

**ISSN 0130-7061**

**Index 76127**

**მეცნიერება და ტექნოლოგია**

**სამეცნიერო რევიურირებადი ჟურნალი**

**SCIENCE AND TECHNOLOGIES**

**SCIENTIFIC REVIEWED MAGAZINE**

**НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ**

**НАУЧНЫЙ РЕФЕРИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ**

**№3(723)**

**თბილისი – TBILISI – ТБИЛИСИ**

**2016**

გამოდის 1949 წლის  
იანვრიდან,  
განახლდა 2013 წელს.

მეცნიერება და  
ტექნოლოგიები

№3(723), 2016 №.

## **CONSTITUENTS:**

Georgian National Academy of Sciences  
Georgian Technical University  
Georgian Engineering Academy  
Georgian Academy of Agricultural Sciences  
Georgian Society for the History of Science

დამუშავებლები:  
ორს მცნიერებათა ეროვნული აკადემია  
ოველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი  
ართველოს საინჟინრო აკადემია  
ოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა აკადემია  
ისტორიის საქართველოს საზოგადოება

## **УЧРЕДИТЕЛИ:**

Национальная академия наук Грузии  
Грузинский технический университет  
Инженерная академия Грузии  
Академия сельскохозяйственных наук Грузии  
Грузинское общество истории наук

## სარეზაქციო კოლეგია:

ა. ფრანგიშვილი (თავმჯდომარე), ი. გორგიძე (თავმჯდომარის მთადგილე), შ. ნაჭყბია (თავმჯდომარის მთადგილე), რ. ჩიქოვანი (თავმჯდომარის მთადგილე), გ. აბდუშელიშვილი, ა. აბშილაძე, გ. არაბიძე, რ. არეველაძე, რ. ბაბაიანი (რუსეთი), ნ. ბადათურია, თ. ბაციკაძე, გ. ბიბილევიშვილი, კ. ბურგოვი (რუსეთი), გ. გავარდაშვილი, ზ. გასიტაშვილი, ო. გელაშვილი, ალ. გრიგოლიშვილი, ლ. გურგენიძე, ბ. გუსევი (რუსეთი), ი. ელიშაკოვი (აშშ), გ. ვარშალომიძე, ს. ვასილიევი (რუსეთი), მ. ზგუროვსკი (უკრაინა), ო. ზუმბერიძე, ჰ. ზუნკვლი (ავსტრია), ლ. თავხელიძე, ა. თოვწიშვილი, ზ. ქაჯელია, კ. კვარაცხელია, გ. კვესტიტაძე, ლ. კლიმაშვილი, ფ. კრიადო (ესპანეთი), მ. ჯუხალევიშვილი, რ. ლაზაროვი (აშშ), ჯ. ლიაჩმანი (აშშ), ზ. ლომისაძე, ნ. მახვილაძე, დეკანოზი ლ. მათეშვილი, მ. მაცაბერიძე, კ. მატვეევი (რუსეთი), ჰ. მელაძე, გ. მექმარაძეშვილი, გ. მიქაელშვილი, ო. ნათოშეიშვილი, ღ. ნოვიკოვი (რუსეთი), ს. პეტროლო (იტალია), რ. უნევიზიუსი (ლიტვა), ი. უორდანია, კ. უკროვსკი (რუსეთი), ჰ. რიჩი (იტალია), მ. სალუქებაძე, ფ. სიარლე (საფრანგეთი), რ. სტურუა, ო. სულაბერიძე, ფ. უნგერი (ავსტრია), ა. ფაშაევი (აზერბაიჯანი), ნ. ყავლაშვილი, ა. ჩხეიძე, გ. ცინცაძე, ო. ცინცაძე, ნ. წერეთელი, ზ. წავახაძე, მიტროპოლიტი ა. ჯაფარიძე, გ. ჯერუსაშვილი, ჯ. ჯუჯარო (იტალია).

## **EDITORIAL BOARD:**

A. Prangishvili (chairman), I. Gorgidze (vice-chairman), Sh. Nachkebia (vice-chairman), R. Chikovani (vice-chairman), G. Abdushelishvili, A. Abshilava, G. Arabidze, R. Arveladze, R. Babaian (Russia), N. Bagaturia, T. Batsikadze, G. Bibileishvili, V. Burkov (Russia), A. Chkheidze, P. Ciarlet (France), I. Elishakov (USA), Z. Gasitashvili, G. Gavardashvili, O. Gelashvili, G. Giugiaro (Italy), Al. Grigolishvili, D. Gurgenidze, B. Gusev (Russia), T. Jagodnishvili, Metropolitan A. Japaridze, G. Javakhadze, G. Jerenashvili, Z. Kakulia, N. Kavlashvili, G. Khubuluri, L. Klimiashvili, F. Kriado (Spain), M. Kukhaleishvili, V. Kvaratskhelia, G. Kvesitadze, J. Laitman (USA), R. Lazarov (USA), Z. Lomsadze, N. Makhviladze, Archpriest L. Mateshvili, M. Matsaberidze, V. Matveev (Russia), E. Medzmariaishvili, H. Meladze, G. Miqashvili, O. Namicheishvili, O. Natishvili, D. Novikov (Russia), A. Pashaev (Azerbaijan), S. Pedrolo (Italy), P. Ricci (Italy), M. Salukvadze, R. Sturua, T. Sulaberidze, H. Sunkel (Austria), D. Tavkhelidze, A. Topchishvili, G. Tsintsadze, T. Tsintsadze, N. Tzereteli, Z. Tzveraidze, F. Unger (Austria), G. Varshalomidze, S. Vasilev (Russia), M. Zgurovski (Ukraine), R. Zhinevichius (Lithuania), I. Zhordania, V. Zhukovski (Russia), O. Zumburidze.

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

А. Прангишвили (председатель), И. Горгидзе (зам. председателя), Ш. Начкебия (зам. председателя), Р. Чиковани (зам. председателя), Г. Абдушлишвили, А. Абшилава, Г. Арабидзе, Р. Арвеладзе, Р. Бабаян (Россия), Н. Багатуриа, Т. Бацикадзе, Г. Бибилишвили, В. Бурков (Россия), Г. Варшаломидзе, С. Васильев (Россия), Г. Гавардашвили, З. Гаситашвили, О. Гелашивили, Ал. Григолишвили, Д. Гургенидзе, Б. Гусев (Россия), Г. Джавахадзе, Т. Джагоднишвили, Митрополит А. Джапаридзе, Г. Джеренашвили, Дж. Джуджаро (Италия), И. Елишаков (США), Р. Жиневичус (Литва), И. Жордания, В. Жуковский (Россия), М. Згуровский (Украина), О. Зумбуридзе, Х. Зункел (Австрия), Н. Кавлашвили, З. Какулия, В. Кварацхелия, Г. Квеситадзе, Л. Климиашвили, Ф. Криадо (Испания), М. Кухалеишвили, Р. Лазаров (США), Дж. Лайтман (США), З. Ломсадзе, В. Матвеев (Россия), Протоиерей Л. Матешвили, Н. Махвиладзе, М. Мацаберидзе, Э. Медзмариашвили, Г. Меладзе, Г. Микиашвили, О. Намичеишвили, О. Натишвили, Д. Новиков (Россия), С. Педроло (Италия), З. Ричи (Италия), М. Салуквадзе, Ф. Сиарле (Франция), Р. Стуруа, Т. Сулаберидзе, Д. Тавхелидзе, А. Топчишвили, Ф. Унгер (Австрия), А. Фашаев (Азербайджан), Г. Хубулури, З. Цвераидзе, Н. Церетели, Г. Цинцадзе, Т. Цинцадзе, А. Чхеидзе.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2016  
Publishing House “Technical University”, 2016

Издательский дом “Технический Университет”, 2016  
<http://www.publishhouse.gtu.ge>



# შინაგასი

## შინაგა

† მ. ჯიბლაძე, გ. დგებუაძე, თ. ბაციკაძე, ბ. ბენდელიანი, ა. მიქაბერიძე, ზ. რაზმაძე.  
დაბალენერგეტიკული პირთვული რეაქციები – იგორენერგეტიკის მომავალი .....9

## შინაგის სრავლების მეთოდიკა

ი. კალანდაძე, მ. ჩხაიძე, ქ. ბარაძიძე. შედეგზე ირიენტირებული სრავლება (პროფორიენტაცია)  
შინაგის ბაკვეთილზე .....25

## გეოზოგა

ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძაძამია. საქართველოს მყიდვარების ცვლილების  
ცენტრი ტენდენციები კლიმატის თანამედროვე ცვლილების ფონზე .....29

## ეკოლოგია

ც. ბასილაშვილი. პირსვეროს ჟავრის ხორების თანამედროვე პროგლემები .....36

## კალეოგეოგრაფია

რ. ხაზარაძე. აალეოკლიმატისა და გეოგრაფიული გარემოს ცვალებადობა დასავლეთ  
საქართველოს ტერიტორიაზე კოლოცები .....47

## გამოქვეყითი კლიმატოლოგია

ლ. ქართველიშვილი, ლ. მეგრელიძე, ლ. ქურდაშვილი, ნ. დეგანოზიშვილი. მზის რადიაციის  
გათვალისწინება შენობების დაკროვებისას .....53

## მეტეოროლოგია

გ. გაშაკიძე. ქარპორბალას, იბივი ტორნადოს წარმოშობის არსი .....59

## გიოლოგია

ნ. ბალათურია, ნ. ბეგიაშვილი, ლ. კოტორაშვილი, მ. ორმოცაძე. ეთეროვანი ზეთების  
გიოსინიები მცენარეებში .....67

## გიოტექნოლოგია

ნ. ბალათურია, ნ. ბეგიაშვილი, ლ. კოტორაშვილი, მ. ორმოცაძე. ლიმონის მცენარის მოვლა-  
მოქვანის ხერხების გავლენა მასში ეთეროვანი ზეთის შემცველობასა და შედგენილობაზე .....74

<b>მასალათმცოდნეობა</b>	
მ. თაბაგარი, ვ. კოპალეიშვილი, ი. ქაშაკაშვილი, ო. ბარბაქაძე. ბამზოლი დგანების მაღალმედები სამართულების საზარმოებლად განცემის ბენიტო პლასის დაბალნახშირგადიანი 08XH4СДМФТ-ტიპის ვოლადის ყოველმხრივი შესაბლა მისი გამოყენების სფეროს გაზრდის მიზნით.....	80
<b>მარჯანითმცოდნეობა</b>	
თ. მეგრელიძე, გ. პირველი, გ. გუგულაშვილი. საჭყლეტ-საქაცხაცემაცემ-საბრჩეო მანქანის დანების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი.....	91
<b>ახალი ტექნოლოგიები</b>	
დ. ნოზაძე, პ. ეჯიბია, ს. მებონია, გ. ოთარაშვილი. ვიბრობელტონის ლიუკის ხუცების დამზადების ტექნოლოგია.....	99
<b>არამოლოგია</b>	
გ. ვაშაკიძე. საბუს დისკი – ორთქლის მანქანა .....	105
<b>მედიცინა</b>	
ფ. თოლუა, მ. ბერაია, მ. ოკუჯავა. მაგნიტურ-რეზონაციული (მ-რ) სამაგნიტოსკოპის გამოყენება თავის ტკინის ინფილტრაციული აროცენის პიოლოგიური ხასიათის დასადგენად .....	112
<b>ტექნიკის ისტორია</b>	
ნ. იაშვილი. კიდევ ერთხელ სახელგანთქმული ქართველი მეცნიერის შესახებ (რატომ არ ითვლება გიორგი ნიკოლაძე კომპიუტერული ტექნიკის ერთ-ერთ პიონერად?) .....	120
<b>აგტორთა საყურადღებოდ</b>	128

# CONTENTS

## PHYSICS

**M. Jibladze, G. Dgebuadze, T. Batsikadze, B. Bendeliani, A. Mikaberidze, Z. Razmadze.**

LOW ENERGY NUCLEAR REACTIONS – FUTURE OF HEAT POWER ENGINEERING ..... 9

## METHODS OF LEARNING PHYSICS

**I. Kalandadze, M. Chkhaidze, K. Baramidze.** RESULT-ORIENTED LEARNING (PROFESSIONAL

ORIENTATION) AT THE PHYSICS LESSON..... 25

## GEOPHYSICS

**L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, M. Dzadzamia.** NEGATIVE TRENDS OF GLACIERS CHANGES IN

GEORGIA ON THE BACKGROUND OF MODERN CLIMATE CHANGE ..... 29

## ECOLOGY

**Ts. Basilashvili.** MODERN CHALLENGES OF BIOSPHERE SAFETY..... 36

## PALEOGEOGRAPHY

**R. Khazaradze.** FLUCTUATION OF PALEOCLIMATE AND GEOGRAPHIC ENVIRONMENT ON THE

TERRITORY OF WESTERN GEORGIA IN THE HOLOCENE ..... 47

## APPLIED CLIMATOLOGY

**L. Kartvelishvili, L. Megrelidze, L. Kurdashvili, N. Dekanozishvili.**

CONSIDERATION OF SOLAR RADIATION IN THE DESIGN OF BUILDING ..... 53

## METEOROLOGY

**G.Vashakidze.** THE ESSENCE OF THE WHIRLWIND, OR TORNADO GENERATION ..... 59

## BIOLOGY

**N. Baghaturia, N. Begiashvili, L. Kotorashvili, M. Ormotsadze.** BIOSYNTHESIS OF THE ESSENTIAL

OILS IN PLANTS ..... 67

## BIOTECHNOLOGY

**N. Baghaturia, N. Begiashvili, L. Kotorashvili, M. Ormotsadze.** THE INFLUENCE OF THE LEMON PLANT

CARE-GROWING WAYS ON THE COMPOSITION AND COMPOUND OF THE ESSENTIAL OIL IN IT ..... 74

## MATERIALS SCIENCE

- M. Tabagari, V. Kopaleishvili, I. Qashakashvili, O. Barbaqadze.** COMPREHENSIVE STUDY OF LOW CARBON BAINITIC STEEL OF C0.08CrNi4SiCuMoVTi-TYPE, USED FOR THE PRODUCTION OF HIGH RESISTENT MANDRELS OF PIERCING MILLS IN ORDER TO EXPAND THE SCOPE OF APPLICATION ..... 80

## MECHANICAL ENGINEERING

- T. Megrelidze, G. Pirveli, G. Gugulashvili.** CALCULATION METHOD OF HARDNESS WORKER KNIVES OF CRUSHING-SMASHING-ROLLING MACHINE FOR THE NUTRITION-MEDICAL VEGETABLE ROW MATERIALS LEAVES ..... 91

## NEW TECHNOLOGIES

- D. Nozadze , P. Ejibia, S. Mebonia, G. Otarashvili.** TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF FIBROCONCRETE COVERS OF HATCHES ..... 99

## ARCHEOLOGY

- G. Vashakidze.** DISK OF SABU – STEAM ENGINE ..... 105

## MEDICINE

- F. Todua, M. Beraia, M. Okujava.** DIAGNOSIS OF THE BIOLOGICAL FEATURES OF THE BRAIN INFILTRATIVE LESIONS BY THE MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY ..... 112

## TECHNICS HISTORY

- N. Iashvili.** ONCE MORE ABOUT FAMOUS GEORGIAN SCIENTIST (Why is not George Nikoladze considered as one of the pioneers of computer technology?) ..... 120

- TO THE AUTHORS ATTENTION** ..... 128

# СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

- М. И. Джебуадзе, Г. Н. Джебуадзе, Т. В. Башикадзе, Б. Г. Бенделiani, А. А. Микаберидзе, З. Г. Размадзе.** НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ – БУДУЩЕЕ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ ..... 9

## МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКИ

- И. Г. Каландадзе, М. Г. Чхайдзе, К. К. Барамидзе.** ОБУЧЕНИЕ НА УРОКЕ ФИЗИКИ, ОРИЕНТИРОВАННОЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ (ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ) ..... 25

## ГЕОФИЗИКА

- Л. Д. Шенгелия, Г. И. Кордзахия, Г. А. Тваури, М. Ш. Дзадзамиа.** НЕГАТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДНИКОВ ГРУЗИИ НА ФОНЕ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ..... 29

## ЭКОЛОГИЯ

- Ц. З. Басилашвили.** СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ БИОСФЕРЫ ..... 36

## ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

- Р. Д. Хазарадзе.** ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В ГОЛОЦЕНЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ ГРУЗИИ ..... 47

## ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

- Л. Г. Картвелишвили, Л. Д. Мегрелидзе, Л. Р. Курдашвили, Н. И. Деканозишвили.** УЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ ..... 53

## МЕТЕОРОЛОГИЯ

- Г. А. Вашакидзе.** СУТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СМЕРЧА, ИЛИ ТОРНАДО ..... 59

## БИОЛОГИЯ

- Н. Ш. Багатурия, Н. А. Бегиашвили, Л. З. Которашвили, М. Л. Ормоцадзе.** БИОСИНТЕЗ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ В РАСТЕНИЯХ ..... 67

## БИОТЕХНОЛОГИЯ

- Н. Ш. Багатурия, Н. А. Бегиашвили, Л. З. Которашвили, М. Л. Ормоцадзе.** ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛИМОНОВ НА СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА ..... 74

## **МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

<b>М. В. Табагари, В. П. Копалейшвили, И. Г. Каракашвили, О. Г. Барбакадзе.</b> ВСЕСТОРОННЕЕ ИЗУЧЕНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ БЕЙНИТНОЙ СТАЛИ ТИПА 08ХН4СДМФТ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОСТОЙКИХ ОПРАВОК ПРОШИВНЫХ СТАНОВ, С ЦЕЛЬЮ РАСШИРЕНИЯ СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ .....	80
--	----

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ**

<b>Т. Я. Мегрелидзе, Г. Т. Пирвела, Г. Л. Гугулашвили.</b> МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ РАБОЧИХ НОЖЕЙ МАШИНЫ ДЛЯ МЯТИЯ-ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ-СКРУЧИВАНИЯ ЛИСТЬЕВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ .....	91
---	----

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

<b>Д. А. Нозадзе, П. Р. Эджибия, С. А. Мебония, Г. Г. Отарашвили.</b> ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИБРОБЕТОННЫХ КРЫШЕК ЛЮКОВ .....	99
---	----

## **АРХЕОЛОГИЯ**

<b>Г. А. Вашакидзе.</b> ДИСК САБУ – ПАРОВАЯ МАШИНА .....	105
--	-----

## **МЕДИЦИНА**

<b>Ф. И. Тодуа, М. В. Берая, М. В. Окуджава.</b> ДИАГНОСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНФИЛЬTRATIVНЫХ ПОРАЖЕНИЙ МОЗГА С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ .....	112
--	-----

## **ИСТОРИЯ ТЕХНИКИ**

<b>Н. Г. Иашвили.</b> ЕЩЕ РАЗ О ЗНАМЕНИТНОМ ГРУЗИНСКОМ УЧЕНОМ (Почему не считается Георгий Николадзе одним из пионеров компьютерной техники?) .....	120
--	-----

<b>К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ.....</b>	128
--------------------------------	-----

## დაბალენერგიული ბირთვული რეაქციები – თბილობების მომავალი\*

† მერაბ ჯიბლაძე, გურამ დგებუაძე, თამაზ ბაციკაძე, ბეჟან ბენდელიანი,  
ალექსანდრე მიქაბერიძე, ზურაბ რაზმაძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, ილია ვეკუას ფიზიკა-ტექნიკის ინსტიტუტი,  
ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია დახარჯულ ენერგიასთან შედარებით ჭარბი სითბური ენერგიის მიღების ექსპერიმენტები, ა. როსის სითბური გენერატორის 32-დღიანი მუშაობის დამკვირვებელი ექსპერტების საერთაშორისო ჯგუფის ანგარიში, ქართველ მკლევართა მიერ (Li-Cd), (Li-Ni), (Li-Cd-B) ნარევებში დაბალენერგეტიკულ ბირთვულ რეაქციებზე (დებრ) ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგები; დადასტურებულია ლითიუმ-კადმიუმის (Li-Cd) ნარევის უპირატესობა ლითიუმ-ნიკელის (Li-Ni) ნარევთან შედარებით. განხილულია აგრეთვე ცივი ბირთვული სინთეზის (ცბს) პროცესი ლითიუმ-კადმიუმ-ბორის (Li-Cd-B) ნარევში. აღსანიშნავია, რომ ამ ნარევში ხდება როგორც ბირთვების სინთეზი, ისე დაშლა. ექსპერიმენტულად გაზომილია ბირთვული რეაქციების სიჩქარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ბირთვული რეაქციები განხილულია ატომბირთვის კრისტალური მოდელისა და ნუკლონების კვარცული აგებულების საფუძველზე და ნაჩვენებია, რომ სითბური ენერგიის წყაროს წარმოადგენს კადმიუმისა და ნიკელის ბირთვების მიერ ნეიტრონების ჩაჭრა, რასაც თანახლავს იმავე ელემენტების უფრო მძიმე იზოტოპების წარმოქმნა.

**საკვანძო სიტყვები:** ატომბირთვის კრისტალური მოდელი; დაბალენერგეტიკული ბირთვული რეაქციები; ლითიუმ-კადმიუმ-ბორის (Li-Cd-B) ნარევი; ლითიუმ-კადმიუმის (Li-Cd) ნარევი; ლითიუმ-ნიკელის (Li-Ni) ნარევი; ა. როსისა და ს. ფოკარდის შედეგები; ცივი ბირთვული სინთეზი.

### შესავალი

დაბალენერგეტიკული ბირთვული რეაქციები ექსპერიმენტულად ტარდებოდა გასული საუკუნის 50-იან წლებში რუსი მეცნიერის ი. ფილიმონენკოს მიერ [1]. მისი ხელმძღვანელობით შექმნილ საცდელ თერმოემისიურ პილოტურ დანადგარზე ხდებოდა მძიმე წყლის ელექტროლიზი პალადიუმის შემცველი ლითონის კათოდის გამოყენებით. დანადგარზი წარმოიქმნებოდა ჭარბი სითბო, მაგრამ მისი მუშაობისას არ ხდებოდა რაიმე საზიანო რადიაქტიური გამოსხივება.

1989 წელს მარტინ ფლეიშმანმა და სტენლი პონსმა, ასევე სტივენ ჯონსმა განაცხადეს ახალი ფიზიკური მოვლენის – ცივი ბირთვული სინთეზის (ცბს) – აღმოჩნდის შესახებ [2,3], რომელიც უკვე უახლოეს დროში შეიძლება გამხდარიყო ახალი, მარტივი, უსაფრთხო და მეტად ეცემებური ბირთვული ენერგეტიკის საფუძველი. მათ მიიღეს 3 ვტ-ის ტოლი ჭარბი ენერგია 1 ვტ ენერგიის დახარჯვისას. ექსპერიმენტული დანადგარი შედგებოდა ელექტროლიზში ჩაძირული პალადიუმის ელექტროდებისაგან. ელექტროლიზი შეიცავდა მძიმე ( $D_2O$ ) და ზემომეტ ( $T_2O$ ) წყალს. ექსპერიმენტაციების მიერ ნავარაუდევი იყო ქიმიურ (ატომურ-მოლეკულურ) სისტემებში

\* სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის მართვადი ცივი ბირთვული სინთეზის სამეცნიერო-კვლევითი საწარმოო ცენტრის №12/03-2016 პროექტის („მართვადი ცივი ბირთვული სინთეზის ეცემებური დანადგარის შექმნა“) ფარგლებში.

ბირთვული სინთეზის რეაქციის განხორციელება დაბალ ტემპერატურებზე მუშა ნივთიერების მნიშვნელოვანი გახურების გარეშე.

მიუხედავად იმისა, რომ ამ განაცხადმა სამეცნიერო წრეებში მძაფრი კრიტიკა გამოიწვია, მსოფლიოში მაინც აღმოჩნდა მეცნიერების ასზე მეტი დამოუკიდებელი და მაღალპროფესიული ჯგუფი, რომლებმაც შეძლეს ამ შედეგების დადასტურება.

აღსანიშნავია, რომ ცივი ბირთვული სინთეზის (ცბს) მიმართ საყოველთაო ინტერესი საკმაოდ დიდი იყო, რადგან იგარაუდებოდა მისი გამოყენება ენერგეტიკაში. თავდაპირველად უფრო მეტი ინტერესს კალორიმეტრული გაზომვები იწვევდა. აღმოჩნდილ იქნა მიყვანილ ელექტროენერგიაზე უფრო მეტი გამოყოფილი სითბო, რომელიც ზოგ შემთხვევაში მას რამდენიმეჯერ აღემატებოდა. ამასთან, მისი შენარჩუნება აღინიშნებოდა მუშაობის რამდენიმე საათის განმავლობაში. ექსპერიმენტული შედეგების მიმოხილვით ნაშრომში [4] გაკეთდა დასკვნა, რომ მთელ რიგ კალევებში მიღებულია მტკიცებულებები ცბს-ის სასარგებლოდ, ე.ო. ოთახის ტემპერატურის პირობებში ლითონების კრისტალურ მესერში ჩანერგილი დეიტრონების შერწყმის რეაქციების სასარგებლოდ, ხოლო რეაქციებს აქვს სხვადასხვა სიჩქარე და მიმდინარეობის ხასიათი. გარდა ამისა, აღნიშნული იყო, რომ ცბს-ის ექსპერიმენტებისათვის დამახასიათებელია შედეგების ცუდი აღწარმოება.

