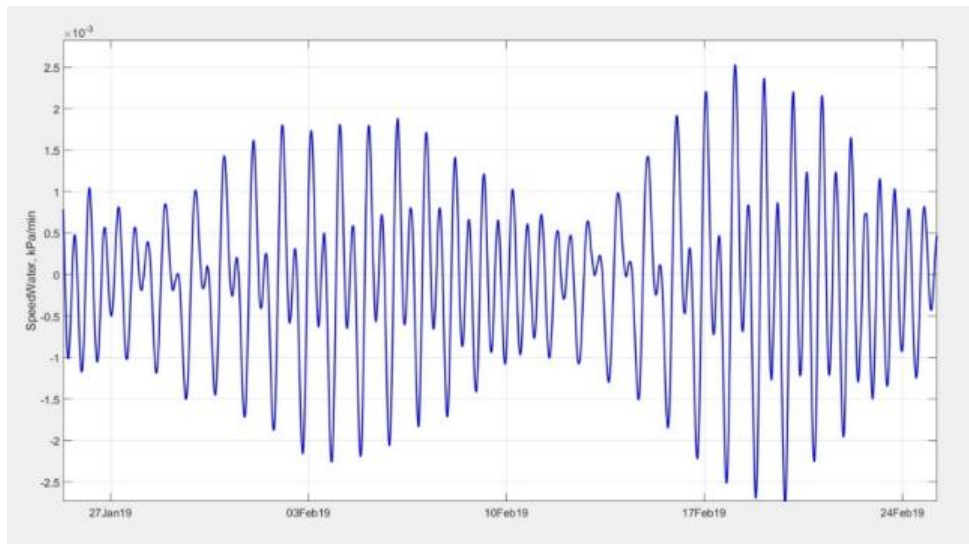


Рис. 6. *WaterSpeed* в Марнеули 2019, сглажено. Вычисления используют $n=300$ минут. *WaterSpeed* коррелирует с *tidalSpeedZ*, но $tidalSpeedZ=0.0175*tidalY$ (см табл.3), поэтому *waterSpeed* коррелирует с *tidalY*, т.е. *East*-компонентой гравитации.

Отметим, что если для Марнеули *water* имеет сезонную составляющую, медленно изменяющуюся со временем, то на графике *waterSpeed* сезонная составляющая отсутствует и значения совершают колебательные движения около 0. (рис. 6) .

Оценка воздействия *tidal* на *water*.

Способ 3. Комбинация методов *Jump* и *Speed*

Это сочетание способа #1 и способа #2:

- а) Определяются *tidalSpeed* и *waterSpeed* (способ #2).
- б) Далее применяется технология *Jump* (способ #1) к полученным *tidalSpeed* и *waterSpeed*, учитывая, что они имеют ярко выраженную периодичность (рис. 6).

Можно показать, что влияния *tidalSpeed* on *waterSpeed* методом *Jump* для Марнеули опять составляет примерно 20%.

5. Накопление данных. Примеры.

Изменения коэффициента *A* скоростей в течение 70 дней.

Ранее было указано, что можно рассмотреть измеренные значения за 70 дней как единое множество: использовать все $70*1440$ точек для *waterSpeed*, потом для них найти тренд-линию. При этом коэффициент наклона *A* (slope) линии составил 19.6%.

Покажем на примере, что величина *A* изменяется со временем, но при этом остается в определенных границах.

Выполним следующие процедуры.

- 1) Зафиксируем число n .
- 2) Имеем данные *water*, как пример, за 70 дней, измеренные 1 раз в минуту.
- 3) Для числа n вычислим *waterSpeed* и *tidalSpeed*.
- 4) Для каждого из 70 дней: выберем все значения *waterSpeed* и *tidalSpeed*, время которых попадает в этот день (“накапливаем” данные за 1 день, но, как вариант, и дольше, если считать от первой минуты рассматриваемого дня). Получим некоторое множество точек *tidalSpeed* и *tidalSpeed*, так называемые “накопленные” значения.
- 5) “Накопленные” значения *tidalSpeed* и *tidalSpeed*, приписанные к 1 дню, наносим на оси *X* и *Y*. Далее проводим тренд-линию и находим *A*-slope для выбранного дня.

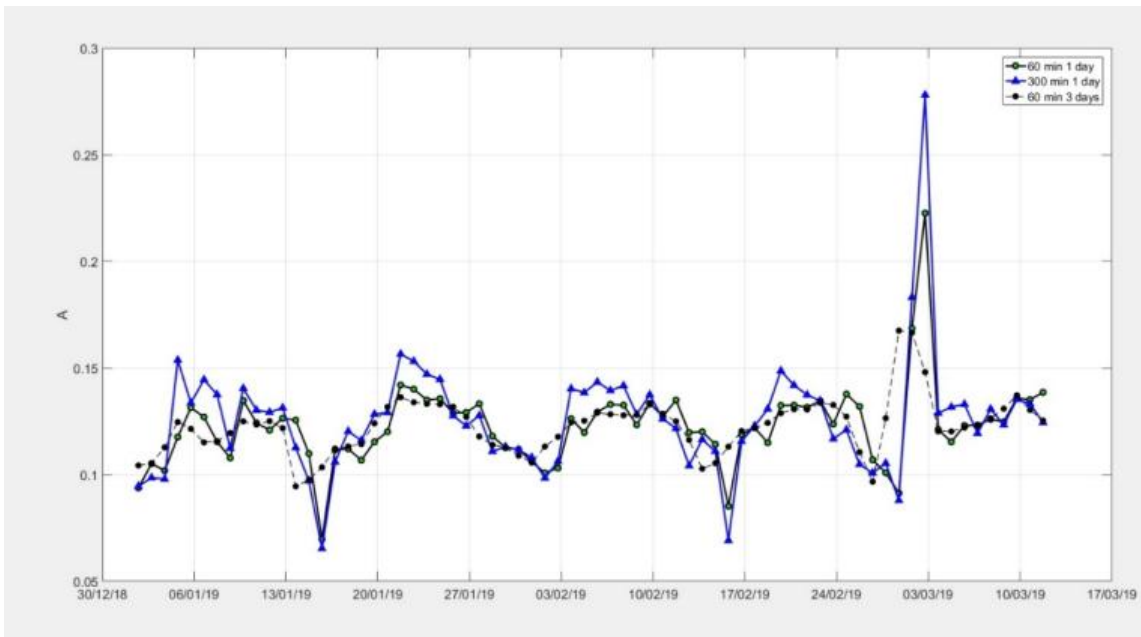


Рис. 7. Изменение коэффициента A . Накопление осуществляется в течение 1 или 3 дня, подсчет скорости при $n=60$ мин или $n=300$ мин. Кобулету, январь-март 2019

- На рис. 7 показаны изменения значения коэффициента A в течение 70 дней, если:
- 1) Фиксируется количество дней накопления (1 день), но изменяется число n ($n=60$ мин, $n=300$ мин).
 - 2) Фиксируется $n=60$ мин, но изменяется количество дней накопления (1 день, 3 дня)

Как изменяется коэффициент A , если, применив *накопления*, его вычислять ежедневно.
 Пример: Марнеули, Кобулету, Лагодехи.