## ბირთვადი ნაწილი

მას შემდეგ, რაც მკვლევრები დარწმუნდნენ, რომ საქმე აქვთ ბირთვულ ფიზიკაში ასალ მექანიზმთან, მისი დასახელება „ცივი ბირთვული სინთეზი“ შეცვალეს „დაბალენერგეტიკული ბირთვული რეაქციებით“ (დებრ) – (Low Energy Nuclear Reactions - LENR).

ენერგეტიკაში რევოლუციის ტოლფასი იყო იტალიელი ინჟინერის ანდრეა როსის განაცხადი სერეიო ფოკარდისთან ერთად თერმოგენერატორის სამრეწველო ვარიანტის შექმნის შესახებ [5]. მოქმედი რეაქტორი მუშაობდა ნიკელისა და წყალბადის ცივი ტრანსმუტაციის პრიციპზე.

2011 წლის 15 იანვარს ბოლონიის უნივერსიტეტის ფიზიკის განყოფილებაში ჩატარდა ონლაინ კონფერენცია, რომლის დროსაც მეცნიერებს და უურნალისტებს წარედგინათ 12,5 კვტ სიმძლავრის რეაქტორის პროტოტიპი [6]. როგორც ავტორები ფიქრობენ, საქმე ეხება ნიკელისა და წყალბადის ბირთვების სინთეზს, რომლის დროსაც წარმოიქმნება იზოტოპები, სპილენძი და სხვა ელემენტები. ამასთან, ენერგიის გამოსავალი საგრძნობლად აღემატება დახარჯულ ენერგიას. უფრო მეტიც, ეს რეაქცია თვითშენარჩუნებადია. ა. როსის მტკიცებით, ნიკელის ერთ კილოგრამზე რეაქტორს შეუძლია უწყვეტად გამოიმუშაოს 10 კვტ ენერგია 10 ათასი სთ-ის განმავლობაში.

ამ პროცესის ფიზიკა თავად ავტორებისთვისაც არ არის ბოლომდე გასაგები. მათი აზრით, წყალბადის ატომი ნიკელის მესერთან კონტაქტის დროს გადადის არასტაბილურ მდგრმარეობაში და კვანტური მექანიკის პრინციპების შესაბამისად, ძლიერ მცირე დროით ( $10^{-20}$  წმ-ით) შეუძლია მკვეთრად შემცირდეს ზომაში, რაც წყალბადის პროტონს საშუალებას აძლევს ენერგიის განსაკუთრებული დანახარჯის გარეშე შეაღწიოს ნიკელის ბირთვში. თუმცა, თავის განმარტებას ავტორები მტკიცენ არ იცავენ. ეტკობა, მიაჩნიათ, რომ მთავარია ეფექტი და არა მისი განმარტება.

მიღებულია პატენტი [7], განაცხადი მათ მიერ შეტანილია 90 ქვეყანაში სამოქმედოდ, სამეცნიერო სტატია გამოქვეყნებულია ჟურნალში [8].

2011 წლის 6 ოქტომბერს ა. როსიმ გამოაცხადა დაახლოებით 1 მეგატ-ის ტოლი გამოსავალი სიმძლავრის მქონე დიდი დანადგარი E-CAT-ის პრეზენტაცია (37 მოდული, თითოეული 3 უჯრედით). ამ ტესტის E-CAT მოდული მოთავსებული იყო 50x60x35 სმ<sup>3</sup> ზომის კორპუსში. წინა ტესტების მსგავსად, სითბოს გენერაცია მიმდინარეობდა რეაქტორის შიგნით, ნიკელის ფხენილში წნევის ქვეშ გახსნილი წყალბადით და უცნობი კატალიზატორების თანხლებით.

2011 წლის 28 ოქტომბერს ა. როსიმ პირველი 1 მეგატ-იანი გენერატორი აჩვენა თავის პირველ კლიენტს, ინჟინერებსა და მეცნიერებს, რომლებიც ამოწმებდნენ მის მუშაობას. რეაქტორმა გამოიმუშავა 470 კვტ უწყვეტი სიმძლავრე 5,5 სთ-ის განმავლობაში, თვითშენარჩუნებად რეჟიმში [9]. სრულიად ავტონომიური რეჟიმით მუშაობის გამო რეაქტორი ვერ გაუშვეს სრული სიმძლავრით, მაგრამ ის, რაც მან შეძლო, საკმაოდ შთამბეჭდავი იყო. დანადგარში გამოყენებული იყო 100 რეაქტორული მოდული, თითოეული სამი სარეაქციო განყოფილებით, ე.ი. სულ 300 სარეაქციო კამერა.

დანადგარის დემონსტრაციის განმავლობაში რადიაციული გამოსხივებები არ იქნა დაფიქსირებული.

2014 წლის ოქტომბერში გამოქვეყნებულ იქნა ა. როსის მიერ შექმნილი ახალი მაღალტემპურატურიანი რეაქტორის მუშაობაზე დამკვირვებელი ექსპერტების საერთაშორისო ჯგუფის დებალური ანგარიში [10–12].

შთამბეჭდავია წარმოდგენილი შედეგები. 450 გ მასის მქონე დანადგარი, რომელიც შეიცავდა 1 გ საწვავს (ნიკელი მცირე მინარევებით), უწყვეტად მუშაობდა ერთი თვის განმავლობაში და გამოიმუშავა 1,6 მეგატ.სთ სითბური ენერგია, ამასთან, მის ზედაპირზე ტემპერატურა აღწევდა  $1400^{\circ}\text{C}$ -ს. იმისათვის, რომ გამოყოფილ იქნეს ამდენი ენერგია, საჭიროა 100 კგ-ზე მეტი ნავთობის, ე.ი. რეაქტორში ჩატვირთული ასეულ ათასჯერ მეტი მასის საწვავის დაწვა. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ, საწვავის მასის ერთეულზე დაახლოებით იმდენივე ენერგია გამომუშავდება, რამდენიც ბირთვულ ელექტროსადგურებზე, ხოლო საწვავად გამოიყენება იაფი ნივთიერება, რომლის მარაგი დედამიწაზე პრაქტიკულად განუსაზღვრელია. ამასთან, მაგნე მაიონიზტებული რადიაციის ნიშნები არ აღმოჩენილა.

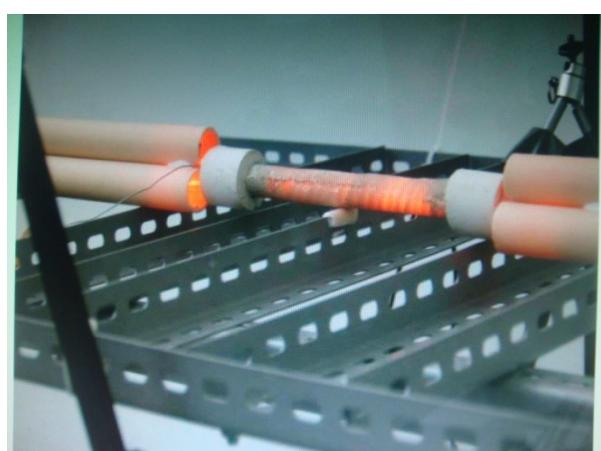
ადიარებულ უნდა იქნეს, რომ რადგან დაბალი ენერგიებისას მაიონიზტებული რადიაციის გარეშე ბირთვული ცვლილებების დამაჯერებელი ასსნა არ არსებობს, ეს სკეპტიკოსების წისქილზე ასესამს წყალს და ა. როსის და სხვა ექსპერტებს შედეგების განზრას ფალსიფიკაციაში ადანაშაულებენ. ამ სენსაციური დოკუმენტის მოკლე შენარხი ასეთია:

2014 წლის მარტში გამოკვლეული რეაქტორი მკვეთრად განსხვავდება ადრე დემონსტრირებული როსის რეაქტორებისგან. რეაქტორის შიგა მოწყობილობას ავტორი არ ამხელს. გარეგნულად ეს არის  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -ის საფუძველზე დამზადებული 2 სმ დიამეტრისა და 20 სმ სიგრძის კერამიკული ცილინდრი, რომელიც კონგექციური სითბოცვლის გაუმჯობესების მიზნით აღჭურვილია შვერილებით (ნახ. 1). ცილინდრის ორივე მხარე დაბოლოებულია კერამიკისავე ცილინდრული ფორმის ორი ბუნიკით, რომელთა დიამეტრიც და სიგრძეც 4 სმ-ია. ბუნიკებზე მოთავსებულია სითბომედეგი შენადნობისაგან დამზადებული გამსურებლის სამი გამომყვანი. ერთ-ერთ ბუნიკს აქვს 4 მმ დიამეტრის ხვრელი. ამ ხვრელს ეცმება კერამიკული საცობი, რომელშიც დამონტაჟებულია თერმოწყვილის ზონდი. ამ ხვრელიდან ხდება საწვავის ჩატვირთვა. ჩატვირთვის შემდეგ ხვრელი იხურება და ილუქტება თიხამიწიანი ცემენტით.

ა



ბ



ნახ. 1. ა. როსის რეაქტორი ჩართვამდე (ა) და ჩართვის შემდეგ (ბ)

დახარჯული ენერგიის გასაზომად გამოყენებულია სიმძლავრის საზომები, სპექტრის ანალიზატორები და ციფრული მულტიმეტრები. გამომუშავებული ენერგიის დასადგენად ჯერ ზედაპირის ტემპერატურა განისაზღვრებოდა და შემდეგ ამის საფუძველზე ენერგიის დანაკარგის (გამოსხივებისა და კონვექციის გამო) გამოთვლა.

შესაძლო მათონიზებელი გამოსხივების რეგისტრაციისათვის გამოყენებული იყო სცინტილაციური და გეიგერის მთვლელები და ასევე ოქროლუმინეცენციური დოზიმეტრები, რომლებიც მომუშავე რეაქტორის სიახლოვეს ალფა-ბეტა-გამა გამოსხივებისა და ნეიტრონების რეგისტრაციის საშუალებას იძლეოდა. გარდა ამისა, იზომებოდა საწვავის რადიოაქტიურობა რეაქტორში ჩატვირთვამდე და მუშაობის დამთავრების შემდეგ. ყველა გადამწოდისაგან მიღებული ინფორმაცია რეგისტრირდებოდა კომპიუტერების მეხსიერებაში შემდგომი ანალიზისათვის.

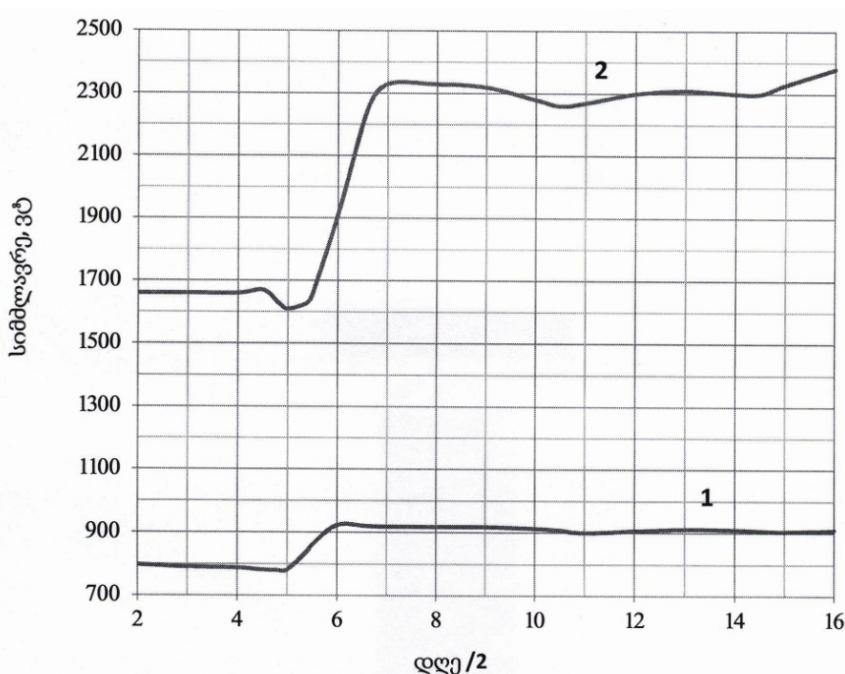
პირველ ეტაპზე რეაქტორი გამოკვლეულ იქნა უქმ სვლაზე (საწვავის გარეშე). ამ შემთხვევაში რეაქტორის მიერ გაბნეული სითბური ენერგია მიწოდებული ენერგიის ტოლია, რაც საკალიბრო გაზომვების საშუალებას იძლევა, რომელთა გამოყენებითაც შესაძლებელია სამუშაო რეჟიმში მყოფი რეაქტორის მიერ გამოყოფილი ენერგიის განსაზღვრა.

რეაქტორი ჩართულ იქნა 2014 წლის 24 თებერვალს 12 სთ-სა და 20 წთ-ზე. გასურების სიმძლავრეს ნელ-ნელა ზრდიდნენ საჭირო დონემდე, გამოცდების ყველა სტადია ექსპერტების უწყვეტი მეთვალყურეობით მიმდინარეობდა.

რეაქტორის გამორთვა დაიწყო 2014 წლის 29 მარტს 11 სთ-სა და 40 წთ-დან ელექტროგაზურების სიმძლავრის თანდათანობითი დაწევით. გარკვეულ დრომდე რეაქტორი მუშაობდა სითბოგამოყოფის სიმძლავრის შესამჩნევი შემცირების გარეშე, რაც იმას მოწმობს, რომ რეაქტორის მუშაობის რესურსი არ იყო ამოწურული.

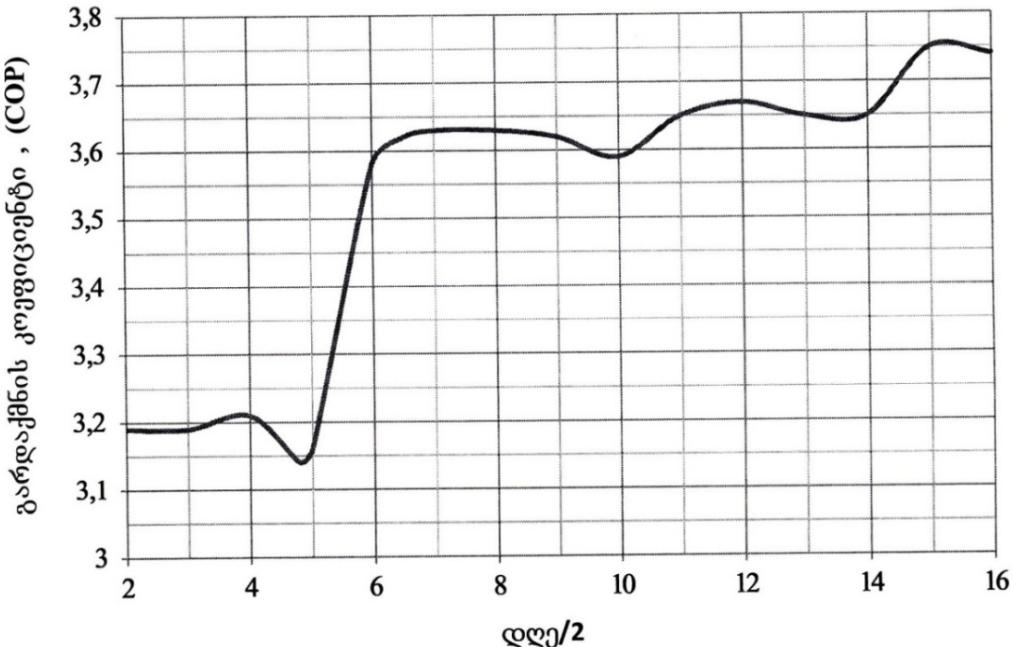
რეაქტორის გაცივების შემდეგ გაიხსნა ბუნიკის ხერელი, საიდანაც გამოდებულ იქნა ნამუშევარი საწვავი, რომელიც მოთავსდა კონტეინერში და შემოწმდა რადიოაქტიურობაზე ისევე, როგორც რეაქტორის ჩატვირთვამდე. ამის შემდეგ ნამუშევარ საწვავს ჩაუტარდა სხვადასხვაგვარი ანალიზი.

მე-2 ნახ-ზე წარმოდგენილია კვლევის პროცესში მოხმარებული ელექტროენერგიისა და რეაქტორის მიერ სითბოგამოყოფის სიმძლავრის ცვლილება დროში.



ნახ. 2. რეაქტორის მიერ მოხმარებული (მრუდი 1) და გამომუშავებული (მრუდი 2) სიმძლავრეების ცვლილება დროში

მე-3 ნახ-ზე მოცემულია რეაქტორის სითბოგამოყოფის სიმძლავრისა და მოხმარებული ელექტროენერგიის სიმძლავრის ჯამის შეფარდება გამოყენებულ ელექტროენერგიასთან, რითაც ხდება გარდაქმნის კოეფიციენტის გამოთვლა (COP – Coefficient of Performance). ა. როსის გენერატორის 32 დღის განმავლობაში მუშაობის მიხედვით თუ ვიმსჯელებთ, გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ბევრად აღემატება მოხმარებულ ელექტროენერგიას.



ნახ. 3. გარდაქმნის კოეფიციენტის (COP) მნიშვნელობები  
რეაქტორის 32 დღის განმავლობაში მუშაობისას

790 ვტ მოხმარებული სიმძლავრისას რეაქტორის მუშაობის პირველ 10 დღეში გარდაქმნის კოეფიციენტი (COP) დაახლოებით 3,2-ია (მოხმარებულ სიმძლავრეზე საშუალოდ 1650 ვტ-ის დამატება). მოხმარებული სიმძლავრის 900 ვტ-მდე გაზრდისას კი იგი დაახლოებით 3,7-მდე იზრდება (დამატებითი სიმძლავრე საშუალოდ 2300 ვტ-ია).

ზემოაღნიშნულ ანგარიშში გამოთვლილია რეაქტორის მუშაობის განმავლობაში მოხმარებულ ელექტროენერგიაზე ჭარბი წარმოებული ენერგია: 1618194 ვტ.სთ ან 5825 მეგჯოული. ამ სიდიდის შეფარდებით საწვავის 1 გ მასასთან მივიღებთ ენერგოგამომუშავების სიმკვრივეს  $1,6 \cdot 10^9$  ვტ.სთ/გგ =  $5,8 \cdot 10^6$  მეგჯოული/კგ. ეს ბევრად აღემატება ნავთობპროდუქტების დაწვის შედეგად მიღებულ ენერგიას. საწვავის მასის ერთეულზე გამოყოფილი სიმძლავრეც ( $0,45 \cdot 10^6$  ვტ/კგ) ასევე აღემატება თანამედროვე ტექნიკის შესაძლებლობებს. მოცულობის ერთეულზე გამომუშავებული ენერგიისა და სიმძლავრის მიხედვითაც გამოკვლეული დანადგარის ანალოგი არ არსებობს.

ანგარიშის დასკვნაში აღნიშნულია, რომ ა. როსის მიერ წარმოდგენილი დანადგარის 32-დღიანმა გამოცდამ დაადასტურა, რომ იგი ნამდვილად გამოყოფს სითბოს უცნობი რეაქციის შედეგად, რომელიც ინიცირებულია ელექტროგასტრებით. დანადგარი კონტროლს ექვემდებარებოდა და მუშაობდა სტაბილურად. გამოკვლევის მიზანი არ იყო მაქსიმალურად შესაძლებელი მუშაობის რესურსის დადგენა. მიუხედავად ამისა, გასაგებია, რომ 32-დღიანმა მუშაობამ, რომლის შედეგადაც მიღებულ იქნა 1,6 მეგგტ.სთ სითბური ენერგია, ვერ ამოწურა წარმოდგენილი დანადგარის პოტენციალი. მასისა და მოცულობის ერთეულზე გამომუშავებული ენერგიის შეფასებამ ცხადყო გამოკვლეული დანადგარის მეტად მნიშვნელოვანი უპირატესობა ენერგიის ამჟამად არსებულ ყველა გარდამქმნელთან შედარებით.

ა. როსის გენერატორის 32-დღიანი მუშაობის შემდეგ საწვავში არსებული ლითიუმისა და ნიკელის იზოტოპური ანალიზით გამომუდავნდა მნიშვნელოვანი ცვლილებები, რაც იმაზე მეტყველებს, რომ რეგისტრირებული ანომალიურად დიდი ენერგოგამოფიზიკული ბირთვულ დონეზე ცვლილებებთან. მაგრამ ასეთ ცვლილებებს, არსებული მეცნიერული წარმოდგენის მიხედვით, აუცილებლად თან უნდა ახლდეს მაიონიზებელი გამოსხივება, რომლის კვალიც არ აღმოჩენილა (ავტორები ვერ ხსნიან ამას).

ნ. კუკისა და ა. როსის სტატიაში [13] მოცემულია პროცესის ფიზიკური მოდელი, რომლის არსიც ისაა, რომ ხდება ლითიუმის იზოტოპის  $^7\text{Li}$ -ის მიერ პროტონის ჩაჭერა (ანუ ბერილიუმის  $^8\text{Be}$  სინთეზი), რასაც მოხდევს სინთეზირებული ბერილიუმის შემდგომი დაშლა მაღალი კინეტიკური ენერგიის მქონე ორ ალფა ნაწილაკად (გამა რადიაციის გარეშე). მაგრამ ასეთი პროცესის რეალიზაცია არსებითად დაბრკოლებული უნდა იყოს პროტონის მიერ კულონის ბარიერის გადალახვის აუცილებლობის გამო.

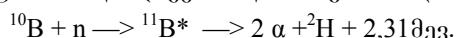
საწვავის შედგენილობისა და რეაქტორის გარეგნული იერის შესახებ ბევრი რამ ვიცით, მაგრამ რეაქტორის შიგა მოწყობილობის შესახებ არაფერია ცნობილი და იგი ავტორის საიდუმლოებაა.

როგორც საწყისი საწვავის ანალიზმა ცხადყო, იგი ძირითადად შეიცავს რამდენიმე მიკრონის ზომის გრანულებისაგან შემდგარ  $\text{Ni}$ -ის ფხვნილს, რომელსაც ბუნებრივი იზოტოპური შედგენილობა აქვს. ნიკელის გარდა, საწვავში აღმოჩნდა  $\text{Li}$ ,  $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$  და  $\text{H}$ -ის მინარევები. ანალიზმა ასევე აჩვენა, რომ  $\text{Li}$ -ის და  $\text{Al}$ -ის შეფარდება შეესაბამება ლითიუმის ალუმინიდრიდის  $\text{Li}[\text{AlH}_4]$  მოლეკულას.

დღეისათვის მთელ რიგ ლაბორატორიებში მიმდინარეობს კვლევები, სადაც თბოგენერატორებში საწვავად გამოყენებულია ნიკელის ( $\text{Ni}$ ) ფხვნილი (დაახლოებით 1 გ), რომელიც შერეულია ლითიუმის ალუმინიდრიდის ( $\text{LiAlH}_4$ ) ფხვნილთან (დაახლოებით 0,1 გ).

საინტერესო ა. პარხომოვის მიერ შექმნილი ანალოგიური დანადგარი [14]. რა თქმა უნდა, ჯერჯერობით არადამატაყოფილებებია ამ დანადგარების მუშაობის თეორიული ახსნა, მაგრამ ასეთი ბრწყინვალე ექსპერიმენტული შედეგებისა და მათი შესაძლო პრაქტიკული გამოყენებების უგულებელყოფა არ შეიძლება და საჭიროა გაგრძელდეს კვლევები იმისათვის, რომ მივიღოთ ასეთი მოწყობილობების შესახებ დეტალური ცოდნა.

2015 წელს პროფესორ მერაბ ჯიბლაძის, გურამ დგებუაძის და სხვა კოლეგების მიერ დაბალენერგეტიკული ბირთვული რეაქციების შესახვადად ჩატარდა ათეულობით ექსპერიმენტი  $\text{Li-Cd}$ ,  $\text{Li-Cd-B}$ ,  $\text{Li-B}$  მასალებზე. ნაშრომებში [15–17] განმარტებული იყო, რომ ბირთვული სინთეზის დაბალენერგეტიკული რეაქციების ხარჯზე სითბოს გამოყოფა განპირობებულია ბირთვების მიერ ნეიტრონების ჩაჭერით, რაც ეგზოთერმულ ბირთვულ რეაქციას წარმოადგენს. ასევე ცნობილია ბორის ბირთვის გაყოფის ბირთვული რეაქცია ა-ნაწილაკების წარმოქმნით და 2,31 მევ ენერგიის გამოყოფით:



ეს ბირთვული რეაქცია ორი ეტაპისგან შედგება: პირველ ეტაპზე ხდება ბორის აგზნებული იზოტოპის  $^{11}\text{B}^*$  სინთეზი, რომელიც შემდეგ იშლება ორ ა ნაწილაკად. როგორც ბორის აღგზებული იზოტოპის  $^{11}\text{B}^*$  სინთეზი, ისე მისი დაშლა ეგზოთერმული რეაქციებია სითბური ენერგიის გამოყოფით.