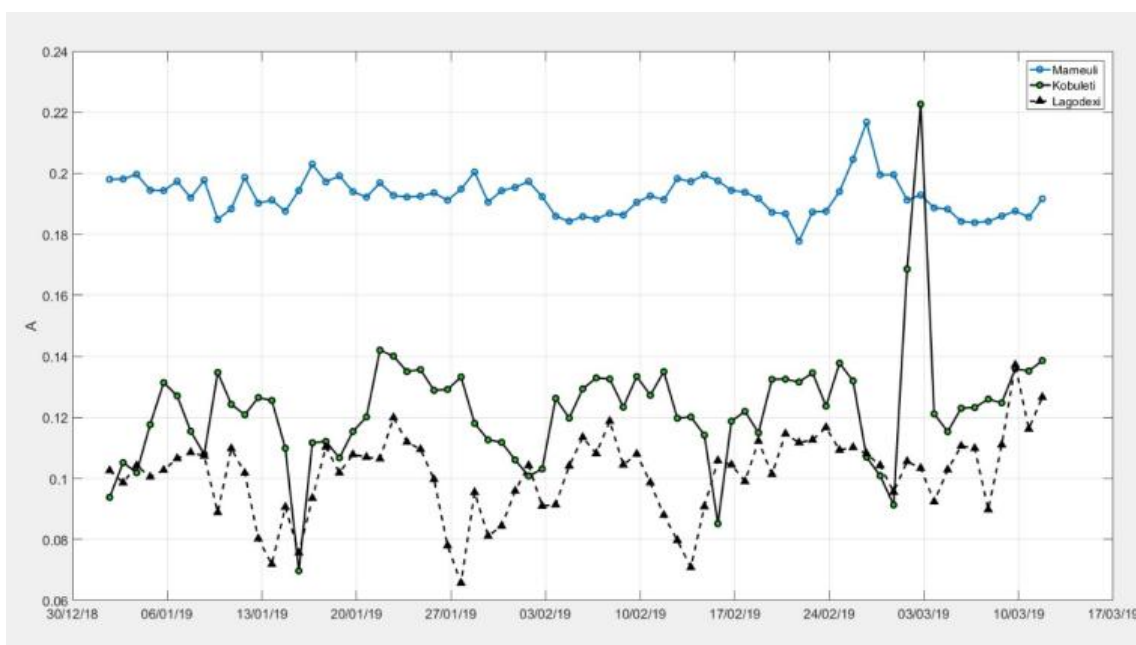


Рис. 8. Изменение коэффициента A между *tidalSpeed* и *waterSpeed*, январь-март 2019. Марнеули (верх), Кобулету (середина), Лагодехи (низ). *Speed*, $n=60$ мин, накопление 1 день

Запаздывание реакции воды на *tidal*

Изменяясь, уровень воды *water* повторяет колебания *tidal* с определенным запаздыванием. Для Кобулети это запаздывание может составлять до 65 минут. Попробуем искусственно уменьшить время запаздывания воды по отношению к *tidal* и посмотрим, как при этом будет изменяться коэффициент *A* между *tidalSpeed* и *waterSpeed*.

Ниже коэффициенты *A* рассчитывались для уровня воды Кобулети (январь-март 2019) для случая $n=60$, накопление 1 день, используются данные за 70 дней. Надпись “Kobuleti, 60 min, 1 day” означает, что время для воды не корректировалось, $n=60$, накопление 1 день; move 20 min - от времени воды вычиталось 20 мин.; move 40 (60) min - вычиталось 40 мин. и 60 мин. соответственно.



Рис. 9. Изменение коэффициента *A* между *tidalSpeed* и *waterSpeed*, если время (дата) воды искусственно уменьшалось на 20, 40, 60 минут. Кобулету, 70 дней наблюдений. На оси X – дни, на оси Y – коэффициент *A*.

Заключение

Изучаются методы нахождения коэффициентов линейной связи между скоростью изменения уровня воды *waterSpeed* и гравитации *tidalSpeedZ* в глубоких скважинах Грузии.

Отмечена линейная связь между скоростью *tidalSpeedZ* и *tidalY*. Делается вывод: существует линейная связь между вертикальной скоростью воды *waterSpeed* и горизонтальной компонентой гравитации *tidalY* (East-направление), т.е. горизонтальным направлением “движения” Луны, Солнца.

Приводится формула, позволяющая для уравнения $tidalSpeedZ=A*tidalY$ найти коэффициент *A* для любой точки Земли, если известна только широта точки (Latitude).

Приводится численная оценка влияния *tidalZ* на *water* в глубоких скважинах Грузии и предлагаются разные методы их вычислений.

Метод *Jump* является прямым методом при определении воздействия *tidalZ* на воду, *water*, и позволяет получить для оценок до 4 точек за 1 день наблюдения. Для более точных расчетов этот способ требует использовать, “накапливать”, значения нескольких дней.

Метод *Speed* является непрямым методом оценок и позволяет получить за 1 день до 1440 точек наблюдения. Способ можно использовать для сравнений *waterSpeed* и *tidalSpeed* в поисках различий между ними и нахождения аномального поведения воды.

Методы *Jump* и *Speed* позволяют найти значения коэффициента *A*, определяющего величину воздействия *tidal* на *water*. Эти значения отличаются на 5-10%.

Значения коэффициента A незначительно изменяются во времени, и, следовательно, радикальное его изменение можно рассматривать как аномалию. Эту аномалию можно выявить, затратив минимальное время для замеров уровня воды.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке национального научного фонда Грузии им. Шота Руставели – Грант– № FR17_633.

Литერატურა

2. Kartvelishvili K., Melikadze G., Kobzev G. Influence of atmosphere pressure and tidal variation of gravity of the hydrosphere. Trans. of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, Vol. 65, 2010, pp. 169 -173.
3. Melikadze G., Jimsheladze T., Kobzev G., Tchankvetadze A. Variation of geophysical parameters during preparation of seismic events. Journal of the Georgian Geophysical Society, Issue A. Physics of Solid Earth, v.20A, 2017, pp.10-21.
4. Jimsheladze T., Melikadze G., Kobzev G., Benderev A., Botev E. Linear methods of studying the water level variation related with seismicity. Journal of Georgian Geophysical Society, Issue (A), Physics of Solid Earth, v.17a, 2014, pp. 65-75.

საქართველოს ღრმა ჭაბურღილებში წყლის რეაქცია გრავიტაციაზე. გამოთვლის მეთოდები

გ. კობზევი, ზ. კერესელიძე, გ. მელიქაძე, თ. ჯიმშელაძე

რეზიუმე

სტატიაში მოყვანილია რაოდენობრივი შეფასება გრავიტაციის ვერტიკალური $tidalZ$ მდგენელის გავლენისა წყლის დონეზე საქართველოს ტერიტორიაზე განლაგებული ღრმა ჭაბურღილებისათვის და განიხილება კორელაციის კოეფიციენტის მიღების სხვადასხვა ხერხები.

შეისწავლება გრავიტაციასა და წყლის დონის ცვლილების სიჩქარეს $waterSpeed$ შორის წრფივი დამოკიდებულების კოეფიციენტების პოვნის მეთოდები. აღნიშნულია წრფივი დამოკიდებულება $tidalSpeedZ$ და $tidalY$ კოეფიციენტებს შორის. შესაბამისად არსებობს წრფივი დამოკიდებულება წყლის დონის სიჩქარის ვერტიკალურ კომპონენტსა $waterSpeed$ და გრავიტაციის ჰორიზონტალურ კომპონენტს შორის $tidalY$ (მიმართულება - აღმოსავლეთი), ე.ი. მთვარისა და მზის ჰორიზონტალურ „მოძრაობას“ შორის. მოყვანილია ფორმულა, რომელიც საშუალებას იძლევა განტოლებისთვის $tidalSpeedZ=A*tidalY$ ვიპოვოთ A კოეფიციენტის მნიშვნელობა დედამიწის ნებისმიერი წერტილისათვის, თუ ცნობილია ამ წერტილის მხოლოდ განედი (Latitude).

მეთოდები $Jump$ და $Speed$ საშუალებას იძლევა სხვადასხვა გზით ვიპოვოთ A კოეფიციენტის მნიშვნელობები, რომლის საშუალებითაც განისაზღვრება მიმოქცევის $tidal$ გავლენა წყლის დონეზე $water$. ეს მნიშვნელობები ერთმანეთისაგან განსხვავდება 5-10%-ით.

A კოეფიციენტის მნიშვნელობა უმნიშვნელოდ იცვლება დროში და შესაბამისად მისი რადიკალური ცვლილება შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ანომალია. ეს ანომალიები შეიძლება გამოვლენილი იქნას წყლის დონის მინიმალურ დროში გაზომვით.

Реакция воды на гравитацию в глубоких скважинах Грузии. Методы вычислений

Г. Кобзев, З. Кереселидзе, Г. Меликадзе, Т. Джимшеладзе

Реферат

Приводится численная оценка влияния вертикальной составляющей гравитации $tidalZ$ на уровень воды $water$ в глубоких скважинах Грузии и рассматриваются разные способы получения коэффициентов связи.

Изучаются методы нахождения коэффициентов линейной связи между скоростью изменения уровня воды $waterSpeed$ и гравитации. Отмечена линейная связь между скоростью $tidalSpeedZ$ и $tidalY$. Следовательно, существует линейная связь между вертикальной скоростью воды $waterSpeed$ и горизонтальной компонентой гравитации $tidalY$ (East-направление), т.е. горизонтальным направлением “движения” Луны, Солнца. Приводится формула, позволяющая для уравнения $tidalSpeedZ=A*tidalY$ найти коэффициент A для любой точки Земли, если известна только широта точки (Latitude).

Методы *Jump* и *Speed* позволяют разными способами найти значения коэффициента A , определяющего величину воздействия $tidal$ на $water$. Эти значения отличаются на 5-10%.

Значения коэффициента A незначительно изменяются во времени и, следовательно, радикальное его изменение можно рассматривать как аномалию. Эту аномалию можно выявить, затратив минимальное время при замерах уровня воды.

The Water Response to Gravity in Deep Wells in Georgia. The Methods of Calculation

G. Kobzev, Z. Kereselidze, G. Melikadze, T. Jimsheladze

Abstract

The work gives a numerical estimate of the effect of the vertical gravity component $tidalZ$ on the water level in deep wells in Georgia and additionally, considers various methods for obtaining coupling coefficients.

We studied the methods for obtaining the coefficients of the linear relationship between the rate of change of the water level and gravity. We determined the linear relationship between $tidalSpeedZ$ and $tidalY$. Therefore, there is a linear relationship between the vertical speed of water and the horizontal component of gravity $tidalY$ (East-direction), i.e., the horizontal direction of the “movements” of the moon and the sun. The paper gives a formula, which enables to obtain coefficient A for equation $tidalSpeedZ = A * tidalY$ for any point on the Earth in case only the latitude of the point is known.

The *Jump* and *Speed* methods allow us to find the values of coefficient A , which determines the values of the tidal effect on the water in different ways. These values differ from one another by 5-10%.

The values of *coefficient A* vary slightly over time. Therefore, its radical change can be considered as an anomaly. This anomaly can be detected in a short time when measuring the water level.

Ю Б И Л Е И

ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРОВ ИНСТИТУТА ГЕОФИЗИКИ С ДНЕМ РОЖДЕНИЯ

Известного геолога, профессора **Ш.А. АДАМИЯ** - с 90-летием со дня рождения; академического доктора **Р.А. ГОГУА** - с 80-летием со дня рождения; академического доктора **М.М. НИКОЛАЙШВИЛИ** - с 70-летием со дня рождения. С глубоким уважением и любовью желаем им всех благ: крепкого здоровья, благополучия в семье, долгих лет жизни, больших профессиональных успехов, множества новых достижений как в творческой, так и общественной деятельности.