იმავე ნაშრომებში [15–17] აღნიშნული იყო, რომ ციფი ბირთვული სინთეზის (ცბს) განსახორციელებლად ნეიტრონების აქცეპტორებად კადმიუმის გამოყენება გაცილებით უფრო ეფექტურია, ვიდრე ნიკელისა. ამ მოსახრებიდან გამომდინარე, ექსპერიმენტები ტარდებოდა პარალელურად ორ სხვადასხვა ნარევზე:  $^7\text{Li-Cd-10B}$ -ზე [17–23, 25].

მე-4 ნახ-ზე წარმოდგენილია ექსპერიმენტული სტენდის ძირითადი ელემენტები: ტიტანის რეაქტორი (ა) და რეაქტორი გამხურებელთან ერთად მუშაობის პროცესში (ბ).



**ნახ. 4. ექსპერიმენტული სტენდის ძირითადი ელემენტები: ტიტანის რეაქტორი (ა), რეაქტორი გამხურებელთან ერთად (ბ)**

ტიტანისაგან დამზადებულ რეაქტორში მოთავსებული იყო ლითიუმის, კადმიუმისა და ბორის ნარევი. რეაქტორი ხურდებოდა ელექტროგამხურებლის საშუალებით და მთელი სისტემა სითბურად იზოლირებული იყო გარემოსგან. გამხურებელს მიეწოდებოდა მუდმივი დენი, რეაქტორის ტემპერატურა იზომებოდა თერმოწყვილის საშუალებით. რეაქტორიდან გამოდიოდა ჰელიუმის გამოსაყვანი მილაკი, საიდანაც გამოსული ჰელიუმი ბერავდა მილაკზე წამოცმულ და წყლიან ჭურჭელში მოთავსებულ ბუშტს. ბუშტის გაბერვისას ჭურჭლიდან გადმოსული წყლის მოცულობაც პერიოდულად იზომებოდა. ადსანიშნავია, რომ ექსპერიმენტის დროს არ აღინიშნებოდა  $\gamma$ -გამოსხივების ფონის გაზრდა.

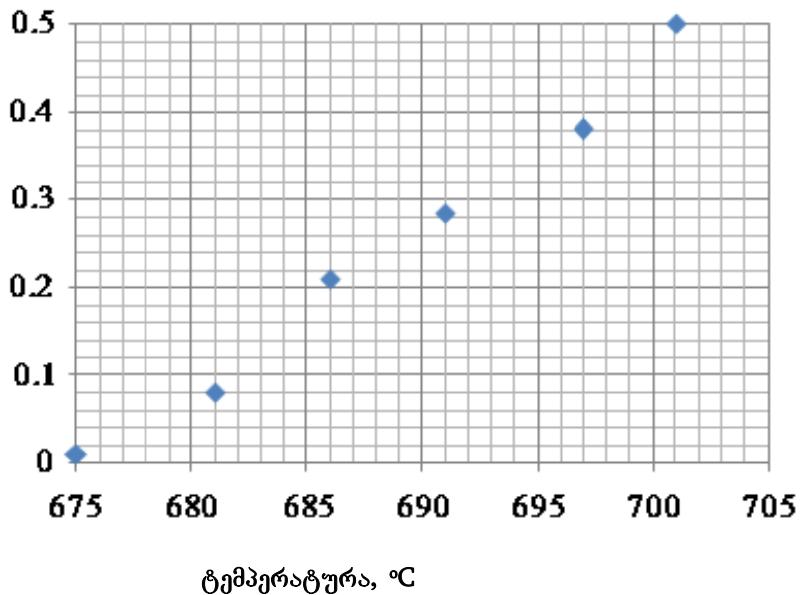
უნდა ველიდოთ, რომ ყველა ა-ნაწილაკი არ ჩაიჭერს ელექტრონს და არ გადაიქცევა ჰელიუმის ატომად, ბევრი მათგანი შთაინთქმება კადმიუმის ან ტიტანის ბირთვების მიერ და წარმოადგენს ენერგიის წყაროს. განსაკუთრებით უნდა აღინიშნოს, რომ  $180,5^{\circ}\text{C}$ -სა და უფრო მაღალ ტემპერატურაზე  $^{7}\text{Li}$  თხევად ფაზაში იმყოფება, ხოლო კადმიუმის ლილის ტემპერატურაა  $321^{\circ}\text{C}$ . ამით უზრუნველყოფილია  $^{7}\text{Li-Cd-}^{10}\text{B}$  ნარევის ჰომოგენურობა რეაქტორის სამუშაო ტემპერატურაზე.

რეაქტორის გახურებისას შეინიშნებოდა ჰელიუმის თანდათანობით გამოყოფა, რაც მოწმობს ბორის იზოტოპის ( $^{11}\text{B}$ ) დაშლის რეაქციას. ვინაიდან გამოყოფილი ჰელიუმის მოცულობის ცვლილების სიჩქარე  $\Delta V/\Delta t$  პროპორციულია ბორის დაშლის რეაქციის სიჩქარისა, გამოყოფილი ჰელიუმის მოცულობის ცვლილების სიჩქარის ტემპერატურული დამოკიდებულება მიუთითებს ბორის იზოტოპის დაშლის რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურულ დამოკიდებულებაზე.

მე-5 ნახ-ზე წარმოდგენილია ჰელიუმის გამოყოფის სიჩქარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე. ეს დამოკიდებულება კი უნდა ასახავდეს ტემპერატურაზე ბორის დაშლის რეაქციის სიჩქარის დამოკიდებულებასაც.

უნდა აღინიშნოს, რომ ექსპერიმენტის მსვლელობისას გამოყოფილ იქნა  $250$  მლ ჰელიუმი, ხოლო ბირთვული ნივთიერების მოცულობა რეაქტორში შეადგენდა  $20,3 \text{ l}\text{m}^3$ -ს.

## $\Delta V/\Delta t$ , მლ / წმ



ნახ. 5. პელიუმის გამოყოფის სიჩქარის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

ბორის დაშლის სიჩქარის ზუსტი განსაზღვრა შეუძლებელია. მიუხედავად ამისა, მე-5 ნახ-ზე მოყვანილი მრუდის სვლა მიუთითებს ბორის დაშლის ბირთვული რეაქციის სიჩქარის ტემპერატურულ დამოკიდებულებაზე. ეს ბორის დაშლის რეაქციის სიჩქარის სიდიდის დაახლოებითი შეფასების საშუალებას იძლევა ტემპერატურათა 670–700 °C-ის უბანში. თუ დავუშვებთ, რომ ა-ნაწილაკების 10 % ელექტრონების ჩაჭერის შედეგად პელიუმად გადაიქცევა და დატოვებს რეაქტორის მოცულობას, ხოლო, თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ 1 სმ<sup>3</sup> პელიუმი შეიცავს  $2,7 \cdot 10^{19}$  ატომს, მაშინ 1 წმ-ში დაშლილი ბორის ატომების რიცხვი დაახლოებით  $10^{20}$  რიგის იქნება.

განსაკუთრებით აღსანიშნავია, ბორის დაშლის ბირთვული რეაქციის სიჩქარის სწრაფი ცვლილება. სულ რაღაც  $20^{\circ}$ -იან ( $680$ – $700$  °C) ტემპერატურულ შუალედში ბირთვული რეაქციის სიჩქარე ერთი რიგით იზრდება.

ცივი ბირთვული სინთეზის უზარმაზარი უპირატექსობა თერმობირთვულ სინთეზთან შედარებით იმით გამოიხატება, რომ ცივი ბირთვული სინთეზის (ცბს) მართვა შესაძლებელია გარედან მიწოდებული სითბური ენერგიის ცვლილების საშუალებით. მიუხედავად იმისა, რომ ცბს-ის დროს ენერგიის გამოტანა ნელა ხდება,  $\gamma$ -რადიაციის სრული არარსებობის გამო ბორის მონაწილეობით მიმდინარე ბირთვული რეაქცია სინთეზის სავსებით უსაფრთხო რეაქციას წარმოადგენს და იგი ასევე უსაფრთხოა არამართვად რეჟიმში გადასვლის რისკის თვალსაზრისითაც. თუკი ურანის დაშლის ატომურ რეაქტორებში ჯაჭვური რეაქციის სიჩქარე იმართება კადმიუმის შთამნთქმელის საშუალებით ნეიტრონების რიცხვის ცვლილებით, მოცემულ რეაქტორში ცბს-ის ნეიტრონების რიცხვის მართვა ხდება რეაქტორისათვის მიწოდებული სითბოს რაოდენობის რეგულირებით.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბირთვის წვეთოვანი მოდელი უდიდეს სირთულეებს აწყდება ცბს-ის ექსპერიმენტული შედეგების ასენის დროს. ჯერ ერთი, ბირთვის სინთეზის ბირთვული რეაქციებისათვის საჭიროა, რომ ატომები ერთმანეთთან შეხებაში იყოს, რისთვისაც საჭიროა მათი სრული იონიზება. მეორეც, ურთიერთმოქმედ ბირთვებს უნდა პქონდეს უზარმაზარი კინეტიკური ენერგიები იმისათვის, რომ გადაილახოს დადებითად დამუხტულ ბირთვებს შორის განზიდვის კულონური ძალები. სწორედ ამით არის გამოწვეული ბირთვული სინთეზის განხორციელებისათვის ზემადალი ტემპერატურებისა და უზარმაზარი წნევების არსებობის აუცილებლობა (ზემოაღნიშნული მოდელის მიხედვით).

ატომბირთვის აგებულების წევთოვანი მოდელის თანახმად, ბირთვების სინთეზის დროს სითბოს გამოყოფა აიხსნება „მასის დეფექტის“ არსებობით. მართლაც, ჰელიუმის ატომის ყოველი ბირთვის სინთეზისას გაზომილი მასის დეფექტი შეადგენს  $0,03022$  მ.ა.ჭ-ს, რაც შეესაბამება  $10^{-12}$  კალ რიგის ენერგიის სიდიდეს. მაგრამ მასის დეფექტი ბირთვული რეაქციების შედეგია და არა მიზეზი. ბირთვების სინთეზისას ენერგიის გამოყოფა მ. ჯიბლაძის მიერ ასენილია ატომბირთვის კრისტალური აგებულების მოდელით [15,18–23].

ზემოაღნიშნული ნაშრომების მიხედვით, ნუკლონების აგებულების კვარკული მოდელის თანახმად, წარმოიქმნება ზეძლიერი, მაგრამ მოკლე მანძილებზე მოქმედი ბირთვული ძალები, რომლებიც განპირობებულია ნუკლონებს შორის ელექტროდიპოლური ურთიერთქმედებით. ელექტროდიპოლური ურთიერთქმედების ეს ძალები მკვეთრად მცირდება ნუკლონებს შორის მანძილის გაზრდასთან ერთად და ისინი ძლიერ წააგავს ბირთვული მიზიდულობის ძალებს.

როგორც უკვე აღინიშნა, პროტონისა და ნეიტრონის ერთმანეთთან მიახლოებისას ნუკლონებს შორის მიზიდულობის ძალა ასრულებს სამუშაოს, რომელიც ცალკეულ ნუკლონებს ანიჭებს დამატებით კინეტიკურ და რხევით ენერგიას. მაშასადამე, პროტონის ნეიტრონთან შეერთებისას წარმოიქმნება დეიტერიუმის ბირთვი, ხოლო ნუკლონურ სისტემაში – პროტონი-ნეიტრონი – დამატებითი ენერგია. როგორც ვხედავთ, ეს რეაქცია ეგზოთერმულია და ხდება ტემპერატურული ზღურბლის გარეშე [15–23].

უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ბირთვის მიერ ნეიტრონის მიერთების ეგზოთერმული რეაქციისაგან განსხვავებით, რასაც ატომის ახალ იზოტოპთან მივყავართ, ბირთვის მიერ პროტონის მიერთების ბირთვული რეაქცია მიმდინარეობს ენერგიის შთანთქმით (ენდოთერმული რეაქცია), რაც გამოწვეულია პოტენციური ბარიერის გადალახვის საჭიროებით. ეს არის ენერგიის მიხედვით ზღურბლური რეაქცია და დაკავშირებულია ახალი ქიმიური ელემენტის სინთეზთან [16, 21, 23].

მაშასადამე, ცბს-ის ექსპერიმენტული შედეგების ასენისას გათვალისწინებული უნდა იქნეს [16, 19–23] ნაშრომებში მიღებული შედეგები:

1. ბირთვის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერა წარმოადგენს ეგზოთერმულ უზღურბლო რეაქციას იმავე ქიმიური ელემენტის უფრო მძიმე იზოტოპის მიღებით, რასაც თან სდევს სითბოს გამოყოფა;

2. ბირთვის მიერ პროტონის ჩაჭერა ენდოთერმული ზღურბლური რეაქციაა პოტენციური ბარიერის გადალახვისათვის საჭირო ენერგიის შთანთქმით და ახალი ქიმიური ელემენტის წარმოქმნით.

აქვდან გამომდინარე, ექსპერიმენტებში [2, 3] მიღებული სინთეზის ბირთვულ რეაქციებში სითბოს გამოყოფის ძირითადი მიზეზია პალადიუმის ელექტროდის ბირთვების მიერ ნეიტრონის ჩაჭერა [15].

აღმოჩნდა, რომ ცბს-ის განხორციელებისათვის მეტად საინტერესოა ბუნებაში ფართოდ გავრცელებული ლითიუმის იზოტოპი ( $^7\text{Li}$ ) ნიკელის (Ni) იზოტოპებთან ერთად. მნიშვნელოვანია, რომ ნეიტრონის ნიკელთან რეაქციის შედეგად ლითიუმისა და  $^{7}\text{Li}$  ფალბადის (როგორც ნეიტრონების წყაროს) თანამყოფობისას აღმოჩენილ იქნა რეანისა და სპილენის ბირთვების განსაზღვრული რაოდენობა. ეს გულისხმობს ბირთვულ სინთეზს ნიკელის (Ni) ბირთვის მიერ პროტონის მიერთებით, როდესაც ხდება სპილენის (Cu) წარმოქმნა ნიკელის ბირთვის დაშლით (მაგალითად, ადაშლით) და რეანის (Fe) ბირთვების წარმოქმნით.

მაშასადამე, ცვივი ბირთვული რეაქციების დროს შეიძლება დაფიქსირდეს როგორც ნეიტრონების ჩაჭერის ეგზოთერმული რეაქციები, ისე ენდოთერმული რეაქციები პროტონის ჩაჭერით და ახალი ქიმიური ელემენტების ბირთვების წარმოქმნით.

ლითიუმის ბირთვში ნეიტრონის ჩაჭერისას აღინიშნება ბირთვთან ნეიტრონის ურთიერთქმედების განივევთის სიდიდეების მკვეთრი განსხვავება [15]. ჩაჭერის დიდი კვეთით გამოირჩევა  $^{7}\text{Li}$  იზოტოპის ბირთვი. იგი შეადგენს 950 ბარნს, მაშინ როცა ნეიტრონის  $^{7}\text{Li}$  იზოტოპის ბირთვთან ურთიერთქმედების კვეთი მხოლოდ 0,033 ბარნია. როგორც ვხედავთ,  $^{7}\text{Li}$  იზოტოპი პრაქტიკულად

გამჭვირვალეა ნეიტრონების ნაკადისათვის, ხოლო უფრო მსუბუქი იზოტოპი  $^6\text{Li}$  ნეიტრონების კარგ შთამთქმელს წარმოადგენს. ამის ახენა შესაძლებელია ლითოუმის იზოტოპების კრისტალური აგებულებით [18–21].

ლითოუმის იზოტოპების ბირთვების აგებულებიდან ჩანს, რომ  $^7\text{Li}$ -ის ბირთვთან დამატებითი ნეიტრონის მიერთება განხელებულია.  $^6\text{Li}$ -ის იზოტოპის ბირთვი შედგება ა-ნატილაკისა და დეიტ-რიუმისგან, ხოლო  $^7\text{Li}$ -ის ბირთვი – ა-ნატილაკისა და ტრიტიუმისგან. ნეიტრონის ჩაჭერისას დეიტ-ტერიუმი (ლითოუმის ბირთვში) გარდაიქმნება ტრიტიუმად, მაგრამ  $^7\text{Li}$ -ის ბირთვის მიერ დამატებითი ნეიტრონის ჩაჭერა მას გარდაქმნის არასტაბილურ იზოტოპად –  $^8\text{Li}$ -ად. ეს განსაზღვრავს  $^7\text{Li}$ -ის იზოტოპის გამჭვირვალობას ნეიტრონების ნაკადის მიმართ და მის ფართო გავრცელების ბუნებაში. ატომბირთვის აგებულების კრისტალური მოდელის თანახმად, ნიკელის იზოტოპების ბირთვი შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს კრისტალით, რომელიც შედგება ნახშირბადის ოთხი ბირთვისგან, რომლებიც ისეა შეერთებული, რომ შეაში ვდებულობთ ქანგბადის კრისტალს.

ბუნებაში ყველაზე გავრცელებულია  $^{58}\text{Ni}$  იზოტოპი (68,1 %), მას მოსდევს იზოტოპები  $^{60}\text{Ni}$  (26,2 %),  $^{62}\text{Ni}$  (3,6 %) და  $^{64}\text{Ni}$  (1,8 %), მაგრამ სხვა დანარჩენი იზოტოპები არასტაბილურია. როგორც ვხედავთ, ნიკელის იზოტოპების ბირთვები სხვა ატომბირთვებიდან გამოშვებული ნეიტრონების კარგ მიმღებებს წარმოადგენს.

ცბე-ის ექსპერიმენტებში ნარევების შედგენილობის სინთეზზამდე და სინთეზის შემდეგ ანალიზის შედეგებით დგინდება, რომ სინთეზის რეაქციის შედეგად  $^6\text{Li}$ -ის იზოტოპის რაოდენობა დაახლოებით  $11\text{-ჯერ}$  იზრდება, ხოლო  $^7\text{Li}$ -ის იზოტოპის რაოდენობა ამდენჯერვე მცირდება, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ რეაქციის მიმდინარეობისას  $^7\text{Li}$  კარგავს ნეიტრონს და გადაიქცევა  $^6\text{Li}$ -ად. ნეიტრონს ჩაიქრეს ნიკელის ( $^{58}\text{Ni}$  და  $^{60}\text{Ni}$ ) იონები და გადაიქცევა ნიკელის იზოტოპად  $^{62}\text{Ni}$ . ამ გარდაქმნისათვის საჭიროა, რომ  $^{58}\text{Ni}$ -ის იზოტოპმა მიიერთოს 4 ნეიტრონი, ხოლო  $^{60}\text{Ni}$ -ის იზოტოპმა – 2 ნეიტრონი. ზემოაღნიშნულის თანახმად, ბირთვთან ნეიტრონის მიერთება ეგზოთერმული რეაქცია სითბოს გამოყოფით და ამ რეაქციას ზღურბლი არ გააჩნია. აქედან გამომდინარე, ასეთი რეაქციები მიმდინარეობს გაცილებით უფრო დაბალი ტემპერატურების პირობებში, ვიდრე თერმობირთვული რეაქციები. მიუხედავად ამისა, ამ რეაქციების შედეგად შესაძლებელია საკმაოდ მაღალი სითბური სიმძლავრის მიღება.

სინთეზის ბირთვული რეაქცია მიმდინარეობს ნარევის წინასწარი გახურებით. ექსპერიმენტის მსვლელობისას აღმოჩენილი იყო დახარჯულ ენერგიაზე  $3,5\text{-ჯერ}$  მეტი სითბოს გამოყოფა  $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$  რეაქციის ტემპერატურის დროს. 1 გ საწვავის და 900 ვტ მიწოდებული სითბური ენერგიის პირობებში ბირთვული სინთეზის შედეგად გამომუშავდება დაახლოებით 3,2 კვტ სითბური სიმძლავრე [9–11].

აღსანიშნავია, რომ ექსპერიმენტი არ შეიმჩნეოდა  $\gamma$ -გამოსხივების ფონის გაზრდა, რაც ნიკელის ბირთვების მიერ დაბალენერგეტიკული ნეიტრონების ჩაჭერაზე მიუთითებს.

ატომბირთვის კრისტალური აგებულების მოდელის თანახმად [15, 20–23], ნეიტრონების შთანთქმისათვის განსაკუთრებით ეფექტური შეიძლება იყოს კადმიუმის ბირთვი. კადმიუმის ბირთვი  $^{48}\text{Cd}$  შედგება  $^{24}\text{Ni}$ -ის ორი ბირთვისაგან, რომლებიც დაკავშირებულია ერთმანეთთან ნეიტრონული ბმით. კადმიუმის ბირთვების მიერ ნეიტრონების ჩაჭერის კვეთი აღწევს 2000 ბარს, რაც თითქმის 400-ჯერ აღემატება ნიკელის მიერ ნეიტრონების ჩაჭერის კვეთს. ეს მიუთითებს კადმიუმის გამოყენების დიდ ეფექტურობაზე ნეიტრონების ჩასაჭერად.

კადმიუმის ლლობის ტემპერატურა  $321\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ის ტოლია, ხოლო ლითოუმისა –  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ის. მაშასადამე, რეაქტორის მუშა ტემპერატურის პირობებში ნარევი ლითოუმ-კადმიუმი თხევად მდგომარეობაში იქნება.

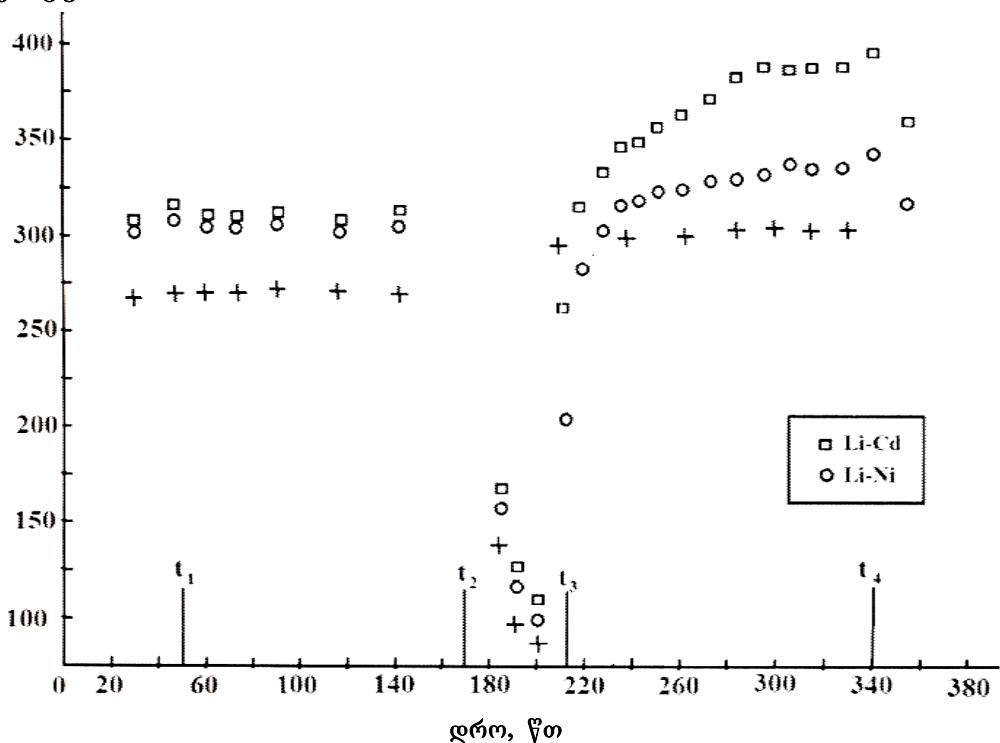
ნაშრომში [17] ჩატარებული იყო პარალელური ექსპერიმენტები  $\text{Li-Ni}$ -ისა და  $\text{Li-Cd}$ -ის ნარევებზე გარედან გახურებით. ექსპერიმენტული დანადგარის სქემა საკმაოდ მარტივია.

რეაქტორის თითოეული უჯრედი წარმოადგენს 120 მმ სიგრძის, 12 მმ გარე დიამეტრისა და 6 მმ შიგა დიამეტრის მქონე კერამიკულ მილისებრ ელემენტს. მათი მოცულობის 2/3 შევსებულია ნარევებით Li-Ni და Li-Cd. უჯრედები მოთავსებულია გამხურებლის ზედაპირზე, სადაც ტემპერატურა სტაბილიზებულია. კერამიკული უჯრედებისა და გამხურებლის ზედაპირის ტემპერატურა იზომებოდა ტემპერატურის ლაზერული საზომით. ექსპერიმენტები ტარდებოდა ისეთ პირობებში, როცა გამხურებლის ტემპერატურები შეადგენდა 265 და 350 °C-ს.