ШОТА АЛЕКСАНДРОВИЧ АДАМИЯ - известный грузинский геолог, доктор геол.-мин. наук, профессор, лауреат премии им. акад. Ал. Джанелидзе, кавалер ордена Чести Грузии, главный научный сотрудник сектора сейсмической опасности и риска природных катастроф Института геофизики им. М. З. Нодиа родился 25 января 1929 года в Тбилиси. В 1948 году окончил 35 среднюю школу, а в 1953 году - с отличием географо-геологический факультет Тбилисского государственного университета. С 1955 г. по 1995 г. Ш.А. Адамия сотрудник Геологического института им. Ал. Джанелидзе АН Грузии. В 1971-1976 гг. - он заведующий отделом региональной тектоники, в 1976-1988 гг. - заместитель директора, а в 1988-1995 гг. - директор Геологического института. В 1958 г. Ш.А. Адамия защитил кандидатскую диссертацию, а в 1969 г. - докторскую. С 1996 года - сотрудник Института геофизики им. М.З. Нодиа.

Проф. Ш.А. Адамия известен широкому кругу специалистов как исследователь, внесший существенный вклад в развитие геологической науки и практики. Его научные интересы весьма обширны и касаются вопросов региональной геологии, стратиграфии, тектоники, сейсмоструктоники, палеогеографии, палеомагнетизма, глубинного строения и формирования литосферы подвижных поясов Земли. Ведет научно-исследовательские работы в районах Кавказа, перспективных на месторождения нефти и газа, рудных и нерудных полезных ископаемых. Постоянно участвует в работах, имеющих большое народнохозяйственное значение для нашей страны. Им произведена геологическая съемка и составлены крупномасштабные и среднемасштабные геологические и структурно-литологические карты многих районов Грузии. Выделены площади и структуры, перспективные для поисков и разведки ряда месторождений, даны прогнозы на возможность обнаружения нефте-газовых залежей в Колхидской впадине и др.

В 2014 г. проф. Ш.А. Адамия составил геологическую карту Грузии в масштабе 1: 500 000 (Цифровая версия, на грузинско-английском языках); в соавторстве составлены: карта сейсмоактивных структур Грузии (2008 г., цифровая версия, на грузинско-английском языках); геологическая карта Кавказа в масштабе 1:1000000 (2010г., цифровая версия, на английском языке); карта магматических формаций Грузии в масштабе 1:500 000 (2015г., цифровая версия, на англ. языке); карта четвертичного периода Грузии в масштабе 1:500 000 (2015г., цифровая версия, на англ. языке). Проф. Ш.А. Адамия является автором более 300 научных статей и 6 монографий. Под его научным руководством защищено множество кандидатских и докторских диссертаций. Проф. Ш.А. Адамия участвует в разработке многих научных грантовых проектов, за последние 10 лет он участвовал в работе около 30 международных научных конференций, на которых выступал с докладами. В разное время проф. Ш.А Адамия работал министром Министерства по защите

окружающей среды, читал лекции на факультете геологии и палеонтологии Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили и на факультете информатики, математики и естественных наук Грузинского университета им. Андрея Первозванного.

В связи с 90-летием со дня рождения проф. Шота Александрович Адамия награжден Юбилейной медалью им. Ив. Джавахишвили Тбилисского государственного университета.

რობერტ გოგუა - დაბადებიდან 80 წელი შეუსრულდა გეოფიზიკის ინსტიტუტის დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორიის ხელმძღვანელს, ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა აკადემიურ დოქტორს რობერტ გოგუას.

რ.გოგუა დაიბადა 1939 წლის 5 ივლისს ქ. დუშეთში, პედაგოგების ოჯახში. 1957 წელს დაამთავრა დუშეთის საშუალო სკოლა ოქროს მედალზე და იმავე წლიდან დაიწყო მუშაობა დამკვირვებლად დუშეთის ობსერვატორიაში. ცნობილია, რომ 1957 წლის 15 ივლისს დაიწყო მსოფლიო მასშტაბის უპრეცედენტო პროექტი „საერთაშორისო გეოფიზიკური წელი“, რომელშიც რ. გოგუამ აქტიური მონაწილეობა მიიღო.

1964 წელს რ. გოგუამ დაამთავრა თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ფიზიკის ფაკულტეტი რადიოფიზიკის სპეციალობით. 1964-65 წლებში ის ყოფილი სსრკ არმიის რიგებშია. 1965 წლიდან კი გეოფიზიკის ინსტიტუტის გეომაგნიტიზმისა და მაგნიტური ძიების განყოფილების უმცროსი მეცნიერი თანამშრომელია. 1967 წელს ის მონაწილეობს აჭარის სპილენძ-პოლიმეტალური საბადოს მაგნიტური მეთოდით გამოკვლევებში, ხოლო 1971-72 წლებში - ბიჭვინთის არქეოლოგიური ძეგლების გეოფიზიკური მეთოდებით გამოკვლევებში. 1974 წელს რ. გოგუას ხელმძღვანელობით ჩატარდა კავკასიის ტერიტორიაზე დედამიწის მაგნიტური ველის მდგენელების აბსოლუტური მნიშვნელობების განსაზღვრა. მიღებული შედეგები დაედო საფუძვლად კავკასიის ტერიტორიის ნორმალური მაგნიტური ველის რუკას. 1973-75 წლებში რ. გოგუამ გამოიკვლია კახეთის რეგიონში სპილენძ-პოლიმეტალური გამადნებები და დაადგინა მათი ძიების მაგნიტური კრიტერიუმები.

1975-76 წლებში რ. გოგუა მუშაობდა სირიის არაბთა რესპუბლიკაში გეოფიზიკოსად.