მე-6 ნახ-ზე მოცემულია დროის მიხედვით ტემპერატურათა ცვლილება Li-Ni და Li-Cd ნარევის შემცველ რეაქტორებში. უჯრედების გახურებისას 50 წთ-ის ( $t_1$ ) შემდეგ მოხდა Li-Cd-ის შემცველი კერამიკული უჯრედის გასკდომა და მისგან გარკვეული რაოდენობის ნარევის გამოდინება. უჯრედის გასკდომა გამოიწვია ლითიუმისა და კადმიუმის ორთქლის წნევის მკვეთრმა მომატებამ.

ექსპერიმენტის მთელი მსვლელობის განმავლობაში Li-Ni-ის შემცველი უჯრედი უცვლელი დარჩა. ექსპერიმენტის დაწყებიდან 170 წთ-ის ( $t_2$ ) შემდეგ გამორთულ იქნა გამხურებელი, რომელიც ისევ იყო ჩართული  $t_3=213$  წთ-ის და გამორთული  $t_4=340$  წთ-ის შემდეგ.

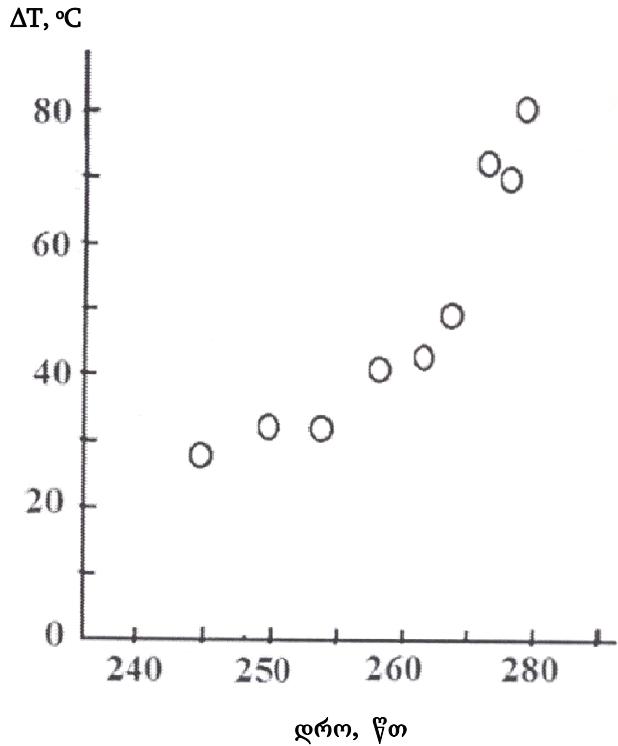
ტემპერატურა, °C



ნახ. 6. დროის მიხედვით ტემპერატურათა ცვლილება Li-Ni-ისა და Li-Cd-ის ნარევის შემცველ რეაქტორებში; □ – Li-Cd; O – Li-Ni; + – გამხურებლის ტემპერატურა, °C

ექსპერიმენტებმა ცხადყო სითბური ენერგიის გამოყოფის უფრო დიდი ეფექტურობა Li-Cd-ის ნარევში Li-Ni-ის ნარევთან შედარებით. მართლაც, ტემპერატურათა სხვაობა Li-Cd-ისა და Li-Ni-ის უჯრედებს შორის შეადგენს 5 °C-ს (260 °C-ზე გახურებისას) და იზრდება 80 °C-მდე (დაახლოებით 350 °C-ზე გახურებისას). აღსანიშნავია, რომ მოცემულ ექსპერიმენტში Li-Cd-ის ნარევის ტემპერატურა იზომებოდა გამსკდარი კერამიკული უჯრედიდან. ცხადია, რომ Li-Cd-ის ოხევადი ნარევიდან აორთქლება რამდენადმე ამცირებს ამ ნარევის ტემპერატურას. მიუხედავად ამისა, Li-Cd-ის ნარევში გამომუშავდება ბევრად უფრო მეტი დამატებითი სითბო, ვიდრე Li-Ni-ის ნარევში.

მე-7 ნახ-ზე მოცემულია Li-Cd-ისა და Li-Ni-ის ნარევებს შორის ტემპერატურათა სხვაობის დროზე დამოკიდებულება, როდესაც გამხურებლის ტემპერატურაა  $350^{\circ}\text{C}$ .



ნახ. 7. დროის მიხედვით ტემპერატურათა სხვაობა Li-Cd-ისა და Li-Ni-ის ნარევებს შორის  
(გამხურებლის ტემპერატურაა  $350^{\circ}\text{C}$ )

ექსპერიმენტის ძირითადი არსია Li-Cd-ის ნარევის უფრო დიდი ეფექტურობა Li-Ni-ის ნარევთან შედარებით, რაც აისხება კადმიუმის ბირთვებით ნეიტრონების შთანთქმის კვეთის უფრო დიდი მნიშვნელობით.

ზემოაღნიშნულის თანახმად, ბირთვის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერა ეგზოთერმული რეაქციაა, როდესაც ხდება სითბური ენერგიის გამოყოფა. აქედან გამომდინარე, თუ გახურებით შეიქმნება პირობები ბირთვებიდან (ნეიტრონების დონორებიდან) ნეიტრონების გამოთავისუფლებისა, ეს ნეიტრონები ჩაჭერილი იქნება ბირთვების (ნეიტრონების აქცეპტორების) მიერ და ყოველი ჩაჭერისას გამოიყოფა სითბური ენერგიის განსაზღვრული რაოდენობა.

განაკუთრებით აღსანიშნავია, რომ ცივი ბირთვები სინთეზისას ნეიტრონების ჩაჭერის მაღალი კვეთის გამო კადმიუმის ბირთვი ყველაზე უფრო პერსპექტიულია. ლითოუმისა და კადმიუმის ლიფების ტემპერატურების დაბალი მნიშვნელობები განაპირობებს რეაქტორის მუშაობას თხევადი ნარევის რეჟიმში, რაც ზრდის ბირთვების ურთიერთქმედების ეფექტურობას.

ნაშრომებში [11, 24] მითითებულია, რომ ლითოუმის ბირთვები ნეიტრონების გამოთავისუფლებას იწყებენ  $900^{\circ}\text{C}$ -ისა და უფრო მეტი ტემპერატურების დროს. ჩვენი მონაცემებით, სინთეზის რეაქციის შესამჩნევად საკმარისია დაახლოებით  $200^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურა. მაშასადამე, ეს ნეიტრონები უნდა იყოს დაბალენერგეტიკული. ე. ი. ლითოუმისაგან გამოთავისუფლებული ნეიტრონების უმფბელობა დაბალენერგეტიკულია და რეაქცია ძირითადად თხევად გარემოში მიმდინარეობს. უნდა ვივარაჟდოთ, რომ ბერილიუმისა და ლითოუმის ელექტრონები ხელს არ უშლის გარემოში ნეიტრონების მოძრაობას. აქ დაბალი ტემპერატურებისას მხოლოდ სითბური ნეიტრონებია და ისინი, რა თქმა უნდა, ხელი უნდა იყოს.

დაბალი ტემპერატურების გამო ცბს-ის რეაქცია ძალზე ნელა მიმდინარეობს და არ აღინიშნება რადიაციული ფონის მომატება. რეაქციის დაბალი სიჩქარე მიუთითებს ნეიტრონის ჩაჭერისას ბირთვთან მცირე ურთიერთქმედებაზე. ამას ხელს უწყობს თხევად, არაიონიზებულ გარემოში ბირთვებსა და ნეიტრონებს შორის დიდი მანძილები. მილიონი გრადუსი ტემპერატურის და უზარმაზარი ატმოსფერული წნევის პირობებში პლაზმა სრულად არის იონიზებული და ნუკლონები ერთმანეთის გვერდიგვერდა, რაც ურთიერთქმედებისას დიდ ეფექტურობას იწვევს. ასე რომ, ცივი რეაქციების დროს არ უნდა ველოდოთ რეაქციის მაღალ სიჩქარეებს, ხოლო თერმობირთვული რეაქციებისას რეაქციის სიჩქარეები მკვეთრად იზრდება რამდენიმე რიგით.

საინტერესოა, რომ ცბს-ის ექსპერიმენტებში ადმოჩენილ იქნა ნახშირბადისა და ჟანგბადის ატომები. ეს ძალზე მნიშვნელოვანი ფაქტია და საჭიროა მისი ზედმიწევნით შესწავლა, კინაიდან ისინი შეიძლება მივიღოთ ა-ნაწილაკების წარმოქმნისას <sup>8</sup>Be იზოტოპის მონაწილეობით. ყველა ეს რეაქცია ენდოთერმულია [16, 20–23].

გამოთავისუფლებული ნეიტრონი შეიძლება მიზიდულ და შთანთქმულ იქნეს ნიკელის, მაგნიუმის, ქრომის და სხვა აქცეპტორული ბირთვების შემადგენელი აზოტის, ნახშირბადისა და ჟანგბადის კრისტალების მიერ. ნიკელის, ქრომის და სხვათა კრისტალურ შედგენილობაში შემავალი ჟანგბადისა და აზოტის ბირთვების ოთხი პროტონის მიერ ნეიტრონული ელექტრული დიპოლის კულონური მიზიდულობით ნეიტრონის აჩქარების გამო შესაძლებელია 10 მევ-ზე მეტი სითბური ენერგიის მიღება.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ [15, 18], ერთმანეთისგან უნდა გარჩეულიყო ბირთვული რეაქციების ორი სახეობა. როგორც პროტონი უერთდება სხვა ბირთვს, აუცილებელია ენერგია კულონური განზიდვის გადასალახავად და ვიდებთ ახალი ელემენტის ბირთვს (ამ შემთხვევაში აღინიშნება ბირთვული რეაქციის ზღურბლი), მაგრამ ნეიტრონის ჩაჭერისას არ არსებობს კულონური განზიდვა და ამიტომ რეაქცია ზღურბლგარეშეა და მიიღება იმავე ქიმიური ელემენტის მძიმე იზოტოპი. ამით შეიძლება აიხსნას ცივი, ზღურბლგარეშე ბირთვული სინთეზი. ასეთი სინთეზის ალბათობა იზრდება ტემპერატურის ზრდასთან ერთად. როგორც ნეიტრონი უახლოვდება მის მიმღებ ბირთვს  $10^{-15}$  მ-ის მანძილზე, ჩაირთვება ბირთვული მიზიდულობის ძალა, რომელიც ანიჭებს ნეიტრონს კინეტიკურ ენერგიას, რაც შემდეგ სითბურ ენერგიად გარდაიქნება.

გარემოს ტემპერატურა ორ როლს ასრულებს.

1. იონიზებული პლაზმის შექმნით იოლია ნეიტრონის მისვლა მის მიმღებ ბირთვთან და სრულად იონიზებული პლაზმის პირობებში მკვეთრად იზრდება პლაზმის სიმკვრივე (მცირდება მანძილები) და ნეიტრონი უფრო სწრაფად პოულობს ბირთვს რეაქციისათვის;

2. ტემპერატურის გაზრდისას ლითიუმი და ბერილიუმი აჩქარებს ნეიტრონების გამოთავისუფლების პროცესს (ლითიუმისა და ბერილიუმის ბირთვებში იზრდება რხევითი მოძრაობის ენერგია).

გამოთავისუფლებული ნეიტრონები ცბს-ის საფუძველს წარმოადგენს. რეაქციები ნეიტრონების მონაწილეობით ეგზოთერმულია. ეს უზრუნველყოფს დაბალი ტემპერატურებისას ცივ ბირთვულ სინთეზს.

საინტერესოა ბირთვების სინთეზის რეაქციების პირობებისა და თერმობირთვული და ცივი ბირთვული რეაქციების პირობების ერთმანეთთან შედარება.

თერმობირთვული სინთეზის რეაქცია მიმდინარეობს სრულად იონიზებულ პლაზმაში ძალზე მაღალი ტემპერატურებისა და წნევების პირობებში, როცა ბირთვებს შორის საშუალო მანძილები  $10^{-15}$  მ რიგისაა. ამით აიხსნება ბირთვული რეაქციების დიდი სიჩქარე თერმობირთვული სინთეზის დროს (რაც ნივთიერების აფეთქების მიზეზი ხდება). ამისაგან განსხვავებით, ცბს-ის დროს აქტიურ გარემოშია აირი ან სითხე, რომელიც დაბალი ტემპერატურებისა და ნორმალური წნევებისას სასიათდება ატომების უმნიშვნელო სიმკვრივით. ამ შემთხვევაში ატომბირთვების შორის მანძილი  $10^{-8}$  მ რიგისაა. ცივი სინთეზისას მიმდინარეობს ბირთვული ნივთიერების ნელი წვა, რასაც ახლავს გარემოს თანდათანობითი გახურება.

ბირთვების ცივი სინთეზის დროს γ-გამოსხივება არ შეინიშნება, რაც იმაზე მიუთითებს, რომ თერმობირთვული რეაქციების მიმდინარეობისას ბირთვის ურთიერთქმედება პროტონებთან და ნეიტრონებთან ხორციელდება ნაწილაკების კინეტიკური ენერგიის მაღალი დონეებისას, როდესაც სინთეზი გამოირჩევა პროტონებისა და ნეიტრონების მკვეთრი დამუშარუსებით და სწორედ ნუკლონების მკვეთრმა დამუშარუსებით შეიძლება გამოიწვიოს γ-კვანტების გამოსხივება.

ცბე-ის დროს γ-გამოსხივების არარსებობისას დაბალი ტემპერატურების გათვალისწინებით ურთიერთმოქმედ ნაწილაკებს შორის არსებული უზარმაზარი მანძილები განაპირობებს ურთიერთმოქმედი ნაწილაკების დაბალ კინეტიკურ ენერგიებს და მათი დაჯახების დაბალ ალბათობას. ამასთან, გასათვალისწინებელია, რომ ბირთვის მიერ ნეიტრონის ჩაჭერის რეაქცია და იმავე ელემენტის უფრო მძიმე იზოტოპის მიღება ხდება ნუკლონის დიამეტრის რიგის მანძილებზე.

როგორც ვხედავთ, ბირთვული რეაქციები შეიძლება მიმდინარეობდეს ნებისმიერ ტემპერატურაზე, მაგრამ ტემპერატურის გაზრდისას მკვეთრად იზრდება მათი სიჩქარე და ეს პირველ რიგში უკავშირდება ატომების იონიზაციის ხარისხის ამაღლებას, რაც იწვევს ურთიერთმოქმედ ბირთვულ ნაწილაკებს (ნეიტრონებს, პროტონებს და ბირთვებს) შორის მანძილების შემცირებას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბირთვების სინთეზის დროს ბირთვული ძალების როლს ასრულებს ნეიტრონებსა და პროტონებს შორის არსებული კულონური მიზიდულობის ძალები, რომლებიც განპირობებულია პროტონის დადებითი მუხტის ზეგავლენით ნუკლონებში აღძრული ელექტრულ დიპოლებს შორის მიზიდულობით [15]. ეს ძალები მოქმედებს ძალიან მოკლე ( $10^{-15}$  მ) მანძილებზე.

განსაკუთრებით საყურადღებოა ის, რომ ცივი ბირთვული სინთეზისას ნეიტრონების ჩაჭერის მაღალი კვეთის გამო კადმიუმის ბირთვი ყველაზე უფრო პერსპექტიულია. ლითიუმისა და კადმიუმის ლდობის ტემპერატურების დაბალი მნიშვნელობები განაპირობებს რეაქტორის მუშაობას თხევადი ნარევის რეჟიმში, რაც ზრდის ბირთვების ურთიერთქმედების ეფექტურობას.

## დასკვნა

ამრიგად, ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან კარგად ჩანს, რომ ცივი ბირთვული სინთეზის, ანუ, როგორც ამჟამად უწოდებენ, დაბალენერგეტიკული ბირთვული რეაქციების (LERN) დანადგარების ფართოდ დანერგვის შემთხვევაში კაცობრიობა მიიღებს ძალიან იაფ, ეკოლოგიურად სუფთა, პრაქტიკულად ამოუწურავი ენერგიის კომპაქტურ წყაროებს. საჭირო აღარ იქნება ატომური ელექტროსადგურები და ეკოლოგიურად მავნე სადგურები, რომლებშიც ხდება ორგანული საწვავის წვა. პირადი და საზოგადო ტრანსპორტი მრავალ ათას კილომეტრს გაივლის საწვავის დამატებითი ჩატვირთვის გარეშე. ეკონომიკაში, პოლიტიკასა და სოციალურ ყოფაში ეს გამოიწვევს დიდ ცვლილებებს. ძირფესვიანად შეიცვლება ფინანსური ნაკადები, გაკოტრდება ქვეყნები, რომელთა კეთილდღეობა დაფუძნებულია ნახშირწყალბადების მოპოვებაზე.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Филимоненко И. С. Демонстрационная термоэмиссионная установка для ядерного синтеза // Мат. III научн. симп. «Перестройка Естествознания-92». Волгодонск, Россия, 17–19 апр., 1992.
2. M. Fleischmann, S. Pons, M. Hawkins. Electrochemically Induced Nuclear Fusion of Deuterium // Journal of Electroanalytical Chemistry. Vol.261, Is sue 2, Part 1, 1989, p.301-308.
3. S. E. Jones, E. P. Palmer, J. B. Griss et al. Observation of Cold Nuclear Fussion in Condensed Matter // Nature, Vol. 338, 1989, p. 737-740.
4. Царев В.А. Низкотемпературный ядерный синтез // УФН. Т. 160, Вып. 11, 1990.

5. [http://www.nysteknik.se/nyheter/energi\\_miljo/energi/article3284823.ece](http://www.nysteknik.se/nyheter/energi_miljo/energi/article3284823.ece).  
<http://nysteknik.se/incoming/article328>
6. <http://4.bp.blogspot.com>
7. «USeCatPatentApplication». <http://ecatnews.com/.../USeCatPatentApplication.pdf>
8. S. Focardi and A. Rossi. A new energy source from nuclear fusion// Journal of Nuclear Physics, March 22, 2010.
9. : [http://pesn.com/2011/10/28/9501940\\_1\\_MW\\_E-Cat\\_Test\\_Successful/](http://pesn.com/2011/10/28/9501940_1_MW_E-Cat_Test_Successful/)
10. G. Levi, E. Foschi, B. Hoistad, R.Pettersson, L.Tegn'er, H.Ess'en. Observation of Abundant Heat Production From a Reactor Device and of Isotopic Changes in the Fuel. <http://www.sifferkoll.se/sifferkoll/wpcontent/uploads/2014/10/LuganoReportSubmit.pdf>.
11. G. Levi et al. Indication of Anomalous Heat Energy Production in a Reactor Device Containing Hydrogen Loaded Nickel Powder. <http://arxiv.org/abs/1305.3913>.
12. Бажутов Ю. Н. Термогенератор Rossi и Фокарди и его теоретическая интерпретация// Изобретательство, 12(1):49–59, 2012.
13. N. D. Cook, A. Rossi. On the Nuclear Mechanisms Underlying the Heat Production by the "E/Cat"// Journal of Nuclear Physics.com, 04 Apr., 2015.
14. Пархомов А. Г. Исследование аналога высокотемпературного термогенератора Rossi// ЖФНН, 7 (3):68/72,2015.
15. Джиладзе М. И. Холодные ядерные реакции синтеза в кварковой модели нуклонов // Инженерная физика, № 4, 2015, с. 11-21.
16. Джиладзе М. И., Рухадзе А. А. Горение водорода и гелия при ядерных реакциях // Инженерная физика, № 3, 2015, с. 13-17.
17. Джиладзе М. И., Дгебуадзе Г. Н., Размадзе З. Г. Реакция холодного ядерного синтеза на ядрах Li–Cd // Инженерная физика, N10, 2015, с. 7-14.
18. Джиладзе М. И. Холодные ядерные реакции синтеза в кварковой модели нуклонов // Инженерная физика, № 5, 2015, с. 3-6.
19. Джиладзе М. И. Кристаллическое строение атомного ядра. «LAMBERT Academic Publ.», 2014.
20. Джиладзе М. И. Ядерные реакции. «LAMBERT Academic Publ.», 2015.
21. Джиладзе М. И., Кристаллическое строение атомных ядер // Инженерная физика, № 10, 2014, с. 3-15.
22. გ. ჯიბლაძე, თ. ბაციგაძე. ატომის ბინავის კლასტერული სტრუქტურები // მეცნიერება და ტექნიკური მეცნიერება, №1, 2014, გვ. 11-40.
23. Джиладзе М. И. Ядерная энергия при синтезе ядер // Инженерная физика, № 1, 2015, с. 13-17.
24. Focardi S. et al. Large excess heat production in Ni-H systems. Nuovo Cimento 111 A, №. 11, 1998, 1233.
25. Джиладзе М. И., Рухадзе А. А., Дгебуадзе Г. Н., Размадзе З.Г. Температурная зависимость скорости ядерной реакции в смеси литий-бор-кадмий // Инженерная физика. №3, 2016, с. 34-37.

**LOW-ENERGY NUCLEAR REACTIONS – FUTURE OF HEAT POWER ENGINEERING****†M. Jibladze, G. Dgebuadze, T. Batsikadze, B. Bendeliani, A. Mikaberidze, Z. Razmadze**

(Georgian Technical University, I. Vekua Institute of Physics and Technology, I. Javakhishvili Tbilisi State University)

**Resume:** There are considered experiments with excess heat energy emission in comparison to consumed energy and report of international experts' group observed Andrea Rossi's heat generator 32 daily operation with abundant heat production. Results of Georgian researcher's experiments on low-energy nuclear reactions (LENR) in the mixtures of Li-Cd, Li-Ni, Li-Cd-B are considered too. There is shown advantage of the Li-Cd mixture high efficiency in comparison with the Li-Ni. Cold nuclear fusion process is also considered in a mixture of Li-B-Cd and there is shown, that reactions of nuclear fusion and decay both are occurred in this mixture. The Dependence of the velocity of nuclear reactions on temperature is experimentally measured. Nuclear reactions are considered on the basis of crystal model of an atomic nucleus and quark structure of nucleons and there is shown that a source of excess thermal energy is the capture of neutrons by nuclei of cadmium and nickel with forming heavier isotopes of these elements.

**Key words:** crystal model of atomic nuclei; low-energy nuclear reactions; mixtures of Li-Cd, Li-Ni, Li-Cd-B; Rossi-Fokardi results.

**ФИЗИКА****НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ – БУДУЩЕЕ  
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ****†Джиладзе М. И., Дгебуадзе Г. Н., Бацикадзе Т. В., Бенделiani Б. Г.,****Микаберидзе А. А., Размадзе З. Г.**

(Грузинский технический университет, Физико-технический институт им. И. Векуа, Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили)

**Резюме.** Рассмотрены эксперименты с выделением избыточной тепловой энергии по сравнению с затраченной; дано изложение отчета международной группы экспертов, наблюдавших за 32-суточной работой высокотемпературного теплогенератора, разработанного Андреа Росси. Рассмотрены результаты экспериментов по низкоэнергетическим ядерным реакциям (НЭЯР) грузинских исследователей в смесях лития-кадмия (Li-Cd), лития-никеля (Li-Ni), лития-кадмия-бора (Li-Cd-B). Показана более высокая эффективность смеси Li-Cd по сравнению со смесью Li-Ni. Рассмотрен также процесс холодного ядерного синтеза (ХЯС) в смеси лития, бора и кадмия (Li–B–Cd). Показано, что в этой смеси происходит как ядерная реакция синтеза, так и распада. Экспериментально измерена зависимость скорости ядерных реакций от температуры. Ядерные реакции рассмотрены на основе кристаллической модели атомного ядра и кваркового строения нуклонов и показано, что источником тепловой энергии является захват нейтронов ядрами кадмия и никеля с образованием более тяжелых изотопов этих элементов.

**Ключевые слова:** кристаллическая модель атомного ядра; низкоэнергетические ядерные реакции; результаты А. Росси и С. Фокарди; смеси литий-кадмий; литий-никель, литий-кадмий-бор; холодный ядерный синтез.

## ვიზიტის სტაგლების მეთოდიკა

შედეგზე ორიენტირებული სტაგლება (პროფორიენტაცია) ვიზიტის  
ბაკვეთილზე

იამზე კალანდაძე, მანონ ჩხაიძე, ქეთევან ბარამიძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** თეორიული და ექსპერიმენტული ანალიზის საფუძველზე განხილულია ის გზები და საშუალებები, რომლებიც ხელს უწყობს და ეხმარება აღმზრდებლებსა და მასწავლებლებს მოზარდის აღზრდასა და ისეთი თვისებების ფორმირებაში, რომლებიც უზრუნველყოფს მოზარდის სწორი პროცესიული ორიენტაციის ჩამოყალიბებას და თანამედროვე მეთოდურ ცოდნათა სისტემის გაცნობას ფიზიკის სწავლების მიზნების, შინაარსისა და პროცესის შესახებ; გაკვეთილის დაგეგმვის, წარმართვისა და შეფასების უნარების შემენას ფიზიკაში სწავლა/სწავლების თანამედროვე მეთოდებსა და სტრატეგიებზე დაყრდნობით.

**საკანძო სიტყვები:** ბლუმის ტაქსონომია; გალვანოსტეგია; ვენის დიაგრამა.

### შესავალი

პროფორიენტაციის პრობლემა შინაარსით სოციალურია, შედეგებით – ეკონომიკური, ხოლო მასშიაბით სახელმწიფოებრივი მნიშვნელობისაა. ამის გამო მას სხვადასხვა კუთხით იკვლევენ. მაგალითად, მისი პედაგოგიური კვლევა ითვალისწინებს მოსწავლეთა პროცესის შერჩევისათვის სასწავლო-აღმზრდებლითი მუშაობის ამაღლების ეფექტური გზებისა და საშუალებების ძიებას. ამ კვლევისას გამოყოფენ ორ ძირითად ასპექტს: 1. მასწავლებლის შრომას, რომელიც მიმართულია პიროვნების პროცესის თვითგანსაზღვრისაკენ; 2. პროცესის არჩევისა და ათვისების მოსამზადებელ დონისძიებებში მოსწავლეთა აქტიურ ჩაბმას.

### ძირითადი ნაწილი

პრობლემის განხილვას მკვლევართა ერთი ნაწილი ისეთი ალგორითმის შექმნამდე მიჰყავს, რომელიც ასახავს: ა) პროფორიენტაციის მკვეთრად განსხვავებული ცალკეული ეტაპების თანმიმდევრობას; ბ) განსაზღვრავს პროფორიენტაციული მუშაობის შინაარსსა და რიგს, რომელიც აუცილებელია მოსწავლეთა პროცესის დასაბუთებული არჩევისათვის.

პროფორიენტაცია მიზნად ისახავს მოსწავლეებს შეუქმნას წარმოდგენა სხვადასხვა პროცესიაზე და აღმრას მათში ერთ-ერთი მათგანის დაუფლების ინტერესი, მისცეს გარკვეული პროცესიული მიმართულება. ყოველივე ეს, ძირითადად, პირველ ეტაპზე ხდება. მეორე ეტაპის ამოცანაა უფროსებლასებულების განუვითაროს მათი მიღრებილებების შესაბამისი ინტერესი. დასახული მიზნებისა და ამოცანების განსახორციელებლად საჭიროა ინტერაქტიული გაკვეთილების ჩატარება, რომელიც ხდება ბლუმის ტაქსონომიის გონიერივი იერიშის, ვენის დიაგრამის, საკლასო დისკუსიის მეთოდების გამოყენება.

ამჯერად განვიხილავთ საკითხს, თუ როგორ შეიძლება ფიზიკისა და ქიმიის მასწავლებელთა ერთობლივი მუშაობით დადებითი შედეგის მიღწევა. ამ სასწავლო დისციპლინებს ბევრი შეხების წერტილი აქვს, რაზეც სათანადოდ მიუთითებს სასწავლო პროგრამები. მაგალითად, ფიზიკის პროგრამაში თქმასთან „ელექტრული დენი სხვადასხვა გარემოში“ მითითებულია საკითხები ქიმიიდან: კოვალენტური კავშირი, მისი წარმოშობის მექანიზმი, ელექტროლიტები, ელექტროლიტური დისოცი-

აცია, ელექტროლიტური დისოციაციის მექანიზმი, მუვების, ტუტებისა და მარილების დისოციაცია, ელექტროლიზი. ამ საკითხების დასახელებულ თემასთან ორგანულ კავშირში განხილვა მოსწავლეთა პროფორიენტაციის ხელსაყრელ პირობებს ქმნის.

განხილული იქნება თემების: „ელექტროლიზი“ და „ელექტროლიზის პრაქტიკული გამოყენება“ სწავლების მეთოდიკის ზოგიერთი დეტალი. ფიზიკის სახელმძღვანელოში ეს ორი თემა ერთ პარაგრაფშია მოცემული და მათი გადაცემაც მეთოდურ ლიტერატურაში ერთ გაკვეთილად ერთიანდება, ქიმიაში კი იგი ორ გაკვეთილზეა განაწილებული. როგორც ფიზიკის, ასევე ქიმიის გაკვეთილებზე ერთ-ერთი საკვანძო საკითხია ელექტროლიზთა წყალსნარების მექანიზმის გარკვევა. ამ კვანძის გახსნას ვიწყებთ ელექტროლიზის მოვლენის ცდის დემონსტრირებით. ვიღებთ კალიუმიოდის ფხვნილს, ვხსნით წყალში, ვასხამთ U-სმაგვარ მილში, ელექტროლებს ვუერთებთ 12 ვ ძაბვის მუდმივი დენის წყაროს. იმ მხარეს, სადაც ელექტროლი დენის წყაროს დადებით პოლუსთან არის შეერთებული, ხსნარი იწყებს იოდისფრად შეფერვას. მოვლენა ისე მიმდინარეობს, თითქოს მხატვრის უხილავი ხელითა და ფუნჯით ელექტროლის ირგვლივ და მის ბოლოზე იოდისფერი ჩრდილები იხატებოდეს. რამდენიმე წუთის შემდეგ ელექტროლიზის ეს მხარე თანაბაზნის მუქდება, მეორე მხარე კი უფერულია. ვაწვეთებთ მასში ფენოფტალების ხსნარს და იგი ჟოლოსფერს იღებს. სურათი თავისი სილამაზითა და გამომწვევი საიდუმლოებით მოსწავლეთა უკრადდების აქტივიზაციას იწვევს და პრობლემურ სიტუაციას ქმნის. კლასი ისმენს მასწავლებლის ახსნა-განმარტებას აღწერილი მოვლენის შესახებ და სათანადო აცნობიერებს მას, რეაქციის მიმდინარეობას კი აფიქსირებს დაფაზე. მორიგი ცდით მასწავლებელი ხსნის გალვანოსტეგიის მოვლენას, ელექტროლიზის სახალხო მეურნეობაში გამოყენების მიზნით აჩვენებს ცილმს „ელექტროლიზი და მისი გამოყენება მრეწველობაში“. გადაცემული მასალის გაღრმავება მომდევნო გაკვეთილებზე მოხდება საწარმოო შინაარსის ამოცანების ამოხსნითა და ლაბორატორიულ პრაქტიკული სამუშაოების ჩატარებით, გაღვანურ საამქროში კომპლექსური ექსკურსიის მოწყობით.

ფიზიკასა და ქიმიას შორის კავშირებს სხვა თემების დამუშავების დროსაც ჰქვდებით. როგორც ჩატარებულმა გამოკვლევებმა ცხადყო, სასწავლო-აღმზრდელობით მუშაობაში დადებითი შედეგები მიიღწევა მაშინ, როცა ქიმიისა და ფიზიკის გაკვეთილებზე იდენტური თემების დამუშავებისას ცდებისა და საილუსტრაციო მასალების დუბლირება არ ხდება და ექსპერიმენტი და ილუსტრაციები ერთმანეთს ავსებს, აწონასწორებს; ამასთან, საგაკვეთილო თემის დამუშავებისას ამა თუ იმ მოვლენის დემონსტრირება ან ილუსტრირება ობიექტის (მოსწავლის) გაკვირვებას იწვევს, რაც მასში ფაქტის გამომწვევი მიზეზის გარკვევის სურვილს აღძრავს. მასწავლებლის მიერ მიწოდებულ ინფორმაციას ამ სურვილის დაკმაყოფილებასთან ერთად ობიექტისათვის პერსონალური დირექტულებაც აქვს, რადგან მასში მომავალი პროფესიის არჩევის ჩანასახს აჩენს. მისი შენარჩუნება და განვითარება შესაძლებელია ახალი ინფორმაციის მიღებითა და გაკვეთილებზე ლაბორატორიული და პრაქტიკული სამუშაოების შესრულებით. საწარმოო ექსკურსიებზე მიღებული დადებითი შთაბეჭდილებებით კი მოსწავლეებში ფიქსირდება პროფესიების დაუფლების ინტერესი.

ქიმიისა და ფიზიკის მასწავლებელთა ერთობლივი მუშაობის კიდევ ერთი საშუალებაა განმახილებელი სემინარების ჩატარება ფიზიკასა და ქიმიაში, რასაც გარდა იმისა, რომ გარკვეული სასწავლო-აღმზრდელობითი მნიშვნელობა აქვს, იგი მოსწავლეთა სწორი პროფორიენტაციის განხორციელების შესაძლებლობასაც იძლევა. ქიმიისა და ფიზიკის მასწავლებლებს კლასგარეშე მუშაობისას აქვთ ბევრი საერთო, რაც მოსამზადებელ ეტაპზე შემდეგი სახით ხორციელდება:

- საუბარი სხვადასხვა საქმიანობაზე;
- გაცნობითი ექსკურსია წარმოებაში;
- კინოფილმების ჩვენება ტექნიკის დარგებისა და პროფესიების შესახებ.
- კლასგარეშე მუშაობის ფორმირების ეტაპი კი ითვალისწინებს:
  - ფიზიკასა და ქიმიაში წრეობრივი მუშაობის ჩატარებას;
  - ფაკულტატიურ მეცანიერობას გამოყენებით ქიმიასა და ფიზიკაში;
  - სადამოებისა და კონფერენციების მოწყობას პროფორიენტაციულ თემატიკაზე;
  - თემატურ ექსკურსიას;
  - ტექნიკური გამოფენების დათვალიერებას;

- მოსწავლეთა ტექნიკური ნამუშევრების გამოფენას;
- ფიზიკისა და ქიმიის ოლიმპიადების ჩატარებას;
- რეფერაცის მომზადებას პროფესიის შესახებ.

კლასგარეშე მუშაობის ზემოაღნიშნული ფორმები ჩვენი რესპუბლიკის არაერთ სკოლაშია დანერგილი. ზოგიერთი მათგანი თვით ჩვენც გამოგვიცდია მუშაობის პროცესში. ჩამოთვლილთა შორის ყველაზე ეფექტური აღმოჩნდა ექსპურსიები. ვფიქრობთ, ეს იმიტომ მოხდა, რომ ახალგაზრდა ხედავს სიტყვისა და საქმის ერთიანობას და ამის გამო უფრო დამაჯერებელია პროფესიაზე მიღებული ინფორმაციები.

## **დასკვნა**

სასწავლო ექსპურსიების მოწყობას უდიდესი სასწავლო-აღმზრდელობითი მნიშვნელობა აქვს. იგი ხელს უწყობს მოსწავლეთა პროფესიის თვითგანსაზღვრას, ავითარებს მათში შრომისა და წარმატებული აღამიანებისადმი მიბაძვის უნარს, აღვივებს სამშობლოსადმი სიყვარულს.

ქიმიისა და ფიზიკის მასწავლებელთა მიერ ზემოთ აღწერილი მეთოდით მუშაობის წარმართვა მნიშვნელოვან წვლილს შეიტანს მოსწავლეთა პროფესიული ორიენტაციის გაუმჯობესების საქმეში.

## **ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА**

1. ა. გიგინებული და სხვ. ზოგადი ფიზიკის სასწავლო მეთოდიკის ზოგიერთი ასპექტები. თბ.: სტუ, 2009.
2. მ. ზარანდია. პროფესიული ორიენტაცია და პიროვნების ფორმირების ფსიქოლოგიური საკითხები. თსუ, 1990.
3. რ. ქანთარია, ლ. ჩიჩუა. მოსწავლის სახელმძღვანელო // ქლიო; მერიდიანი, 2012.
4. ეროვნული სასწავლო გეგმა (2011-2016).
5. Усова А. В. Психолого-дидактические основы формирования у учащихся научных понятий. Челябинск: ЧГПИ, 1986.
6. Усова А. В., Вологодская З. А. Самостоятельная работа учащихся по физике в средней школе. М.: Просвещение, 1981.
7. Шаповалов А. А. Конструктивно-проектировочная деятельность в структуре профессиональной подготовки учителя физики. Барнаул, 1999.

# **METHODS OF LEARNING PHYSICS**

## **RESULT-ORIENTED LEARNING (PROFESSIONAL ORIENTATION) AT THE PHYSICS LESSON**

**I. Kalandadze, M. Chkhaidze, K. Baramidze**

(Georgian Technical University)

**Resume:** There are shown the ways and facilities for support and help the tutors and teachers to create-form the skills in teenagers' personality, providing development of correct professional orientation of teenagers.

The paper deals with the acquaintance with the system of methodic knowledge concerning the aims, contents and process of physics teaching; acquisition of planning and leading lessons and assessment skills based on modern methods and strategies of learning/teaching physics.

**Key words:** galvanostegy; taxonomy of Blumme; Venny's diagram.

## **МЕТОДИКА ОБУЧЕНИЯ ФИЗИКИ**

## **ОБУЧЕНИЕ НА УРОКЕ ФИЗИКИ, ОРИЕНТИРОВАННОЕ НА РЕЗУЛЬТАТЫ (ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОРИЕНТАЦИЯ)**

**Каландадзе И. Г., Чхайдзе М. Г., Барамидзе К. К.**

(Грузинский технический университет)

**Резюме.** На основе теоретического и экспериментального анализов рассмотрены те пути и способы, которые помогают воспитателям и педагогам формированию в личности ученика тех свойств, которые обеспечивают профессиональную ориентацию, ознакомление с современной системой методических знаний, с целью обучения физики, содержания и процесса планирования уроков, приобретения способностей направления и оценки по физике, преподавания/обучения на основании современных методов и стратегий.

**Ключевые слова:** гальваностегия; диаграмма Венны; таксономия Блума.

**საქართველოს მყინვარების ცვლილების ებაზიური ფანდენციები პლიმატის  
თანამედროვე ცვლილების ფონზე\***

**ლარისა შენგელია, გიორგი კორძახია, გენადი თვალია, მურმან ძაბაშია**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის პიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი, ივ. ჯავახიშვილის  
სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის მ. ნოდიას გეოფიზიკის ინსტიტუტი, გარემოს  
ეროვნული სააგენტო)

**რეზიუმე:** განხილულია თანამგზავრული დისტანციური ზონდირებისა და GIS ტექნოლოგიების  
საფუძველზე გამოკვლეული კლიმატის რეგიონული ზემოქმედებით გამოწვეული საქართველოს მყინ-  
ვარების ცვლილების საკითხები. დადგენილია, რომ უკანასკნელი 50 წლის განმავლობაში  
აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების დაახლოებით 70 % მთლიანად ან ნაწილობრივ  
გადნა კლიმატის რეგიონული ზემოქმედების შედეგად. შესწავლილია დიდი მყინვარების უკან დაახ-  
ვის საკითხები. დადგენილია მცირე მყინვარების დაჩქარებული დნობა. განსაზღვრულია დიდი მყინ-  
ვარების უკან დაახვის სიჩქარის მნიშვნელობების საგრძნობი მარება. ეს შედეგები ნათლად მიუ-  
თოვებს მყინვართა დაჩქარებულ დეგრადაციაზე კლიმატის რეგიონული ცვლილების გამო.

**საკვანძო სიტყვები:** დნობა; თანამგზავრული დისტანციური ზონდირება; კლიმატის ცვლილება;  
მყინვარები; უკან დაახვა.

## შესავალი

მყინვარები კლიმატის ცვლილების ერთ-ერთი ყველაზე მკრძნობიარე და საიმედო მაჩვენებე-  
ლია. მყინვარები შეიძლება განხილული იყოს, როგორც მონაცემთა დია ბაზა, ბუნებრივი არქივი,  
რომელშიც დაცულია გარემოს წარსული და ასახულია მიმდინარე მდგომარეობა, რაც თანამედროვე  
კლიმატური სიტუაციისა და მისი დროში ევოლუციის შესწავლის საშუალებას იძლევა.

ამჟამად (ასევე სამომავლოდ) კლიმატის ცვლილების ზემოქმედების შესასწავლად დიდი მნი-  
შვნელობა ენიჭება მყინვარების სამეცნიერო კვლევას. მყინვარების კვლევა ასევე მნიშვნელოვანია  
კლიმატის ცვლილების ფონზე მყინვარებში აკუმულირებული მტკნარი წყლის მარაგის და ზედაპი-  
რული წყლების ბალანსის ცვლილების განსაზღვრისათვის და კატასტრო. ფული გლაციოლოგიური  
მოვლენების საშიშროების აღრეული გაფრთხილებისათვის.

მყინვარებზე დაკვირვება, როგორც წესი, ტრადიციულად მიწისპირა დაკვირვებებით მიმდინა-  
რებდა ერთ ან რამდენიმე მყინვარზე. მაღალი გარჩევადობის თანამგზავრული დისტანციური ზონ-  
დირების მონაცემების გამოყენებით კი შესაძლებელია საქართველოს ტერიტორიაზე არსებული ყვე-  
ლა მყინვარის გამოკვლევა დროის მცირე მონაკვეთში.

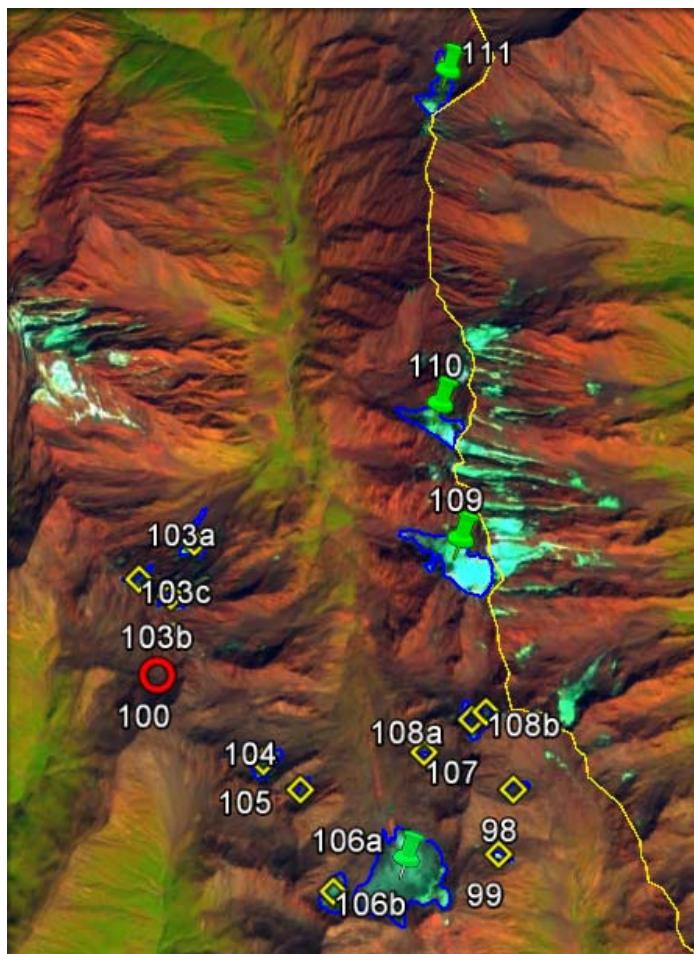
თანამგზავრული დისტანციური ზონდირება (თდზ) და GIS ტექნოლოგიები ხელმისაწვდომს  
ხდის გლაციოლოგიურ მახასიათებლებზე კომპლექსურ დაკვირვებებს [1-4], რაც ადრე მიწისპირა მე-  
თოდების გამოყენებით ძალიან როგორც ან თითქმის შეუძლებელი იყო. ასევე როგორი იყო მიწის-  
პირა დაკვირვებებით დიდი მყინვარების აღგილმდებარეობის ცვლილების გაზომვა.

\* პროექტი ხორციელდება შოთა რუსთაველის სახელობის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური  
ხელშეწყობით (გრანტი FR /586/9-110/13). წინამდებარე პუბლიკაციაში გამოთქმული ნებისმიერი აზრი ეკუთვნით  
ავტორებს და შესაძლებელია არ ასახავდეს შოთა რუსთაველის სახელობის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის  
შეხედულებებს.

## ძირითადი ნაწილი

გასული საუკუნის 60-იანი წლებიდან დღემდე აღმოსავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე დადგინდა ჰაერის ტემპერატურის მატება  $1^{\circ}\text{C}$ -მდე დიაპაზონში [5]. ტემპერატურული რეჟიმის მცირე ცვლილება, ანუ არსებულ ვითარებაში კლიმატური ნორმების მდგრადი ზრდა ძლიერ ზემოქმედებას ახდენს მყინვარებზე, ზოგადად კლიმატის გლობალური დათბობა ნებატიურად მოქმედებს მყინვარებზე, რაც განსაკუთრებით მცირე მყინვარების შემთხვევაში ვლინდება და ხშირად იწვევს ამ მყინვარების დანაწევრებას, თოვლნარად გადაქცევას ან სრულ დნობას. აქვე შევნიშნავთ, რომ მცირე მყინვარები ეს ის მყინვარებია, რომელთა ფართობი  $0.1 \text{ km}^2$ -დან  $0.5 \text{ km}^2$ -მდეა, ხოლო თოვლნარი შეიძლება იქნას მყინვარის დეგრადაციით მიღებული ნარჩენი და მისი ფართობი  $0.1 \text{ km}^2$ -ზე ნაკლებია [6].

თვალსაჩინოებისათვის განვიხილოთ თანამგზავრ Landsat-ით გადაღებული მდ. თერგის აუზში მდებარე რამდენიმე მყინვარის სურათი (ნახ. 1), რომელზეც ნაჩვენებია მცირე მყინვარები და მათი კონტურები. ეს კონტურები გავლებულია ზემოაღნიშნული ინვაციური ტექნოლოგიების საფუძველზე. ამ მყინვარების იდენტიფიცირებამ გამოავლინა, რომ ყოფილი საბჭოთა კავშირის კატალოგის მიხედვით, ისინი წარმოადგენენ № 98 – № 111 მყინვარებს [7]. სურათზე წრით აღნიშნულია გამქრალი მყინვარი, რომბით – თოვლნარად ქცეული მყინვარი და ქინძისთავით – მცირე მყინვარი.



ნახ. 1. მდ. თერგის აუზის მყინვარების (№ 98 – № 111) თანამგზავრული სურათი და კონტურები

ასევე შესწავლით იქნა აღმოსავლეთ საქართველოს ყველა მცირე მყინვარი (ცხრილი 1). ცხრილში მოყვანილია თდზ-ის და ყოფილი საბჭოთა კავშირის მყინვარების კატალოგის მონაცემები, რომლებიც გასული საუკუნის 60-იანი წლების მასალების საფუძველზეა შედგენილი.

**აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების რაოდენობა მყინვარების  
გატალოგისა და თღზ-ის მიხედვით**

სექტორის №	მცირე მყინვარების კატალოგის მიხედვით	თღზ-ის მონაცემებით იდენტიფიცირებული მცირე მყინვარები			
		მცირე მყინვარები	თოვლნარები	გამქრალი მყინვარები	სულ
1	13	10	5	0	15
2	2	2	0	0	2
3	12	3	6	3	12
4	24	2	9	13	24
5	48	13	30	11	54
6	6	1	10	0	11
სულ	105	31	60	27	118

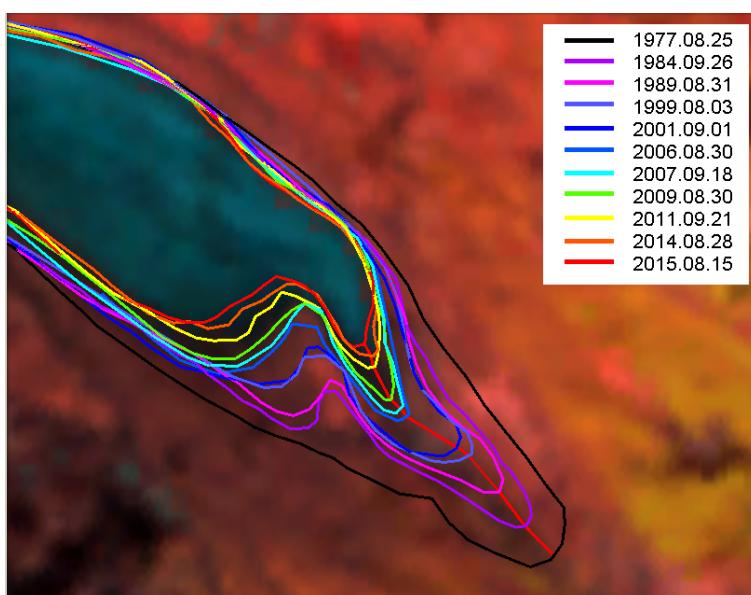
1-ლი ცხრილის ანალიზის საფუძველზე შეიძლება დავასკვნათ, რომ აღმოსავლეთ საქართველოში მყინვარების კატალოგის მიხედვით აღრიცხულია 105 მცირე მყინვარი. მყინვარების დანაწევრებისა და გალობის შედეგად მცირე მყინვარების რაოდენობა შეიცვალა. თანამგზავრული მონაცემებით, აღმოსავლეთ საქართველოში იდენტიფიცირებულია 118 მცირე მყინვარი, თოვლნარი და გამქრალი მყინვარი. ამ მყინვარებიდან:

- დარჩენილია 31 მცირე მყინვარი, ანუ იდენტიფიცირებულის 26.3 %;
- გადნა და თოვლნარად იქცა 60, ანუ იდენტიფიცირებულის 50.8 %;
- გაქრა, ანუ მოლიანად გადნა 27, ე.ო. იდენტიფიცირებულის 22.9 %.