რ. გოგუა 1978-82 წლებში იკვლევს კავკასიონის სამხრეთ ფერდზე გავრცელებული მაგმური სხეულების მაგნიტურ ველს და მაგნეტიზმს, ხოლო 1983-86 წლებში აჭარის ტერიტორიაზე გავრცელებული ინტრუზივების მაგნიტურ ველს და მაგნეტიზმს. მიღებული შედეგები დაედო საფუძვლად მის სადისერტაციო თემას. 1986 წლიდან ის დუშეთის გეოფიზიკური ობსერვატორიის ხელმძღვანელია. ამ პერიოდში ობსერვატორია აღიჭურვა თანამედროვე ციფრული, როგორც სავარიაციო, ისე აბსოლუტური ხელსაწყოებით, შეიქმნა მონაცემების ციფრული ბაზები, გაფართოვდა კავშირები უცხოეთის სამეცნიერო ცენტრებთან. შემდგომში რ. გოგუა იკვლევს ახალქალაქის ზეგანის, კახეთის რეგიონის და თბილისის მიმდებარე ტერიტორიის მაგნიტურ ველს. რ. გოგუა ამჟამად სწავლობს შავი ზღვის სანაპიროს ქვიშით დაფარული ზოლის მაგნიტური ველის და ქვიშის მაგნიტურ შემთავსებლობას.

რ. გოგუა მონაწილეა მრავალი საერთაშორისო კონფერენციებისა გეომაგნიტიზმის დარგში. გამოქვეყნებული აქვს 60 სამეცნიერო ნაშრომი, მათ შორის ორი მონოგრაფია. მონოგრაფია „მაგმური ქანების მაგნიტური ველი და მაგნეტიზმი“ აღინიშნა აკად. მ. ალექსიძის სახელობის პრემიით.

ვუსურვოთ რობერტ გოგუას და მის შესანიშნავ ოჯახს, მეუღლეს, ორ ვაჟიშვილს და ექვს შვილისშვილს ბედნიერება, ხანგრძლივი სიცოცხლე, დიდი წარმატებები.

МАНАНА МИХАЙЛОВНА НИКОЛАЙШВИЛИ - старший научный сотрудник сектора физики Земли и геомагнетизма Института геофизики им. М.З. Нодиа, академический доктор физико-математических наук родилась 20 марта 1949 г. в г. Кутаиси. В 1966 году на золотую медаль окончила 58 среднюю школу в г. Тбилиси, а в 1971 г. с отличием - географо-геологический факультет Тбилисского государственного университета по специальности « Геофизические методы поиска и разведки полезных ископаемых». С 1971 года М.М. Николайшвили сотрудница отдела гравиметрии Института геофизики. В отделе вначале она знакомилась с методикой и алгоритмом трансформации потенциальных полей; с методикой и алгоритмом определения средне-истинных плотностей топографических масс; с методикой и алгоритмом интерполяции глубины залегания кристаллического фундамента. В дальнейшем она занялась разработкой этих вопросов, поступила в очную аспирантуру Института геофизики и под научным руководством акад. Б.К. Балавадзе в 1990 году успешно защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. М.М. Николайшвили впервые составила схему распределения средне-истинных плотностей для Кавказского региона.

Некоторое время М.М. Николайшвили работала в отделе геодинамики, в котором принимала участие в наклонных измерениях поверхности Земли.

В секторе физики Земли и геомагнетизма Манана Михайловна на должности старшего научного сотрудника занята исследованиями, существующих в Грузии сильных магнитных аномалий.

Манана Михайловна в институте ведет большую организационную работу. Долгое время она была секретарем экспертной комиссии Института геофизики. В настоящее время она активное участие принимает в работе редакционно-издательской деятельности института. М.М. Николайшвили является членом Представительного совета (сената) Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили.

ПАМЯТИ КОЛЛЕГ

ПАМЯТИ ПРОФЕССОРА ВАХТАНГА ГРИГОРЬЕВИЧА АБАШИДЗЕ

25 июля сего года на 91-ом году жизни, после тяжелой болезни скончался известный грузинский геофизик, главный научный сотрудник сектора прикладной и экспериментальной геофизики Института геофизики им. М.З. Нодиа, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии Грузии по науке и технике и премии им. акад. М.А. Алексидзе, заместитель директора Тбилисского центра «Геодинамический риск высотных плотин» при Евросоюзе, действительный член академии энергетики Грузии, профессор Вахтанг Григорьевич Абашидзе. Ушел из жизни ученый, полный внутренней энергии, преданный своей профессии, человек – оптимист, никогда не жаловался и не страшился той коварной болезни, которая постигла его в конце жизни, почти до последних дней ходил на работу, преодолевая нетерпимую боль.

В.Г. Абашидзе родился 9 сентября 1928 года в селе Ислари Харагоульского района в семье служащего. В 1947 году с отличием окончил Харагоульскую среднюю школу, а в 1951 году – физико-математический факультет Тбилисского государственного педагогического института им. А.С. Пушкина, в 1952 году экстерно окончил физический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «геофизика». Одновременно в Университете на кафедре геофизики работал лаборантом, затем ассистентом.

С 1958 года В.Г. Абашидзе – сотрудник отдела гравиметрии Института геофизики. Под руководством своего учителя академика Б.К. Балавадзе в отделе создал действующую в автоматическом режиме термобарокамеру – базу для изучения термического режима геофизической аппаратуры. Именно в этой термобарокамере В.Г. Абашидзе провел эксперименты и в результате, в 1963 году, на основе обобщения полученных данных защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование температурных эффектов в кварцевых гравиметрах». В том же году, когда на правительственном уровне был поставлен вопрос о защите Черноморского пляжного хозяйства, Вахтанг Григорьевич для научного изучения этой проблемы создал сеть опорных гравиметрических пунктов, в результате был получен бесценный материал для создания новой гравиметрической карты территории Черного моря в редукции Буге. Основное место в научной деятельности В. Г. Абашидзе занимает непрерывный геофизический мониторинг деформационных процессов земной коры в районе Ингури ГЭС, который он проводил как руководитель отдела земных деформаций с 1967 года по заданию Государственного Комитета по науке и технике Грузии. Результаты более пятидесятилетних исследований имеют огромное как научное, так и народнохозяйственное значение. Основная цель мониторинга – была выработана норма безопасной эксплуатации арочной плотины Ингури ГЭС, которая утверждена Правительственной приемочной комиссией Ингури ГЭС, как обязательная для работников эксплуатации объекта. Результатам этих исследований посвящена докторская диссертация Вахтанга Григорьевича «Геофизический мониторинг современных геодинамических процессов (на примере Ингури ГЭС)».

С 1988 года В.Г. Абашидзе по совместительству работал на кафедре инженерной геодезии и маркшейдерии Грузинского технического университета, где вел курс геодезической гравиметрии. Он автор свыше 150 научных трудов, в том числе нескольких монографий и учебников для студентов, в течение многих лет он был главным редактором издаваемого в Институте геофизики Сборника трудов.