ასე რომ, მყინვარების კატალოგში აღრიცხული აღმოსავლეთ საქართველოს 105 მცირე მყინვარიდან ამჟამად კლიმატის გლობალური დათბობის გამო დარჩა მხოლოდ 31 მცირე მყინვარი (29.5%), რაც ნიშნავს, რომ 74 (70.5 %) მცირე მყინვარი ან თოვლნარად იქცა, ან საერთოდ გაქრა.

ამრიგად, აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების რაოდენობის დაახლოებით 70 % მოლიანად ან ნაწილობრივ გადნა კლიმატის რეგიონული ცვლილების შედეგად.

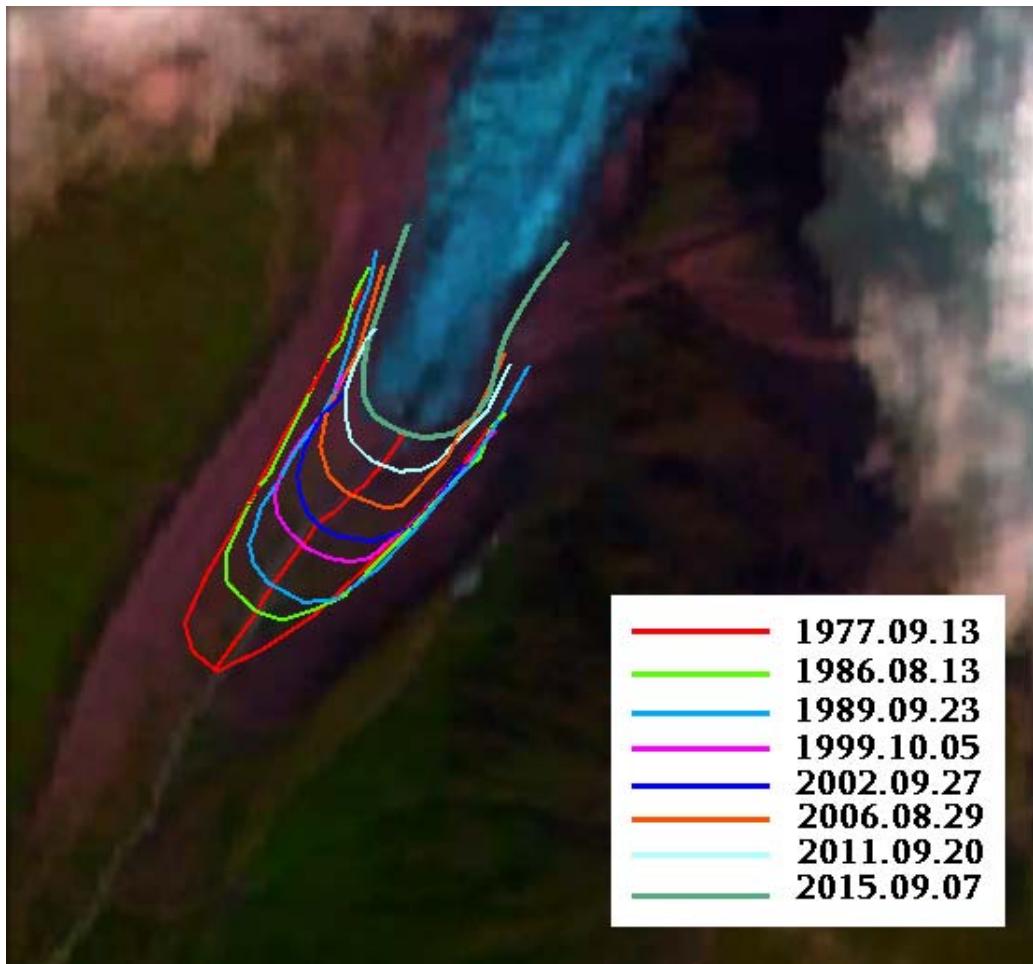
მყინვარებზე კლიმატის რეგიონული ცვლილების ზემოქმედების მაგალითად შეიძლება მოვიყვანოთ თანამგზავრ Landsat-ის მონაცემების მიხედვით აღმოსავლეთ საქართველოში მდებარე მყინვარ გერგეტის (ნახ. 2.) და დასავლეთ საქართველოში მდებარე მყინვარ ბოყოს (ნახ. 3.) უკანდასევის სქემატური სურათები.



ნახ. 2. გერგეტის მყინვარის უკანდასევის სქემატური სურათი 2015 წლის 15 აგვისტოს Landsat 8-ით გადაღებული თანამგზავრული სურათის ფონზე

მე-2 ნახ-ზე მოცემულია გერგეტის მყინვარის უკან დახევის ტეხილისა და ენის მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების სქემატური სურათი 1977 წლის 25 აგვისტოდან 2015 წლის 15 აგვისტომდე. აღნიშნული სურათი შექმნილია 11 თანამგზავრული სურათის ანალიზის შედეგად.

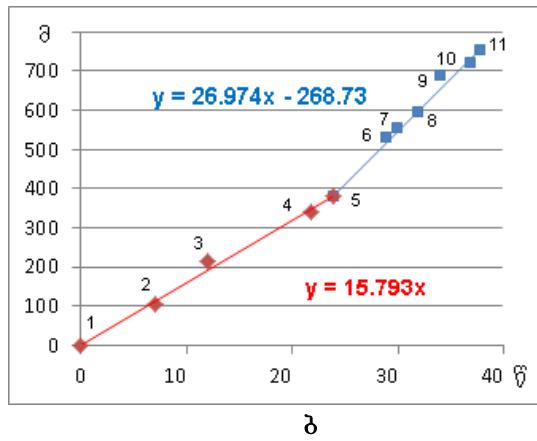
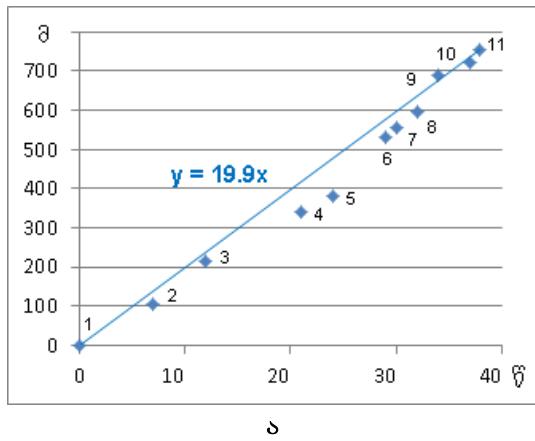
მე-3 ნახ-ზე მოცემულია ბოჭოს მყინვარის უკან დახევის ტეხილისა და ენის მდებარეობის ამსახველი კონტურების გადაკვეთის წერტილების სქემატური სურათი 1977 წლის 13 სექტემბრიდან 2015 წლის 7 სექტემბრამდე. მე-3 ნახ-ზე მოცემულია მყინვარის მხოლოდ 8 მდებარეობა, თუმცა რეალურად 22 თანამგზავრული სურათი გვქონდა და ეს 22 მდებარეობა იქნა გამოყენებული შემდგომი კვლევისათვის.



ნახ. 3. ბოჭოს მყინვარის 1977 წლიდან 2015 წლამდე უკან დახევის სქემატური სურათი 2015 წლის 7 სექტემბერს Landsat 8-ით გადაღებული თანამგზავრული სურათის ფონზე

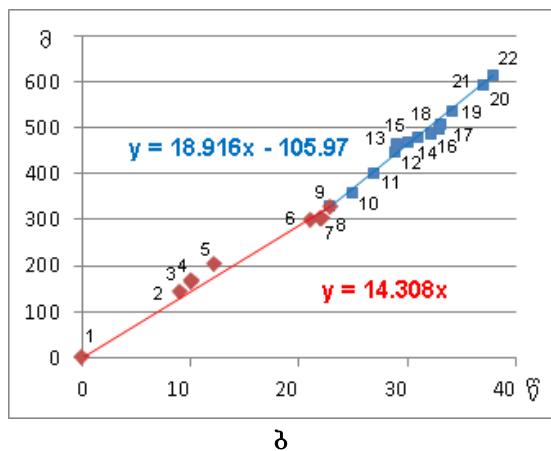
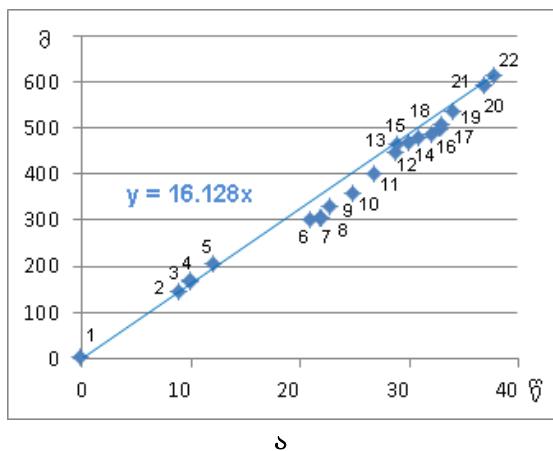
იმისათვის, რომ შეგვესწავლა მყინვარების უკან დახევის სიჩქარე, თითოეული მყინვარისათვის აგებულ იქნა ორ-ორი გრაფიკი:

1. გერგეტისა და ბოჭოს მყინვარების უკან დახევის გრაფიკები (ნახ. 4, ა და ნახ. 5, ა) მთლიანი სადამკვირვებლო პერიოდისათვის, ანუ 1977 წლიდან 2015 წლის ჩათვლით (ნახ. 2 და ნახ. 3) და გავლებულია ამ გრაფიკების შესაბამისი ტრენდები;



ნახ. 4. გერგეტის მყინვარის უკან დახევის ტრენდი: а – მთლიანი პერიოდისათვის (1977 – 2015 წწ.); ბ – I (1977 – 2001 წწ.) და II (2001 – 2015 წწ.) პერიოდებისათვის

2. პლიმატის ცვლილების აქსელერაციის შედეგად მყინვარების უკან დახევის სიჩქარის ცვლილების შესასწავლად სადამკვირვებლო პერიოდი (1977 – 2015 წწ.) პირობითად დაყოფილია ორ პერიოდად: I – 1977 – 2001 წწ. და II – 2001 - 2015 წწ. როგორც უკვე აღნიშნეთ, თითოეული მყინვარისათვის აგებულია ორ-ორი გრაფიკი, პერძოდ, გერგეტისა და ბოკოს მყინვარების სიჩქარეების გრაფიკი პირველი და მეორე პერიოდისათვის (ნახ. 4, ბ და ნახ. 5, ბ) და ამ გრაფიკების შესაბამისი ტრენდები.



ნახ. 5. ბოყვის მფინგარის უკან დახევის ტრენდი: а – მთლიანი პერიოდისათვის (1977 – 2015 წწ.); ბ – I (1977 – 2001 წწ.) და II პერიოდებისათვის (2001 – 2015 წწ.)

გრაფიკების მარტივად გამოსახვისათვის შემოტანილია პირობითი აღნიშვნები. თითოეული მყინვარისათვის დროის მომენტები აღნიშვნულია ციფრებით: გერგეტის მყინვარისათვის (11 დროის მომენტისა და მდებარეობის გათვალისწინებით) 1-დან 11-მდე, ხოლო ბოლოს მყინვარისათვის (22 დროის მომენტისა და მდებარეობის გათვალისწინებით), შესაბამისად, 1-დან 22-მდე.

გერგეტის და ბოყოს მყინვარების უკან დახევის სიჩქარე მთელი პერიოდისათვის შეადგენს დაახლოებით 20 მ-ს (ნახ. 4, ა) და 16 მ-ს (ნახ. 5, ა) წელიწადში. I და II პერიოდებისათვის გერგეტის მყინვარის უკან დახევის სიჩქარე შეადგენს, შესაბამისად, დაახლოებით 16 (I პერიოდი) და 27 მ-ს (II პერიოდი) წელიწადში. I და II პერიოდებისათვის ბოყოს მყინვარის უკან დახევის სიჩქარე შეადგენს, შესაბამისად, დაახლოებით 14 (I პერიოდი) და 19 მ-ს (II პერიოდი) წელიწადში.

მიღებული შედეგების ანალიზის საფუძვლელზე დადგინდა, რომ:

1. გერგამის მყინვარის უკან დახევის სიჩქარე უფრო მეტია, ვიდრე ბოლოს მყინვარისა;
  2. მყინვარების უკან დახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია; კერძოდ, II პერიოდში უკან დახევის სიჩქარე მნიშვნელოვნად აღემატება I პერიოდის ანალოგიურ სიდიდეს.

პირველი დასკვნა უმთავრესად განპირობებულია აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს კლიმატებს შორის განსხვავებით; ხოლო, მეორე, იმ ფაქტის კონსტატაციას ახდენს, რომ კლიმატის ცვლილებას არათანაბარი ხასიათი აქვს.

## დასკვნა

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, დადგენილია, რომ კლიმატის თანამედროვე დათბობის გამო მცირე მყინვარები ინტენსიურად დნება, საშუალო მყინვარების გარკვეული ნაწილი მცირე მყინვარებად იქცევა, ხოლო დიდი მყინვარები დეგრადირდება და უკან იქცევს.

აღმოსავლეთ საქართველოში იდენტიფიცირებული მცირე მყინვარებიდან 50 წლის შემდეგ დარჩენილია მათი რაოდენობის 29.5 %, გადნა და თოვლნარად იქცა 70.5 %.

ამრიგად, აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარების რაოდენობის დაახლოებით 70 % მთლიანად ან ნაწილობრივ გადნა კლიმატის რეგიონული ცვლილების შედეგად.

დიდი მყინვარების (გერგეტის მყინვარი აღმოსავლეთ საქართველოში და ბოყოს მყინვარი დასავლეთ საქართველოში) უკან დახევის ანალიზმა ცხადყო, რომ გერგეტის მყინვარის უკან დახევის სიჩქარე გაცილებით მეტია, ვიდრე ბოყოს მყინვარისა. ეს პირველ რიგში განპირობებულია აღმოსავლეთ და დასავლეთ საქართველოს კლიმატებს შორის განსხვავებით.

მყინვარის უკან დახევის სიჩქარე მთლიანი პერიოდისათვის არათანაბარია როგორც გერგეტის, ისე ბოყოს მყინვარებისათვის. კერძოდ, ბოლო 15 წელიწადში მყინვარების უკან დახევის სიჩქარე საგრძნობლად გაზრდილია წინა 25 წელთან შედარებით. ეს ტენდენცია კლიმატის თანამედროვე ცვლილების არაწრფივ ხასიათზე მეტყველებს.

მიღებული შედეგების შეჯამებით, დადგინდა, რომ:

- მცირე მყინვარების ინტენსიური დნება, ასევე დიდი მყინვარების მნიშვნელოვნად გაზრდილი უკან დახევის სიჩქარე წარმოადგენს მყინვართა დეგრადაციის ფრიად ნეგატიურ შედეგებს;
- მიღებული შედეგები ამავდროულად წარმოადგენს კლიმატის თანამედროვე ცვლილების არაწრფივი ხასიათის ობიექტები ინდიკაციას.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Petri Pellikka, Gareth Rees, W. Remote Sensing of Glaciers Techniques for Topographic, Spatial and Thematic Mapping of Glaciers. CRC Press/Balkemains, London, UK, 2010.- 330 p.
2. D. K. Hall, J.P. Ormsby. Characterization of Snow and Ice Reflectance Zones on Glaciers Using Landsat Thematic Mapper Data, Annals of Glaciology. 9, 1987, p. 104-108.
3. G. Kordzakhia, L. Shengelia, G. Tvauri, V.Tsomaia, M. Dzadzamia. Satellite remote sensing outputs of the certain glaciers in the territory of East Georgia// The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences. Vol.18, Issue 1, 2015, p. S1–S7.
4. Шенгелия Л. Д., Кордзахия Г. И., Тваури Г. А. Методология и результаты исследования некоторых ледников Грузии на основе дистанционного зондирования // Коллективная монография по материалам ежегодной Международной научно-практической конференции LXVIII Герценовские чтения. 22-25 апреля 2015 года, посвященной 70-летию создания ЮНЕСКО. С.-П., 2015, с. 117-124.
5. კლიმატის ცვლილების შესახებ საქართველოს მესამე ეროვნული შეტყობინება. მომზადებულია საქართველოს გარემოსა და ბუნებრივი რესურსების სამინისტროს და გაეროს განვითარების პროგრამის მიერ. თბ., 2015, - 292 გვ.
6. ლ. შენგელია, გ. კორძახია, გ. თვაური, მ. ძადვაძე. კლიმატის ცვლილების ზემოქმედება აღმოსავლეთ საქართველოს მცირე მყინვარებზე // მეცნიერება და ტექნოლოგიები, №1 (721), 2016, გვ. 9-14.
7. ცომა В. Ш., Дробышев О. А. Каталог ледников СССР. Т. 8, ч. 11, Северный Кавказ. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.

**NEGATIVE TRENDS OF GLACIERS CHANGES IN GEORGIA ON THE BACKGROUND OF MODERN CLIMATE CHANGE****L. Shengelia, G. Kordzakhia, G. Tvauri, M. Dzadzamia**

(Hydrometeorological Institute of Georgian Technical University, M. Nodia Institute of Geophysics of I. Javakhishvili Tbilisi State University, National Environmental Agency)

**Resume:** There are considered based on satellite remote sensing and GIS technologies the changes in the glaciers of Georgia under the influence of regional climate change. There is determined, that over the last 50 years, approximately 70% of the small glaciers of East Georgia wholly, or partly melted under the impact of regional climate change. The problems of the retreat of large glaciers are studied. There is established the increased rate of melting of small glaciers. There is determinid significant increase of the rate of large glaciers retreat. These negative results obviously indicate accelerated degradation of glaciers under the impact of regional climate change.

**Key words:** climate change; glaciers; melting; retreat; satellite remote sensing.**ГЕОФИЗИКА****НЕГАТИВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДНИКОВ ГРУЗИИ НА ФОНЕ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА****Шенгелия Л. Д., Кордзахия Г. И., Тваури Г. А., Дзадзамия М. Ш.**

(Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета, Институт геофизики М. Нодия Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили, Национальное агентство окружающей среды)

**Резюме.** Рассмотрено изменение ледников Грузии под воздействием регионального изменения климата на основе спутникового дистанционного зондирования и ГИС технологии. Установлено, что за последние 50 лет примерно 70 % малых ледников Восточной Грузии полностью или частично растаяли под влиянием регионального изменения климата. Исследованы проблемы отступления больших ледников. Установлена возросшая скорость таяния малых ледников. Определено значительное увеличение скоростей отступления больших ледников. Эти негативные результаты очевидно указывают на ускоренную деградацию ледников из-за воздействия регионального изменения климата.

**Ключевые слова:** изменение климата; ледники; отступление; спутниковое дистанционное зондирование; таяние.

## ბიოსფეროს უსაფრთხოების თანამედროვე პროგლომები

### ცისანა ბასილაშვილი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ჰიდრომეტეოროლოგიის ინსტიტუტი)

**რეზიუმე:** გაერთიანებული ერების ორგანიზაციის ექსპერტების ცნობით, პარის ტემპერატურა დედამიწაზე კვლავ გაიზრდება; მოსახლეობის ზრდის ფონზე მოსალოდნელია საკვები პროდუქტებისა და წყლის რესურსების დიდი დაფიციტი; მიმდინარეობს ბუნებრივი რესურსების ამოწურვა, რაც გამოიწვევს ეკოლოგიურ კრიზისს: ბიოსფეროს გაჭუჭყიანებასა და ცოცხალ ორგანიზმთა სახეობების შემცირებას.

დღეს ბუნების დაცვა და მისი რესურსების რაციონალური გამოყენება ბიოსფეროს არსებობის ძირითადი წინაპირობაა. ამის გამო აუცილებელია პლანეტაზე მიმდინარე პროცესების მრავალმხრივი შესწავლა და სათანადო საადაპტაციო და პრევენციული ღონისძიებების შემუშავება.

**საგვანძო სიტყვები:** ბიომრავალფეროვნება; გლობალური დათბობა; ოზონის შრქ; საადაპტაციო ღონისძიებები; ტექნიკურსები.

### შესავალი

მსოფლიო მეტეოროლოგიურ ორგანიზაციას (WMO) დაქვემდებარებული 100 ათასი დაკვირვების პუნქტის მონაცემების მიხედვით მტკიცდება, რომ მთელ პლანეტაზე გასული 100 წლის (1906 – 2005 წწ.) განმავლობაში პარის საშუალო წლიურმა ტემპერატურამ დედამიწაზე  $0,74^{\circ}\text{C}$ -ით მოიმატა, რამაც ბევრგან გვალვები და გაუდაბნოების პროცესები გამოიწვია. შედეგად შემცირდა სასოფლო-სამეურნეო კულტურების მოსავალი და, შესაბამისად, საკვები პროდუქტები. ამის გამო გაიზარდა ადამიანთა დავადებები და სიკვდილიანობა. ამასთან ერთად გახმირდა კატასტროფული სტიქიური პროცესები, რამაც გამოიწვია დიდი ნგრევა და მსხვერპლი. მთლიანობაში ბოლო დროს დედამიწაზე მიმდინარე კლიმატის ცვლილებით გამოწვეული ანომალიური კატაკლიზმები პროცესების შედეგად დაიღუპა 2 მლნ ადამიანი, ხოლო ეკონომიკურმა ზარალმა 1 ტრილიონი აშშ დოლარი შეადგინა.

შეცნიერები წინასწარმეტყველებენ, რომ მიმდინარე XXI საუკუნეში პარის ტემპერატურა შეიძლება  $1 - 2^{\circ}\text{C}$ -ით გაიზარდოს, რაც გამოიწვევს ანტარქტიდისა და გრენლანდის დონებს, მსოფლიო ოკეანის ღონის მკვეთრ აწევას და სანაპიროების დატბორვას. ეს დიდ საფრთხეს შეუქმნის ზღვისპირა ქვეწნის მოსახლეობას, რასაც მოპყება დიდი ეკონომიკური და სოციალური რევენუ. ამასთან, აზიასა და აფრიკაში შემცირდება მოსავალი, ავსტრალიასა და ახალ ზელანდიაში იქნება სასმელი წყლის დეფიციტი, ევროპაში გაიზრდება წყალდიდობები, ამერიკის აღმოსავლეთ სანაპიროზე გაიზრდება შტორმები და სანაპირო ეროზიები. პლანეტაზე შეიძლება შემცირდეს წვიმების რაოდენობა და გაიზარდოს დამლუპველი ეპიდემიები [1].

გაეროს ექსპერტებმა დაადგინეს, რომ ჩვენი პლანეტა თბება სწრაფად და ამაზე პასუხისმგებელია მთელი კაცობრიობა, რადგან ადამიანთა მოთხოვნილება კომფორტისაკენ იწვევს ბუნებრივი გარემოს შეცვლას. 1950 წელს მსოფლიოს მოსახლეობა იყო 2,5 მლრდ, 2000 წელს – 6 მლრდ, 2015 წელს – 8 მლრდ. პროგნოზით, 2050 წელს პლანეტის მოსახლეობა 11 მლრდ გახდება. მოსახლეობის ზრდასთან ერთად იზრდება მოთხოვნილება კვების პროდუქტებზე, წყალზე, საოჯახო და მობილურ ტექნიკაზე, ენერგეტიკაზე, საცხოვრისზე და სხვ. ახალი ფართობების ათვისება და ხეთა უსისტემო ჭრა იწვევს გარემოში უანგბადის შემცირებას, ახალი ვირუსების და ქრონიკული დაავადებების განენას, რასაც ყოველწლიურად ათასობით ადამიანი, ცხოველი და

მცენარე ეწირება. გარდა ამისა, მოსახლეობის ზრდის ფონზე მიმდინარეობს ბუნებრივი რესურსების ერთდროული ამოწურვა. აღსანიშნავია, რომ ბოლო 35 წელიწადში მიწის წიაღიძან ამოიღეს უფრო მეტი მინერალური ნედლეული, ვიდრე კაცობრიობის არსებობის მთელ წინა პერიოდში, ნავთობისა და აირის მოპოვებამ კი 80 – 85 %-ს მიაღწია.

ამრიგად, ადამიანი ცვლის ატმოსფეროს, ნიადაგს, წყლის ქიმიურ შედგენილობას, რაც დიდ საფრთხეს უქმნის გარემოსა და მთელ ბიოსფეროს. ამიტომ ადამიანმა თავის ქმედებაში უნდა გაითვალისწინოს ბუნებრივი მოვლენების ცვალებადობა და იზრუნოს მოსალოდნელი კატაკლიზმების თავიდან აცილებისათვის.

## ძირითადი ნაწილი

**ბიოსფერო.** სიტყვა “ბიოს” ბერძნულად სიცოცხლეს ნიშნავს. ბიოსფერო კი არის დინამიკურ წონასწორობაში მყოფი ცოცხალი და უძრავი ნივთიერებების ერთობლიობა, რომელშიც ცოცხალი ორგანიზმი წარმოადგენს აქტიურ, მუდმივმოქმედ ელემენტს, რომელიც გარდაქმნის ამ გარემოს თავისი მოთხოვნილების შესაბამისად. ბიოსფეროს განვითარების ისტორია 2,5 – 3 მლრდ წელს მოიცავს. ამ ხნის განმავლობაში ცოცხალი ორგანიზმები ვითარდებოდა გარემოს სხვადასხვა პირობებში. მაგალითად, ზოგიერთი ერთუჯრედიანი წყალმცენარე და ბაქტერია მრავლდება ცხელ წყაროებში ( $75 - 100^{\circ}\text{C}$ -მდე), სხვები, პირიქით, მინუს 6 – 7  $^{\circ}\text{C}$ -მდე, სოკოს სპორები კი იტანებ 120 – 180  $^{\circ}\text{C}$ -ს [2].

1875 წელს ავსტრიელმა გეოლოგმა კ. ზიუსმა ბიოსფერო დაახასიათა, როგორც დედამიწის ის გარსი, სადაც არსებობს და ვითარდება სიცოცხლე. ის მოიცავს მთელ პიდროსფეროს, ლითოსფეროსა და ატმოსფეროს ნაწილებს. პიდროსფერო დედამიწის წყლიანი გარსია. მსოფლიო ოკეანე ფარაგს დედამიწის ზედაპირის 7/10 ნაწილს. ის მთლიანადაა ათვისებული ცოცხალი ორგანიზმების მიერ, განსაკუთრებით 100 – 200 მ სიღრმეში, სადამდეც აღწევს მზის სხივები. უფრო ღრმად ცხოვრობენ მხოლოდ ბაქტერიები, ზოგიერთი მათგანი 11 კმ-ის სიღრმეზეა, სადაც წნევა 1100 ატ-ს აღწევს.

ლითოსფერო, ანუ დედამიწის ქერქი, მატერიკების მკვრივი გარსია, სადაც სიცოცხლე ნიადაგშია რამდენიმე ათეული სანტიმეტრის სიღრმეზე. მაგრამ არის ზოგიერთი ორგანიზმი, რომლებიც ცხოვრობენ 2 – 3 კმ სიღრმეზე სმელეთის პირობებში და 1 – 2 კმ სიღრმეზე ოკეანის ფსკერიდან. უმარტივესი ანაერობული ბაქტერიები კი ცხოვრობენ მიწისქვეშა წყალშემცველ და ნავთობშემცველ პორიზონტებში 3 – 5 კმ სიღრმეზე.

ატმოსფერო დედამიწის გარემომცველი აირების გარსია და შედგება სხვადასხვა აირის, წყლის ორთქლისა და მტკრისაგან. სიმაღლის მიხედვით, მასში გამოიყოფა ცალკეული შრეები: ტროპოსფერო (სისქე 8 – 18 კმ), სტრატოსფერო (55 – 60 კმ-მდე), მეზოსფერო (80 – 85 კმ-მდე), თერმოსფერო (80-დან 1000 კმ-მდე), ხოლო მის ზემოთ – ეგზოსფერო.

ტროპოსფერო, სადაც არის ატმოსფერული ჰაერის მასის 90 % და 4 %-დან 0,5 %-მდე წყლის ორთქლი, რომელიც ვრცელდება პოლუსებთან 8 – 10 კმ სიმაღლეზე, ეკვატორთან კი 16 – 18 კმ-მდე. აქ ჰაერის ტემპერატურა იკლებს ყოველ კილომეტრ სიმაღლეზე  $5^{\circ}\text{C}$ -ით. ატმოსფეროს ეს შრე ყველაზე მნიშვნელოვანია, რადგან სწორედ აქ წარმოიქმნება დრუბლები, მოდის ნალექები და ქრის ქარები, რაც დიდ გავლენას ახდენს ამინდზე, ადამიანის სიცოცხლესა და საქმიანობაზე. ტროპოსფერო მთლიანად ატარებს მზის მოკლეტალდოვან რადიაციას და აკავებს დედამიწის გრძელტალდოვან თბერ გამოსხივებას, რის გამოც ხურდება მიწისპირა შრე.

სტრატოსფერო წარმოადგენს 40 – 60 კმ სისქის შრეს ტროპოსფეროს ზემოთ. აქ ჰაერი მშრალი და გაიშვიათებულია, ტემპერატურა იზრდება ქვევიდან ზევით ზაფხულში  $0^{\circ}\text{C}$ -დან  $15^{\circ}\text{C}$ -მდე, ხოლო ზამთარში  $-10^{\circ}\text{C}$ -დან  $-5^{\circ}\text{C}$ -მდე [3]. ატმოსფეროს ამ შრეში 20 – 30 კმ სიმაღლეზე არის მეტად მნიშვნელოვანი ნივთიერება – ქანგბადის აირის ნაირსახეობა – ოზონი, რომელიც შთანთქავს მზის ულტრაინფერი სხივების მოკლეტალდოვანი რადიაციის დიდ ნაწილს, რაც დამდუბებელად მოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე. ამიტომ თზონის მცირე სისქის შრე ითვლება დედამიწაზე ბიოსფეროს დამცავ ფარად [4].

მეზოსფერო 20 – 25 კმ სისქის შრეა, სადაც ტემპერატურა ეცემა ზაფხულში -80 °C-მდე, ხოლო ზამთარში – -100 °C-მდე. აქ ძლიერი ტურბულენტური მოძრაობის გამო ქარის სიჩქარე 50 – 100 კმ/სთ-ს აჭარბებს.

თერმოსფეროში 80 კმ სიმაღლიდან დაწყებული ტემპერატურა ყოველ 1 კმ სიმაღლეზე იზრდება 5 °C-ით და მის ზემოთ 1000 კმ სიმაღლეზე 2000 °C-ს აღწევს. მაგრამ იმის გამო, რომ აქ ჰაერის სიმკვრივე ძალიან მცირეა, ამიტომ ნებისმიერი სხეული და მათ შორის მეტეორები არ ხურდება. მეტეორები, რომლებიც აქ 100 – 130 კმ/სთ სიჩქარით მოძრაობს, იწვის მის ქვედა 80 კმ-მდე სიმაღლეზე მდებარე მეზოსფეროში, სადაც ჰაერი ათასჯერ უფრო მკვრივია, ვიდრე თერმოსფეროში.

ეგზოსფერო ვრცელდება ათასეულ კილომეტრებზე. აქ ტემპერატურა იზრდება ყოველ კილომეტრ სიმაღლეზე 1 °C-ით; ჰაერი ძლიერ გაიშვიათებულია; შესაძლებელია რადიოკავშირის დამყარება; აქვე დაფრინავენ კოსმოსური ხომალდები. მაღალ სიმაღლებზე ეგზოსფერო თანდათან გადადის პლანეტებს შორის სივრცეში.

დედამიწის ზედაპირთან შპრალი ჰაერის შედგენილობაში შედის: აზოტი – 78 %, ჟანგბადი – 21 %, (ოზონი 10<sup>-6</sup>), არგონი – 0,9 %, ნახშირორჟანგი – 0,03 %, დანარჩენი აირები – 0,1 %. ატმოსფეროში 90 – 100 კმ სიმაღლემდე ჰაერის ეს შედგენილობა არ იცვლება და ამ სფეროს პომლსფერო ეწყოდება. 200 კმ სიმაღლემდე ჰაერის ძირითადი ნაწილია აზოტი, 600 კმ-დან ჰელიუმი, ხოლო 2000 კმ-ზე მაღლა წყალბადია, რომელიც დედამიწის ირგვლივ ქმნის ეწყლის წყალბადოვან გვირგვინს.

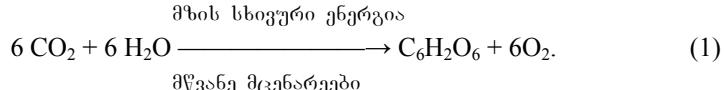
ატმოსფერო აკავებს კოსმოსური სხივების ნაწილს და მეტეორიტების უმრავლესობას. დედამიწამდე აღწევს მზის გამოსხივების მხოლოდ 48%. ატმოსფერო რომ არ იყოს, დედამიწის ზედაპირზე ჰაერის საშუალო ტემპერატურა 15 °C კი არა, 23 °C იქნებოდა [2]. ჩვენს პლანეტაზე დაცემული სხივები ენერგიის თითქმის ნახევარი წყლის აორთქლებაზე იხარჯება და ეს წყალი დედამიწას ნალექების სახით უბრუნდება. მათი დიდი ნაწილი მდინარეებში, ხოლო ბოლოს ოქანებში ჩატარდება.

ბიოსფეროს სტრუქტურული ერთეულია ეკოსისტემა, ანუ მოცემულ ტერიტორიაზე არსებულ მცენარეთა, ცხოველთა, მიკროორგანიზმთა და გარემოს არაცოცხალი კომპონენტების ერთობლიობა. ეკოსისტემების განაწილება პლანეტაზე ბიომების დონეზე ხორციელდება. დრეის [5] მიხედვით, ბიოსფეროს ძირითადი ბიომებია ხელეთის, ზღვისა და მტკნარი წყლის ბიომები. ხმელეთის ბიომების თავისებურებებს განსაზღვრავს რეგიონის ჰავა და მცენარეული საფარი. ზღვისა და მტკნარი წყლების ბიომები ნაკლებადაა დამოკიდებული ჰავაზე. მათ თავისებურებებს განსაზღვრავს ფსკერის სიღრმე, მარილიანობა და წყლის დინება.

ბიოსფეროს ზედა საზღვარი ატმოსფეროში 6 კმ-ს აღწევს, სადაც ძირითადად მხოლოდ ქლოროფილის შემცველი მცენარეებია. უფრო ზევით კი ზოგიერთი ფეხსახსრიანი ბინადრობს, რომლებიც ქარის მოტანილი მცენარეული მტკრით, სპორებითა და მიკროორგანიზმებით იკვებებიან [6].

წარსულში ატმოსფერო თითქმის არ შეიცავდა ჟანგბადს. ის მაშინ მდიდარი იყო ნახშირორჟანგით, მეთანითა და აზოტის ნაერთებით. პლანეტის თანამედროვე სახე ცოცხალ არსებათა ცხოველებების შედეგია, რაც 3 მლრდ წლის წინათ დაიწყო, როდესაც ავტოტროფული ბაქტერიებისა და ქლოროფილის შემცველ მცენარეთა ფოტოსინთეზის აქტიურობის შედეგად ნახშირორჟანგი ორგანულ ნივთიერებად გარდაიქმნება და დღემდე იცვლება ატმოსფეროს შედგენილობა [7].

მეცნიერები ვარაუდობენ, რომ დედამიწაზე პირველი ცოცხალი ორგანიზმების ჩასახვა მოხდა პიდროსფეროს არალრმა უბნების ფსკერზე, სადამდეც აღწევდა მზის სხივები და სითბო. ასეთი პირობებია ტროპიკული სარტყელის მახლობლად. აქ მცენარეთა ქლოროფილის მიერ შთანთქმული ნახშირორჟანგის აირიდან და წყლიდან მზის სხივერი ენერგიის დახმარებით ხდება ნახშირწყლების სინთეზი და გამოიყოფა თავისუფალი ჟანგბადი. ასეთ პროცესს, როდესაც მიმდინარეობს არაორგანულიდან ორგანული ნივთიერების სინთეზირება და მზის სხივერი ენერგია გარდაიქმნება ბიოქიმიურ ენერგიად, ეწყდება ფოტოსინთეზი, რომელიც სქემაზურად ასე გამოისახება [3]:



ეს განტოლება ფოტოსინთეზზე ზოგად წარმოდგენას იძლევა. სინამდვილეში ეს პროცესი შედგება მრავალი რეაქციისაგან, რომელთა განხორციელების დროს მცენარეები თრგანული ნივთიერებების სინთეზთან ერთად გამოყოფენ სხვადასხვა აქროლად ნივთიერებას, მათ შორის რაოდენობით და მნიშვნელობით უჯერი ნახშირწყალბადი იზოპრენი გამოიჩინა. ეს მოვლენა XX საუკუნის 50-იანი წლების ბოლოს დაადგინა აკადემიკოსმა ვ. სანაძემ.

ფოტოსინთეზის პროდუქტებია ჟანგბადი და ნახშირწყლები. ჟანგბადის ნაწილს თვით მცენარეები იყენებს, დიდი ნაწილი კი ცხოველების სუნთქვას ხმარდება. ყოველწლიურად მზის მოქმედებით დედამიწაზე 83 მლრდ ტ ორგანული ნივთიერება წარმოიქმნება. აქედან 53 მლრდ ტ იქმნება ხმელეთზე, დანარჩენი კი ზღვებსა და ოკეანებში. აღსანიშნავია, რომ მცენარეების მიერ აკუმულირდება მზის ენერგიის მხოლოდ 0,3 %. ფოტოსინთეზის შედეგად ატმოსფერული ნახშირბადის ორჟანგის რაოდენობა შემცირდა 0,03 %-მდე, ხოლო თავისუფალი ჟანგბადის რაოდენობა გაიზარდა 21 %-მდე, ანუ 1000-ჯერ [3].

ფ. რამადის [7] მიხედვით, 2 მლრდ წლის წინათ გაჩნდნენ ფოტოსინთეზის უნარის მქონე პირველი ორგანიზმები (პროკარიოტები: ლურჯ-მწვანე მცენარეები, ბაქტერიები, ვირუსები) 0,5 მლრდ წლის შემდეგ – უმაღლესი ორგანიზმები (ეუკარიოტები). შედეგად 1 მლრდ წლის წინათ ატმოსფეროში ჟანგბადის შემცველობა თანამედროვე რაოდენობის 1 %-ს შეადგენდა. გაიზარდა ფიტოლანქტონისა და ფოტოსინთეზის ინტენსიურობა და წარმოიქმნა ატმოსფერული ოზონი, რომელმაც შეაჩერა მზის ულტრაინფერო სხივების უარყოფითი ზემოქმედება. ამან ხელი შეუწყო თრგანული სამყაროს განვითარებას ჯერ წყლის ზედა ფენებში, შემდეგ ხმელეთზე.

600 მლნ წლის წინათ გაჩნდა უდაბლესი ავტოტოფული მცენარეები, 500 მლნ წლის წინათ – ჭურჭლიანი მცენარეები და მწერები, 350 მლნ წლის წინათ – ფარულოესლიანები და ძუძუმწოვრები. ხმელეთზე ქლოროფილის შემცველი მცენარეების გაჩნდა ჟანგბადის ზრდასთან ერთად ხელი შეუწყო ნიაღაგების წარმოქმნას. შემდგომ ჟანგბადის გაზრდილი რაოდენობის წყალობით დედამიწას მოევლინა ფლორისა და ფაუნის მრავალი სახის არსებანი, მათ შორის ადამიანიც. ადამიანის გაჩნამდე ბიოსფეროს არსებობის პერიოდს ბიოგენეზს უწოდებენ, ხოლო საზოგადოების განვითარების ეტაპს ეწოდება ნოოგენეზი, როდესაც დაიწყო ნოოსფეროს შექმნა.

ბიოსფერო აერთიანებს არა მარტო ცოცხალ ორგანიზმებს, არამედ მთელ მათ საცხოვრებელ გარემოს. ამჟამად დედამიწაზე გვხვდება მცენარეებისა და ცხოველების 2 მლნ-მდე სახეობა, მათ შორის ცხოველები – 1,5 მლნ-მდე. მცენარეთაგან რაოდენობის მიხედვით პირველ ადგილზეა ფარულოესლიანები – 300 ათასამდე, მეორეზე სოკოები – 100 ათასამდე. ცხოველთა შორის სახეობათა რაოდენობის მიხედვით პირველ ადგილზე არიან მწერები – 1 მლნ-მდე, მეორეზე მოლუსკები – 100 ათასამდე, შემდეგ კი ხერხემლიანები – 50 ათასამდე. აღსანიშნავია, რომ დღესაც არსებობენ უმარტივესი ორგანიზმები, რომელთაც არ გააჩნიათ მოთხოვნილება ჟანგბადის მიმართ. ასეთებია ანაერობული გოგირდის, რკინისა და წყალბადის ბაქტერიები, რომელთა მიერ ნახშირო-ჟანგის აირის გამოყენებით ხდება მინერალური ნივთიერებებიდან ორგანული ნივთიერების პერისნით [3].

**გლობალური დათბობის გამომწვევი ფაქტორები.** გლობალური დათბობა დედამიწის ატმოსფეროს მიწისპირა ფენის საშუალო წლიური ტეპერატურის სწრაფი ზრდის პროცესია. ამის მიზეზად მეცნიერები თრ სხვადასხვა ვერსიის ასახელებენ. პირველი ვერსიით იგი პერიოდულად განმეორებადი ბუნებრივი კატაკლიზმია და სამყაროს მისგან განადგურება არ ემუქრება. ამ მოსაზრებას ამჟარებს ის გარემოება, რომ ადრეულ ხანაში დედამიწაზე იყო გამჟინვარების პერიოდი, როდესაც ევროპის კონტინენტი ყინულით იყო დაფარული. უფრო ადრე კი იყო დათბობაც, როდესაც გრენენდიის კუნძული მწვანე საფრით იყო დაფარული, რაზედაც მიუთითებს მისი სახელწოდება. ამრიგად, პლანეტაზე მიმდინარე პროცესები ძირითადად დამოკიდებულია მზის აქტიურობაზე. მისი მცირედი ცვლილებაც კი უსათუოდ აისახება დედამიწაზე მიმდინარე ამინდსა და კლიმატზე. გამოარჩევენ მზის აქტიურობის 11-წლიან, 22-წლიან და 80-90-წლიან (გლაისბერგი) ცვლილებას. სრულიად შესაძლებელია მიმდინარე გლობალური დათბობა დაკავშირებული იყოს მზის მორიგ მაღალ

აქტიურობასთან, რაც შეიძლება მომავალში შეიცვალოს მისი შემცირებით და კლიმატის ცვლილების საპირისპირო პროცესით.

მეორე ვერსიით დედამიწაზე მიმდინარე გლობალური დათბობა ადამიანის ანთროპოგენური საქმიანობით, ეწ. “სათბურის ეფექტით” არის განპირობებული და ის სამყაროს დამლუპველია [1]. სათბურის ეფექტი არის ატმოსფეროში გაფრქვეული აირების მიერ დედამიწიდან არეკვლილი სითბური გამოსხივების შეგავება, რის შედეგადაც ხდება გლობალური დათბობა. სათბურის აირებიდან აღსანიშნავია: ნახშირორჟანგი, მეთანი, აზოტის მონოქსიდი, ოზონი და ფრეონები (ნახშირწყალბადების ჰალოგენები), რომლებიც თავისუფლად ატარებენ დედამიწაზე მზის ძლიერ სხივებს, მაგრამ აკავებენ მისგან არეკვლილ სითბოს. სათბურის ეფექტი აღმოჩნდილ იქნა 1824 წელს ფრანგი მეცნიერის უზეფ ფურიეს მიერ. თვით სათბურის აირები რაოდენობრივად შეისწავლა შვედმა ნობელიანტმა სვანტე არენიუსმა (1896 წ.), რომელმაც უფრო ადრე 1893 წელს განაცხადა, რომ, რაც უფრო მეტი ნახშირორჟანგიანი აირი მოხვდება ატმოსფეროში, დედამიწა მით უფრო გახურდებაო [8].

დედამიწაზე კლიმატის ცვლილების შესახებ პირველი განაცხადი გააკეთა 1873 წელს ცნობილმა მეცნიერმა ვ. კორპენმა, რომელმაც დაადგინა ჰაერის ტემპერატურის  $1^{\circ}\text{C}$ -ით შემცირება. ვ. ვილეტის ცნობით, 1880 წლიდან 1930 წლამდე ჰაერის საშუალო წლიურმა ტემპერატურამ  $0,5^{\circ}\text{C}$ -ით მოიმატა, მაშინ როდესაც ზამთრის თვეებში ტემპერატურა ორჯერ უფრო მეტად ( $1^{\circ}\text{C}$ -ით) გაიზარდა. 1940 წლიდან ტემპერატურის მატება კლებით შეიცვალა, ხოლო 1960 წლიდან დედამიწაზე დაიწყო ტემპერატურის ინტენსიური ზრდა [1, 9], რაც, უდავოდ, ადამიანთა ზემოქმედების, კერძოდ, ტექნიკის განვითარების შედეგია. ატმოსფეროში ბოლო 1,5 საუკუნის განმავლობაში სათბურის აირებიდან მეტეოროდ მოიმატა ნახშირორჟანგის ( $\text{CO}_2$ ) რაოდენობამ (1/3-ით), მაგრამ ატმოსფეროში რაოდენობრივად უფრო მეტად ( $2,5\text{-ჯერ}$ ) გაიზარდა მეთანი ( $\text{CH}_4$ ), რომელიც  $20\text{-ჯერ}$  მეტად ახურებს დედამიწას, ვიდრე ნახშირორჟანგი. მეთანის მატება დაკავშირებულია მილსადენებიდან და ჭაბურლილებიდან აირების გაფონგასთან და საქონელთან, რომელთა რაოდენობა სადღეისოდ საგრძნობლად გაზრდილია.

გაეროს სასურსათო და სოფლის მეურნეობის ორგანიზაციის (FAO) სპეციალისტების აზრით, დედამიწაზე საქონლის ფარა უფრო მეტად მოქმედებს კლიმატზე, ვიდრე ავტომობილები და თვითმფრინავები. პლანეტაზე მცხოვრები 1,5 მლრდ ფური გამოყოფს სათბურის აირების 18 %-ს, რაც აღემატება ყველა სახის ტრანსპორტის შესაბამის მაჩვენებელს. მეთანი წარმოიშობა საქონლის კუჭში არსებული საეციალური ბაქტერიების საშუალებით. მათი ნაკლილია გამოიყოფა მეთანი, რომელიც გამოიყენება საწვავად ბიოაირის სახით. ატმოსფეროში არსებული მეთანის რაოდენობის მესამედი სწორედ საქონლის მიერაა წარმოქმნილი. აღსანიშნავია, რომ 150 წლის განმავლობაში ატმოსფეროში მეთანის რაოდენობა  $2,5\text{-ჯერ}$  გაიზარდა [10].

ნახშირორჟანგის მატება კი დაკავშირებულია ძირითადად ადამიანთა სამეურნეო საქმიანობასთან, კერძოდ, ინდუსტრიის განვითარებასთან, აგრეთვე შეშისა და ნახშირის წვასთან. კაცობრიობა ყოველწლიურად წვავს  $4,5$  მლრდ ტ ნახშირს,  $3,2$  მლრდ ტ ნავთობს, აირებს, ტორფს და სხვა საწვავს. განსაკუთრებით გაიზარდა საწვავის მოხმარება ავტომობილებსა და თვითმფრინავებში, რომელთა გამონაბოლქვით ატმოსფეროში იზრდება ნახშირორჟანგის რაოდენობა. ურბანულ ზონებში ჰაერი იმდენად გაჯერებულია მავნე ნივთიერებებით, რომ მისი ჩასუნთქვა კატასტროფულად მოქმედებს ადამიანთა ჯანმრთელობაზე. მავნე ნივთიერებების ჰაერში მოხვედრიის ძირითადი წყარო მოველებული ტრანსპორტია. ამას ემატება მათი საწვავის საეჭვო ხარისხი, რომლის შედგენილობაში ზოგჯერ გადაჭარბებული რაოდენობით ტყვიის შემცველია ფიქსირდება, რაც იწვევს ადამიანთა მძიმე დაავადებებს.

დადგენილია, რომ მრეწველობის განვითარების შედეგად ნახშირორჟანგის კონცენტრაცია ატმოსფეროში  $38\text{-მდე}$  გაიზარდა. სამეურნეო და სამრეწველო საქმიანობის შედეგად დედამიწის ატმოსფეროში ყოველწლიურად გამოიყოფა  $27$  მლრდ ტ ნახშირორჟანგი. მის  $30\text{-ს}$  შთანთქავს მსოფლიო ოქეანე,  $13\text{-ს}$  ბიოსფერო და ნიადაგი,  $57\text{ \%}$  რჩება ატმოსფეროში, რაც ხელს უწყობს დათბობის მომატებას. სამრეწველო ეპოქის დასაწყისიდან ატმოსფეროში დაგროვილია  $770$  მლრდ ტ ანთროპოგენური ნახშირორჟანგი [11].