Заслуги В.Г. Абашидзе отмечены правительственными наградами. Он является ветераном труда. Советское правительство в 1984 году наградило его Почетной грамотой Президиума Верховного совета Грузинской ССР, а национальное правительство – орденом Чести Грузии. В связи с 90-летием со дня рождения Тбилисский технический университет наградил его Почетной

грамотой просвещения, науки, культуры и спорта Грузии. В. Г. Абашидзе является Почетным гражданином родного города Харагоули.

Светлый образ прекрасного специалиста, принципиального, замечательного гражданина навсегда останется в памяти тех, кто хорошо знал Вахтанга Григорьевича Абашидзе.

ПАМЯТИ ДОКТОРА НАУК КАРЛО ЗАХАРЬЕВИЧА КАРТВЕЛИШВИЛИ

19 сентября 2019 года после тяжелой болезни скончался известный грузинский геофизик, доктор физико-математических наук, лауреат Государственной премии Грузии по науке и технике, действительный член Академии экологических наук Грузии, обладатель юбилейной медали Тбилисского государственного университета им. Ив. Джавахишвили Карло Захарьевич Картвелишвили.

К.З. Картвелишвили родился 1 октября 1935 г. в семье служащего. В 1954 году с золотой медалью окончил среднюю школу, а в 1959 году - физический факультет Тбилисского государственного университета по специальности «Строение вещества». С 1959 года он сотрудник отдела гравиметрии Института геофизики. С удовольствием отмечаем, что Карло Захарьевич был принят в институт по рекомендации проф. М. М. Мирианашвили. Известно среди ученых, что это был период, когда среди ведущих мировых ученых значительно возрос интерес к изучению земных приливов, предусмотренное же необходимо при астрономических, геофизических, геотектонических, гидрологических, океанографических и других видах исследований. В институте геофизики у истоков исследований этих явлений стоял К.З. Картвелишвили. В 1962 году академиком Б.К. Балавадзе совместно с К.З. Картвелишвили была основана уникальная для наблюдений над приливными явлениями в твердой Земле и специально оборудованная приливная лаборатория, в которой до 2010 года производился непрерывный мониторинг приливных явлений. Руководителем и непосредственным исполнителем этих работ в течение этого периода являлся К.З. Картвелишвили. Одновременно он был руководителем созданного на базе этой лаборатории Международного научного центра по унификации измерительной аппаратуры, организованного Комиссией по многостороннему сотрудничеству Академий наук социалистических стран по планетарной геофизике (КАПГ). Большая заслуга принадлежала К.З. Картвелишвили в оборудовании лаборатории новейшими приборами. История лаборатории славная: высокий уровень проведенных в лаборатории наблюдений отмечен многими известными учеными, побывавшими в ней. С 1969 года лаборатория имела статус Международного центра.

По тридцатилетним непрерывным комплексным данным наблюдений над приливными явлениями в твердом теле Земли, проводившимися в Тбилиси, была решена одна из важнейших задач современной геофизики – определены численные значения коэффициентов Лява и Шида и их комбинации. Впервые в геофизической практике бывшего СССР с помощью записи одного сильного землетрясения идентифицированы тоны собственных колебаний Земли, идентифицированы мантийные волны. По данным Тбилиси определены мантийные волны Релея и Лява, что очень редки в практике современной геофизики. К. З. Картвелишвили исследована роль приливного напряжения в возникновении землетрясений и др. В июне 2010 года после категорического ультиматума Министерства обороны Грузии Институт геофизики был вынужден провести частичный демонтаж существующей аппаратуры: - Приливная обсерватория «в 50-летнем возрасте» прекратила свое существование. Несмотря на этот тяжелейший удар, К.З. Картвелишвили продолжал геофизические исследования. Он руководил отделом земных приливов с 1975 года, с 2006 года - сектором физики Земли и геомагнетизма. Вел большую организационную и педагогическую деятельность: в институте был членом ученого совета и Специализированного совета по присуждению научных степеней; членом совета ученых экспертов по присуждению степеней Министерства образования и наук Грузии; главным редактором журнала Геофизического общества Грузии; читал магистрантам ТГУ им. Ив. Джавахишвили лекции по физике Земли, внутреннему строению Земли, по элементам теории упругости; вел курс по гравиметрии и теории приливов Земли в планетарной геофизике магистрантам Грузинского университета им. Андрея Первозванного Патриаршества Грузии.

К.З. Картвелишвили был автором более ста научных работ, в том числе трех монографий.

Карло Захарьевича Картвелишвили - замечательного ученого с большой эрудицией, талантливого исследователя долго будут помнить все те, кто его хорошо знал.

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ПОЛИЕВКТОВИЧА ГАМКРЕЛИДЗЕ

21 октября, на 96-ом году жизни, после непродолжительной болезни скончался известный геолог-геофизик Николай Полиевктович Гамкрелидзе (Батоно Ника). Батоно Ника работал в Геологическом управлении Грузии на разных ответственных должностях. Как истинный патриот и профессионал геолог-геофизик, все свои теоретические знания и практический опыт всецело всегда отдавал изучению геологического строения нашей родины, практическая ценность которого имеет большое значение для экономического роста страны. Батоно Ника в Институте геофизики начал работать сравнительно недавно. Здесь он основал группу специалистов-геологов и геофизиков, которая, используя новейшие технологии и методы, с помощью компьютерного программного обеспечения изучает глубинное строение территории Грузии. За сравнительно небольшой срок под его руководством и при его активном участии группа издала три фундаментальных монографии: «Физика земной коры» (2012, ТГУ), «Глубинное геологическое строение Картли-Кахети по геофизическим данным» (2013, Институт геофизики) и «Глубинная геология и нефтегазоносность Рионско-Куринской депрессии и Черноморского сектора Грузии по геофизическим данным» (2017, ТГУ).

Вся плодотворная творческая деятельность Батоно Ники характеризуется масштабностью и мудростью. Большая трудоспособность и трудолюбие, глубокие профессиональные знания, которыми он обладал, являются примером для молодого поколения Института геофизики. 7 апреля сего года мы его поздравляли с юбилейной датой -95-летием, а теперь по воле судьбы приходится с ним прощаться. Память о Батоне Нико долго будет жить среди его коллег и друзей

ПАМЯТИ ИВАНА ЕВТИХИЕВИЧА НИКОЛАДЗЕ

На 91-ом году жизни скончался бывший сотрудник Института геофизики Иван Евтихиевич Николадзе. И.Е. Николадзе окончил физико-математический факультет Тбилисского государственного университета. С 1961 года работал в отделе гравиметрии Института геофизики, затем работал в отделе земных приливов. Им разработана программа для ЭВМ с целью детального изучения непериодических и периодических составляющих приливных вариаций силы тяжести, наклонов и деформаций поверхности Земли. В 1975 году в Москве в Институте физики Земли защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук на тему: «Алгоритм оценки спектра приливных вариаций силы тяжести» (Научный руководитель акад.Б.К. Балавадзе). Далее работал старшим научным сотрудником в лаборатории прогноза землетрясений отдела прогноза землетрясений и физики горных пород. Принимал участие в работах по поиску долгосрочных предвестников землетрясений на Кавказе, в составлении карты ожидаемых землетрясений. В 1999 году И.Е. Николадзе вышел на пенсию и успешно занялся пчеловодством. Он автор книги «Пчелиное молоко, его производство и применение» (2007,47с. Тбилиси).

Ивана Евтихиевича Николадзе – широко образованного, порядочного, доброго человека, труженника долго будут помнить коллеги и друзья.

ПАМЯТИ ЛЕЙЛЫ КАЛАНДАДЗЕ

На 90 –м году жизни скончалась бывшая сотрудница Института геофизики, заведующая библиотекой института в 1961-1988 гг. Лейла Полиакторовна Каландадзе. После окончания факультета иностранных языков (французский язык) Тбилисского государственного университета она, с 1956 года она работала в институте библиотекарем. С 1991 года перешла в Опытно-методическую геофизическую экспедицию института. Лейла Каландадзе была эрудированной, верной своему делу сотрудницей, трудолюбивой, исполнительной, порядочной, хорошим другом. Жаль, что ее уже нет рядом с нами. Мы всегда ее будем помнить.

Некрологи составила Л. К. Дарахвелидзе

სარჩევი - Содержание – Content

<p>Н.Я. Глонти, Л.К. Дарахвелидзе - АКАДЕМИКУ ТАМАЗУ ЛУКИЧУ ЧЕЛИДЗЕ - 85 ЛЕТ</p>	5 - 10
<p>თ. ჭელიძე, ჯ. ქირია, თ. ცაგურია, თ. ქირია, ნ. დოვგალი, ლ. დავითაშვილი - ენგურჰესის კაშხლის მარჯვენა სანაპიროზე მდებარე ნაპრაღში მიმდინარე პროცესების შესწავლა ორკორდინატიანი ლაზერული ექსტენზომეტრის წინასწარი მონაცემების საფუძველზე</p> <p>Т. Челидзе, Дж. К. Кириа, Т. А. Цагурия, Т. В. Кириа, Н. Д. Довгаль, Л. А. Давиташвили - Изучение процессов, протекающих в разломе расположенном на правом берегу Ингури ГЭС, на основе предварительных данных двух координатного лазерного экстензометра</p> <p>T. Chelidze, J. Kiria, T. Tsaguria, T. Kiria, N. Dovgal, L. Davitashvili - The Study of the Processes in the Fault on the Right Bank of the Enguri Dam on the Basis of the Preliminary Data Obtained by Biaxial Laser Extensometer</p>	11 - 15
<p>დ.ოდილავაძე, თ. ჭელიძე, ნ.ღლონტი, ჯ. ქირია, ო.იავოლოვსკაია, ა.თარხნიშვილი - ხობის ღვთისმშობლის მიძინების მონასტრის სამხრეთი ტერიტორიის დაფარული არქეოლოგიური ძეგლების გეორადიოლოკაციური ძიების შედეგები</p> <p>Д. Одилавадзе, Т. Челидзе, Н. Глонти, Дж. Кириа, О. Яволовская, А. Тархнишвили - Результаты георадиолокационных поисков погребенных археологических памятников на южной территории Хобского монастыря Успения Пресвятой Богородицы</p> <p>D. Odilavadze, T. Chelidze, N. Ghlonti, J. Qiria, O. Iavolovskaia, A. Tarkhnishvili - Results of GPR Survey of Buried Archaeological Objects on the Southern Part of Territory of the Blessed Virgin Mary Assumption Khobi Monastery</p>	16 - 25
<p>დ. ოდილავაძე, ნ. ღლონტი, ა. თარხნიშვილი, ზ. ამილახვარი, გ. ჯაში - ახლო ქვეზედაპირული განთავსების, აგრესიულ ნივთიერებათა შემცველი სამარხ/საცავთა მონიტორინგი სეისმოაქტიურ ტერიტორიაზე</p> <p>Д. Одилавадзе, Н. Глонти, А. Тархнишвили, З. Амилахвари, Г. Джаши - Подповерхностный мониторинг около поверхностных могильников /хранилищ агрессивных веществ на сейсмоактивных территориях</p> <p>D. Odilavadze, N. Ghlonti, A. Tarkhnishvili, Z. Amilakhvari, G. Jashi - Subsurface Monitoring Near Surface Repositories / Storages of Aggressive Substances in Seismically Active Territories</p>	26 - 31
<p>ლ. დარახველიძე - მ. ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის სეისმოლოგიისა დარეგიონალური სეისმოლოგიის განყოფილებებში სეისმოლოგიური გამოკვლევების შესახებ. (თბილისის ცენტრალური სეისმური სადგურის 120 წელი).</p> <p>Л. Дарахвелидзе - О сейсмических исследованиях в отделах сейсмологии и региональной сейсмологии Института геофизики им. М.З. Нодиа. (120 лет Тбилисской Центральной сейсмической станции)</p> <p>L. Darakhvelidze - On Seismological Studies at the Departments of Seismology and Regional Seismology of M. Nodia Institute of Geophysics. (120th Anniversary of Tbilisi Central Seismic Station)</p>	32 - 45
<p>თ. რაზმაძე-ბროკიშვილი, ნ. ვარამაშვილი, გ. მელიკაძე, თ. ჭიკაძე, გ. ქაჯაია - წყალშემცველი ფენის სიღრმის და სიმძლავრის დადგენა გეოფიზიკური (ელექტროდიების) მეთოდით საჩხერის მუნიციპალიტეტის მაგალითზე</p> <p>Т. Размадзе-Брокишвили, Н. Варамашвили, Г. Меликадзе, Т. Чикадзе, Г. Каджая - Определение глубины и мощности водоносного слоя геофизическим (электроразведка) методом на примере Сачхерского муниципалитета</p> <p>T. Razmadze-Brokishvili, N. Varamashvili, G. Melikadze, T. Chikadze, G. Kajaia - Investigate Depth of Water Table and Thickness of Aquifer Using Geophysical (Electrometric) Methods, the Case in the Sachkhere Municipality</p>	46 - 55

რ. გოგუა - დუშეთის (თბილისის) მაგნიტური ობსერვატორია 175 წლისაა P. Gogua - Душетской (Тбилисской) магнитной обсерватории 175 лет R. Gogua - Dushety (Tbilisi) Geophysical Observatory is 175 Years	56 - 70
ა. გველესიანი - სასრული მოცულობის წყლის გაყინვის და დუდილისას ორთქლის ბუშტების წარმოშობის და ზრდის თავისებურებების შესახებ A. Gvelesiani - Об особенностях образования и роста пузырьков пара при замерзании и кипении воды в ограниченном объёме A. Gvelesiani - On the Peculiarities of the Vapour Bubbles Creation and Growth in Freezing and Boiling Volume Limited Water	71 - 77
ა. გველესიანი - იონოსფერულ დონეებზე ატმოსფეროს გლობალური ცირკულაციის შესახებ A. ი. გველესიანი - О глобальной циркуляции атмосферы на ионосферных уровнях A. Gvelesiani - On the Atmosphere Global Circulation at the Ionosphere Levels	78 - 90
დ. დემეტრაშვილი - ენერგეტიკული ბალანსის განტოლებათა შესახებ ზღვის დინამიკის რეგიონულ მოდელში D. ი. დემეტრაშვილი - Об уравнениях энергетического баланса в региональной модели динамики моря D. Demetrashvili - On the Energy Balance Equations in the Regional Model of the Sea Dynamics	91 - 100
ი. ხვედელიძე, მ. ჩხიტუნიძე, ნ. ჟონჯოლაძე - ვერეს ხეობის ქვედა ნაწილის ლოკალური ატმოსფერული შეშფოთების მოდელი И.Б. Хведелидзе, М.С. Чхитунидзе, Н.И. Жонжоладзе - Модель локального атмосферного возмущения нижней части ущелья реки Вере I. Khvedelidze, M. Chkhitunidze, N. Zhonzholadze - Model of Local Atmospheric Disturbance of Lower Part of Gorge of River Vere	101-111
ა. ამირანაშვილი, თ. ბლიაძე, ლ. ქართველიშვილი - თიანეთში ატმოსფერული ნალექების თვიური ჯამების სტატისტიკური მახასიათებლები 1956-2015 წწ. A.Г. Амиранашвили, Т.Г. Блиадзе, Л.Г. Картвелишвили - Статистические характеристики месячных сумм атмосферных осадков в Тианети (Грузия) в 1956-2015 гг. A.Amiranashvili, T. Bliadze, L. Kartvelishvili - Statistical Characteristics of Monthly Sums of Atmospheric Precipitations in Tianeti (Georgia) in 1956-2015	112-118
ნ. ბერძენიშვილი - ტემპერატურული რეჟიმი გლობალური დათბობის ფონზე (იმერეთის რეგიონში) Н. Бердзенишвили - Температурный режим на фоне глобального потепления (Имеретинская область) N. Berdzenishvili - The Temperature Regime on the Background of Global Warming (Imereti Region)	119-132
გ. კობზევი, ზ. კერესელიძე, გ. მელიქაძე, თ. ჯიმშელაძე - საქართველოს ღრმა კაბურღილებში წყლის რეაქცია გრავიტაციაზე. გამოთვლის მეთოდები Г. Кобзев, З. Кереселидзе, Г. Меликадзе, Т. Джимшеладзе - Реакция воды на гравитацию в глубоких скважинах Грузии. Методы вычислений G. Kobzev, Z. Kereselidze, G. Melikadze, T. Jimsheladze - The Water Response to Gravity in Deep Wells in Georgia. The Methods of Calculation	133-143
Юбилей. Поздравляем юбиляров института геофизики с днем рождения	144-146
Л.К. Дарахвелидзе - Памяти коллег	147-149
სარჩევი - Содержание – Content	150-151

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტი
IVANE JAVAKHISHVILI TBILISI STATE UNIVERSITY
ТБИЛИССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. ИВ. ДЖАВАХИШВИЛИ

მიხეილ ნოდიას სახ. გეოფიზიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. LXX, 2019
*ედვენება მ. ნოდიას სახელობის გეოფიზიკის ინსტიტუტის სამეცნიერო საბჭოს
თავმჯდომარის, აკადემიკოს თ. ჭელიძის 85 წლისთავს*

Transactions of Mikheil Nodia Institute of Geophysics, vol. LXX, 2019
*Dedicated to 85th anniversary of Academician Tamaz Chelidze, Head of Scientific Council of
M. Nodia Institute of Geophysics*

Труды Института геофизики им. Михаила Нодиа, т. LXX, 2019
Посвящается 85-летию со дня рождения академика Тамаза Лукича Челидзе

ტირაჟი 50 ც.

სამეცნიერო საგამომცემლო ჯგუფის ხელმძღვანელი – ლ. დარახველიძე.

Circulation 50 copy.

Leader of scientifically- publishing group - L. Darakhvelidze.

Тираж 50 экз.

Руководитель научно-издательской группы – Л. К. Дарахвелидзе.

ISSN 1512-1135

E-mail: avtandilamiranashvili@gmail.com; geophysics.transactions@tsu.ge
<https://scholar.google.com/citations?user=EdMkYoYAAAAJ&hl=en>
<http://dspace.gela.org.ge/handle/123456789/254>

თბილისი

Tbilisi 2019 Тбилиси

გარეკანის დიზაინი ნინო ებრაღიძე

Cover Designer: Nino Ebralidze

დაიბეჭდა ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო
უნივერსიტეტის გამომცემლობის სტამბაში

0179 თბილისი, ი. ჭავჭავაძის გამზირი 14
14, Ilia Tshavtchavadze Avenue, Tbilisi 0179
Tel 995(32) 225 04 84, 6284/6279
www.press.tsu.edu.ge