XIX საუკუნეში ინგლისელმა ფიზიკოსმა უილიამ ტომპსონმა შემფოთება გამოიქვა ტექნიკური პროგრესის შედეგად მოსალოდნელი “თბური სიკვდილის” განვითარების შესახებ. ამ მოსა-

ზრების საწინააღმდეგოდ რუსმა მეცნიერმა კ. ტიმირიაზეგმა აღნიშნა, რომ სამყაროს არავითარი “თბური სიკვდილი” არ ემუქრება მანამ, სანამ მწვანე საფარი იარსებებსო. აქ იგი ფოტოსინთეზის პროცესს გულისხმობდა, რომლის დროსაც, (1) გამოსახულების მიხედვით, მწვანე საფარი შთანთქავს მზის სხივების უძიდეს თბურ ენერგიას და გარდაქმნის მას ადამიანისთვის მისაღებ ფორმაში. ფოტოსინთეზის პროცესის შედეგად ყოველწლიურად 1 ჰა ტყე შთანთქავს 5–10 ტ ნახშიროვანგს და გამოყოფს 10–20 ტ განგბადს.

პიერ აგრესის მონაცემებით, დედამიწაზე ყოველწლიურად 1 ჰა ფართობზე 10 მლრდ კპალ მზის სხივების თბური ენერგია მოდის, რომლის 93,8 %-ს მწვანე საფარი ითვისებს [12]. ასევე დადგენილია, რომ დია ფართობზე პაროს ტემპერატურა ტყის საფაროან შედარებით 3–ჯერ მეტია. მაღალი (35 – 40 °C) ტემპერატურის დროს კი მკვეთრად მცირდება ფოტოსინთეზის პროცესი, რომლის დროსაც შთანთქმება ნახშიროვანგი.

მართალია, ტყის მწვანე საფრის დიდ მნიშვნელობაზე არავინ დაობს, მაგრამ რაც შექება მის მიმართ სათანადო ყურადღებას, ეს ჯერ კიდევ არ ჩანს. ამისი მიზეზი კი მოსახლეობის მატებისა და ტექნიკური პროგრესის შედეგად ტყის რესურსებზე მოთხოვნილების განუზომელი ზრდაა. ამიტომ მსოფლიოში ყოველწლიურად იზრდება ტყის რესურსების მოპოვებისა და გამოყენების მასშტაბები. მისგან მზადდება ქაღალდი, მუქაო, ავეჯი, პარკეტი, იუნებენ გასათბობად და სხვ. ხემცენარეებისაგან 15 ათასი დასახლების ნაკეთობა მზადდება. განსაკუთრებით დიდია ტენიან ადგილებში ტროპიკული და წიწვოვანი (ტაიგა) ტყეების განადგურების მასშტაბები. აღსანიშნავია, რომ ტყიანი ტერიტორიების ათვისებამ არა მარტო მცენარეთა, არამედ ცხოველთა და ფრინველთა სამყაროს უნიკალურ წარმომადგენელთა შემცირებას შეუწყო ხელი. გარდა ამისა, ტყე ქმნის მიკროკლიმატს, არეგულირებს ტემპერატურას, ამცირებს ქარის სიჩქარეს, იცავს ნიადაგს ეროზიისაგან, ამცირებს აორთქლებას და სხვ. ტყე, განსაკუთრებით წიწვოვანი, გამოყოფს ფიტოციდებს – ნივთიერებებს, რომლებიც წმენდს პაერს მავნე მიკრობებისაგან და აჯანსაღებს მას. ამიტომაა, რომ ტყეებს დედამიწის ფილტებს უწოდებენ. დადგენილია, რომ ტყის მწვანე საფრის მიერ შესრულებული კოსმოსურ-ეკოლოგიური ეფექტი 3–5-ჯერ აღემატება ტყის რესურსების მოხმარებით მიღებულ ნატურალურ შემთხვევას [13].

მიუხედავად ტყის მწვანე საფრის ასეთი დიდი მნიშვნელობისა, მის მიმართ მომხმარებლური დამოკიდებულება ტყის გამეჩერებასა და განადგურებას იწვევს, რის გამოც სუსტდება ტყეების კოსმოსურ-ეკოლოგიური ფუნქცია. ხემცენარეები უსისტემოდ იჩენება როგორც ტყის კორომებში, ისე ქალაქებსა და გამწვანების ზოლებშიც, რასაც უანგბადის ნაკლებობის გარდა, ტყის წყალშემკავებელი და წყალშემკრები ფუნქციის დაქვეითება მოჰყვა. ამან გამოიწვია ზოგიერთი წყაროს, მდინარისა და ტბის დაშრობა. ტყის საფრისაგან მოტივილებულმა ფართობებმა დაიწყო გაუდაბნოება, რამაც საკვები პროდუქტების წარმოება გამოიწვია.

მეტად საყურადღებოა აკადემიკოს გ. გიგაურის აზრი იმის შესახებ, რომ მეცნიერულ-ტექნიკური პროგრესი, ერთი მხრივ, აუმჯობესებს ადამიანის კეთილდღეობის პირობებს, მეორე მხრივ, კი თვით ადამიანთა არსებობას და მათ მომავალს ემუქრება. მიმდინარეობს ბუნების თვითგარენდრის, თვითრეგულაციისა და თვითადგენის დასუსტების პროცესი არა მარტო კონკრეტულ გარემოში, არამედ პლანეტარული მასშტაბითაც [14].

ამრიგად, მსოფლიოში შემცირებულ მწვანე საფარს ადარ შესწევს მზის სხივების თბური ენერგიის გამოყენება-რეგულირების უნარი. ამის გამო იზრდება ატმოსფეროში ნახშიროვანგის რაოდენობა და კლიმატის ინტენსიური დათბობა. შესაბამისად, აქტიურდება ეკოლოგიური კატასტროფები, რასაც მოჰყვება არა მარტო ნერევა, არამედ ადამიანთა და სხვა ცოცხალ არსებათა მსხვერპლიც.

ანთროპოგენური ზემოქმედების შედეგად გამოყოფილი მავნე აირების აუმჯულირებული ჭარბი რაოდენობა ატმოსფეროში შემდგომში მეავე წვიმებისა და რადიაციული ნაერთების სახით საზიანოდ უბრუნდება დედამიწას. მეავე ნალექების (წვიმები, თოვლი, ნისლი, ცვარი) წყაროებია სათბობისა და ბიომასის წვა, მეტალურგია, ავტოტრანსპორტი და სხვ. ბოლო 100 წლის განმავლობაში ნალექების მეავიანობამ საგრძნობლად მოიმატა. მაგალითად აშშ-ის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ნაწილში 1900 წლიდან ნალექების მეავიანობა 4-ჯერ გაიზარდა, რაც დაპავშირებულია CO<sub>2</sub>-ისა და NO<sub>x</sub>-ის გამონაბოლქვის

ზრდასთან. მუკავი წერტილშიც აღინიშნება, სადაც არ არის სამრეწველო ობიექტები. ეს კი უკავშირდება უფრო მეტი ბიომასის წვას.

მუკავი ნალექები მეტად უარყოფით ზეგავლენას ახდენს ეკოსისტემებზე, რადგან ასეთი წელი სპობის ქვირითს და ფიტოპლანეტონს, რის გამოც წყალსატევებში მცირდება პიდრობიონტების სახეობები. მაგალითად, 1975 წელს აშშ-ის ტებებში თვეზის რაოდენობა 90 %-ით შემცირდა. მათმა გაჩანაგებამ ხელი შეუწყო თვეზით მკვებავი ცხოველების (თოლიები, წაულა, წავი და სხვ.) მოსპობას. გარდა ამისა, მუკავი ნალექები იწვევს მანქანა-დანაღგარების, შენობებისა და ხელოვნების ნიმუშების კოროზიას, ავადდება მცენარეულობა, რაც გამოიხატება მათი ფოთლების ცვენით და ფეხვების ლაპობით. XX საუკუნის 90-იან წლებში დაავადებული ტყეების ფართობი გერმანიასა და ნიდერლანდებში იყო 50 %, შევიცარიაში 35, ავსტრიაში 30 %, რუსეთში კი 600 000 ჰა [3].

ანთროპოგენური საქმიანობით გამოწვეული მავნე აირების ჭარბი რაოდენობით გამოყოფა აფართოებს ატმოსფეროში დედამიწის დამცველ ოზონის სფეროს, რაც მეტად საშიში მოვლენაა ცოცხალი ორგანიზმებისათვის და ის პირდაპირ კავშირშია გლობალურ დაობობასთან. ეს პროცესები უფრო გაღრმავდა, როდესაც ადამიანმა დაიწყო კოსმოსში სხვადასხვა ტექნოლოგიის გატანა. დადგენილია, რომ კოსმოსური რაკეტების გაშვება თვეზის შრის დაზიანებასა და დაშლას იწვევს, რასაც დედამიწაზე მზის რადიაციისა და ტემპერატურის მატება მოჰყვება.

**ოზონის სფერო.** თვეზი წარმოადგენს მოცისფრო აირს, რომლის მოლეკულა შედგება უანგბადის სამი ატომისაგან (O<sub>3</sub>). ის წარმოიქმნება მაშინ, როდესაც მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების ზემოქმედების შედეგად ხდება უანგბადის მოლეკულის ატომებად დაშლა და უანგბადის ატომები უანგბადის მოლეკულასთან შედის კავშირში [15]:



არსებობს „ცუდი თვეზი“ და „პარგი თვეზი“. მეცნიერები „ცუდ თვეზი“ უწოდებენ ცოტოქიმიურ სმოგს, რომელიც ატმოსფეროს უველაზე დაბალ შრეში, ტროპოსფეროში მდებარეობს. გარეული კონცენტრაციის პირობებში იგი საშიშია დამიანის ჯანმრთელობისა და კეთილდღეობისათვის: აღიზიანებს ზედა სასუნთქი გზების ლორწოვანს, იწვევს ვეგეტატიურ დარღვევებს, ფილტვების შეშუბებას, თავისი გატარაქტას და სხვ.; დიდ ზიანს აყენებს გარემოს, განსაკუთრებით დიდ ქალაქებში.

ასეთი „ცუდი თვეზი“ დედამიწის მოლიანი თვეზის მხოლოდ 10 %-ია, დანარჩენი 90 % – „პარგი თვეზი“ – კი დედამიწის ზედაპირიდან დიდ სიმაღლეზე სტრატოსფეროში მდებარეობს, სადაც ამინდის ფორმირებასთან დააკავშირებული მოვლენებისა და გარდაქმნების დიდი ნაწილი ხდება. „პარგი თვეზი“ იცავს დედამიწას მზის ულტრაიისფერი გამოსხივების დამანგრეველი ზემოქმედებისაგან. თვეზის შემცველობა ცვალებადია სხვადასხვა სიმაღლეზე. თვეზის საერთო რაოდენობის 60 % მოდის შრეზე, რომელიც მდებარეობს 16-დან 32 კმ-დე სიმაღლეზე, ხოლო მაქსიმალურ კონცენტრაციას იგი აღწევს დაახლოებით 25 კმ სიმაღლეზე. სწორედ ეს ფენაა დედამიწის დამცავი თვეზის შრე, რომელიც უდიდეს როლს ასრულებს გლობალურ კოლოგიურ სისტემაში.

ატმოსფეროში არსებული თვეზის მოლიანი სისქე 3,5 მმ-ია. ეს სიფრიფანა შრე ერთ-ერთი ძირითადი ფაქტორია, რომელიც პლანეტას ადამიანის არსებობისათვის ვარგისს ხდის. თვეზის რაოდენობა სტრატოსფეროში დამოკიდებულია გეოგრაფიულ განედზე, დედამიწის ზედაპირიდან დაშორების სიმაღლესა და წლის დროზე. თვეზის მოლეკულები სტრატოსფეროში მუდმივ წარმოქმნა-დაშლის პროცესში იმყოფება. ისინი განუწყვეტლივ წარმოიქმნებიან ქიმიური რეაქციების შედეგად, რომელიც მზის სინათლის ზემოქმედებით მიმდინარეობს. იმავდროულად კი მზის რადიაციისა და უანგბადის, აზოტის, წყალბადის, ქლორისა და ბრომის შემცველი შენაერთების ზემოქმედებით ხდება თვეზის მოლეკულის დაშლა და თვეზის სფეროს დარღვევა. ამას სხვადასხვა მიზეზით სხინდა. იყო მოსაზრება, რომ იგი დააკავშირებულია გარემოს ციკლურ მოვლენებთან, რასაც წინათ არ ექცევდა უურადღება. ზოგი მეცნიერი მიზეზად ზებგერით თვითმფრინავებს მიიჩნევს, მაგრამ ასეთი თვითმფრინავების გამოყენება ბოლო წლებში მნიშვნელოვნად შეიზღუდა.

მეცნიერთა დიდი უმრავლესობა თვეზის კონცენტრაციის დაქვეითების ძირითად მიზეზად მიიჩნევს საყოფაცხოვებო და სოფლის მეურნეობაში გამოყენებულ არაერთ ქიმიურ ნაერთს,

განსაკუთრებით ფრენებს (CFCL<sub>3</sub> და CFCL<sub>2</sub>), რომლებიც წლების განმავლობაში წარმატებით გამოიყენებოდა მაცივრებსა და კონდიციონერებში.

დღეისათვის ცნობილია, რომ სტრატოსფეროს ოზონის ეკოლოგიური პრობლემები გამოწვეულია ატმოსფეროში ადამიანის საქმიანობის შედეგად დიდი რაოდენობით ქლორფტორნახშირბადებისა და ჰალოგენების მოხვედრით, რომლებიც არღვევს ოზონის ბუნებრივ ბალანსს, აქტიურად მოქმედებს ოზონის სფეროს შედეგნილობასა და მის დაშლაზე. შედეგად, მსოფლიოს არაერთ რეგიონში ოზონის ფენა თითქმის ორჯერ შემცირდა, ხოლო ჩრდილო პოლუსზე – არქტიკაში, ზაფხულობით და სამხრეთ პოლუსზე – ანტარქტიდის თავზე, ზამთრობით ოზონის სფეროში ხვრელიც კი წარმოიქმნება. ოზონის სფეროს შემდგომი დეგრადაცია ხელს შეუწყობს ულტრაიისფერი გამოსხივების შემოღწევას ატმოსფეროში, რაც დამღუპველად იმოქმედებს ცოცხალ ორგანიზმებზე. ოზონის სფეროს შემცირება ასევე უარყოფითად მოქმედებს ატმოსფეროს ცალკეულ შრეებს შორის წონასწორობაზე, რაც აისახება ჰაერის მასების ცირკულაციასა და სითბოცვლაზე, რომელიც განაპირობებს კლიმატურ ანომალიებს და იწვევს სტიქიურ კატასტროფებს [16].

1974 წელს კალიფორნიის უნივერსიტეტის ქიმიკოსებმა შერვუდ როულენდმა და მარიო მალინამ გამოიკვლიერს და დასახურებს, რომ სტრატოსფეროში მოხვედრილი ქლორფტორნახშირბადები მზის სინათლის ზემოქმედებით იშლება და გამოიყოფა ქლორი, რომლის ერთ ატომს შეუძლია დაშალოს 100 ათასი ოზონის მოლეკულა, რის შედეგადაც მნიშვნელოვნად მცირდება ოზონის კონცენტრაცია. ამ გამოკვლევამ მოგვიანებით დაიმსახურა მსოფლიო აღიარება და 1995 წელს მათ ნობელის პრემია მიენიჭათ.

1975 წელს მსოფლიო მეტეოროლოგიურმა ორგანიზაციამ (WMO) გამოაქვეყნა დასკვნა: „ოზონის შრის ცვლილებები ადამიანის საქმიანობის შედეგად და ზოგიერთი შესაძლო გეოფიზიკური შედეგები“. 1985 წელს კი ხელმოწერილ იქნა საერთაშორისო შეთანხმება – ოზონის შრის დაცვის კენის კონვენცია. ამავე წელს აღმოჩენილ იქნა ანტარქტიდის თავზე ოზონის ხვრელი. ბრიტანული კალევების მიხედვით, ანტარქტიდაზე ოზონის შრის კონცენტრაცია XX ს-ის 70-იანი წლებიდან ყოველწლიურად მცირდებოდა, განსაკუთრებით ზამთარში (ოქტომბრიდან გვიან გაზაფხულამდე), როდესაც სტრატოსფეროში ტემპერატურის ვარდნის შედეგად წარმოიქმნება ყინულოვანი ღრულები. აღსანიშნავია, რომ ოზონის შრის რდველის პროცესი არქტიკაშიც მიმდინარეობს, მაგრამ აქ ოზონის შემცირების პერიოდი უფრო ხანმოკლეა და ისეთი დიდი დანაკარგები არ არის, როგორიც ანტარქტიდაზე.

1987 წელს აერონავტიკისა და კოსმოსის ეროვნული მმართველობის (NASA) მიერ მიღებული მონაცემებით დადასტურდა, რომ ოზონის შრის დაშლასა და ხვრელის გაჩენას ხელს უწყობს ქლორი, რომელიც გამოიყოფა ქლორფტორნახშირბადებისაგან და ბრომი, რომელიც გამოიყოფა ჰალოგენებისაგან. ამიტომ იმავე წელს 24 სახელმწიფოს მიერ ხელმოწერილ იქნა მონრეალის ოქმი იმ ნივთიერებების შეზღუდვის შესახებ, რომლებიც შლის ოზონის შრეს. ასეთ ნივთიერებებს შეიცავს მყარი ფენოკლასტები, პარალონი, მაცივრები, კონდიციონერები, გამსხელები, სამედიცინო სტერილუზატორები, ცეცხლსაქრობები, აეროზოლიანი ბალონები, რომელთაც ფართოდ მოიხმარდნენ 1950 წლიდან და 1986 წლისათვის წარმოებული იყო 1 მლნ ტ ქლორფტორნახშირბადი. 1986 წლიდან შეჩერებულ იქნა ამ ნივთიერებების წარმოება და 1991 წლისათვის მათი მოხმარება უკვე 40 %-ით შემცირდა. 1991 წლიდან მომდევნო 10 წლის განმავლობაში კომპანია „დიუბონმა“ 1 მლრდ აშშ ღოლარი დახარჯა ამ ნივთიერებების შემცველობის შესამცირებლად. ასევე დიდ თანხებს ხარჯავენ სხვა ამერიკული ფირმები („ჯენერალ ელექტრიკი“, „მოტორლად“ და სხვ) მათი გამოყენების შეწყვეტისა და შეცვლის მიზნით, მაგალითად, ამიაკის ან სხვა ეკოლოგიურად სუფთა ნივთიერებების გამოყენებისათვის.

ეს მეტად მნიშვნელოვანია, რადგან ოზონის სფეროს დაშლის შემთხვევაში გაიზრდება მზის ულტრაიისფერი გამოსხივება, რაც ხელს შეუწყობს დედამიწაზე ფიტოპარაზიტების დაშლას, მცენარეთა დაავადებებს, ე. ი. ფოტოსინთეზის პროცესის შემცირებას. გარდა ამისა, გაიზრდება ადამიანთა შორის ავთვისებიანი სიმსივნეები, სარკომა, კატარაქტა და სხვ. უკვე ყოველწლიურად 500 ათასზე მეტი ამერიკელი ავადდება კანის კიბოთი. აშშ-ში კანის კიბოთი გარდაცვლილთა 65 % სარკომაზე მოდის. 1970–1980 წლებში ყოფილ სსრ კავშირში კანის სიმსივნერ დაავადებათა ზრდა აღინიშნებოდა 13 %-ით. ვარაუდობენ, რომ ყოველ რვა წელიწადში ორჯერ გაიზრდება ამ დაავა-

დებათა რაოდენობა. სარკომით ავადდებიან უფრო ახალგაზრდა ადამიანები. დაავადება ვითარდება იმ ადგილზე, რომელიც მზის სინათლის ზემოქმედების ქვეშ იმყოფება, ძირითადად სახე და ხელები. აღინიშვნება კორელაცია მზეზე გატარებულ დროის ხანგრძლივობასა და დაავადების გატენას შორის. უფრო ხშირად ავადდებიან მოხუცები 70–80 წლის ასაკში. აღსანიშნავია, რომ სიმსიგნური დაავადებები აღრეულ სტადიაში განკურნებადია.

საქართველო მონრეალის ოქმს შეუერთდა 1996 წლის 21 მარტს, ხოლო ამავე წლის ნოემბერში იგი კლასიფიცირებულ იქნა, როგორც მე-5 (I) მუხლის ქვეყანა ე. ი. განვითარებადი ქვეყანა. გაერთიანებული ერების გარემოს დაცვის ცენტრთან (UNEP/ECE) თანამშრომლობით დამუშავდა “საქართველოში ოზონდამშლელი ნივთიერებების ხმარებიდან ამოღების ეროვნული პროგრამა”, რომელიც ფინანსურად უზრუნველყო გლობალურმა გარემოს დაცვის ფონდმა (CEF).

1996 წლისათვის საქართველოში მოხმარებული ოზონდამშლელი ნივთიერებების (ODP) რაოდენობა 26 ტ-ს ჟადგენდა. საქართველო არ აწარმოებს მონრეალის ოქმით კონტროლირებად არც ერთ ნივთიერებას. საქართველოს მთავრობამ ივალდებულა ოზონდამშლელი ნივთიერებების ხმარებიდან ამოღება [15].

1996 წელს მონრეალის საერთაშორისო კონფერენციის გადაწყვეტილებით დაიხურა ოზონის შრის დამშლელი ნივთიერებების (ფრეონების) მწარმოებელი ქარხნები, რის შედეგადაც უკვე 2014 წელს ოზონის ხვრელი 34 %-ით შემცირდა. მეცნიერთა ვარაუდით, 2020 წლისათვის ეს ხვრელი კიდევ 10 %-ით შემცირდება, მაგრამ ადსანიშნავია, რომ თუ ფრეონების პარენტი არსებობამ ოზონის შრე დაშალა, როგორ იმოქმედებდნენ ისინი ადამიანთა ჯანმრთელობაზე, რომელთა მაცივრები და კონდინიციონერები სახლებში და საწარმოებში ფრეონებით მუშაობდა. ახალი წარმოების მაცივრებში ფრეონები უკვე სხვა აგრეგატითაა შეცვლილი, თუმცა ატმოსფეროში უკვე გაბნეული ფრენები კიდევ დიდხანს იმოქმედებს ოზონის სფეროს შედგენილობაზე [16].

განსაკუთრებით აღსანიშნავია ის ფაქტიც, რომ XX საუკუნის 50-იანი წლებიდან კოსმოსში უამრავი კოსმოსური ნაგავია დაგროვილი, რაც ხელს უშლის არა მარტო კოსმოსზე დაკვირვებას, არამედ ის დიდ ეკოლოგიურ რღვევას იწვევს დედამიწაზე. ეს პროცესები წლიდან წლამდე იზრდება და თუ რადიკალური ღონისძიებები არ იქნა გატარებული, ბიოსფერო კიდევ უფრო მძიმე პირობებში აღმოჩნდება.

ამასთან დაკავშირებით, საყურადღებოა ინფორმაცია იმის შესახებ, რომ სადღეისოდ კოსმოსში არსებული ნაგავი 23 ათასი საფეხბურთო მოედნის ფართობისაა, რომელიც მოიცავს სხვადასხვა ზომის 25 ათასამდე ნივთს, დაწყებული უმცირესი ნაწილაკებისაგან და მთლიანი კოსმოსური ხომალდით დამთავრებული. ისინი მოძრაობები დაახლოებით 25 ათასი კმ/სთ სიჩქარით და მათი დაჯახება რომელიმე მოძრავ კოსმოსურ ხომალდთან გამოიწვევს დიდ კატასტროფას.

## დასკანა

დღეისათვის მსოფლიოში მცენარეთა შემცირებულ მწვანე საფარს უკვე აღარ შესწევს მზის სხივების თბერი ენერგიის გამოყენებისა და რეგულირების უნარი. ძირითადად ამის გამო იზრდება ატმოსფეროში ნახშირორუანგის რაოდენობა და კლიმატი ინტენსიურად თბება. შესაბამისად, აქტიურდება ეკოლოგიური კატასტროფები, რასაც მოჰყვება არა მარტო ნგრევა, არამედ ადამიანთა და სხვა ცოცხალ არსებათა მსხვერპლიც.

ექსპერტთა დასკანების მიხედვით, XXI საუკუნეში გლობალური დათბობა გაგრძელდება და საუკუნის ბოლოს ჰაერის საშუალო ტემპერატურა დედამიწაზე შესაძლოა 2–4 °C-ით გაიზარდოს, რაც გამოიწვევს ბუნებრივი ეკოსისტემებისათვის საშიშ შედეგებს: სერიოზულ ზიანს მიაყენებს მსოფლიოს უმეტესი ქვეყნების ეკონომიკას; გადაშენების საფრთხის წინაშე აღმოჩნდება ცოცხალი ორგანიზმების სახეობათა 15 – 40 %; 20 – 30%-ით შემცირდება მტკნარი წელის რესურსები მრავალრიცხვანი დასახლების რეგიონებში (აფრიკა, ხმელთაშუაზღვისპირა ქვეყნები); 5 – 10 %-ით შემცირდება მოსავლიანობა მრავალ რეგიონში; 10 მლნ-მდე სანაპირო ზონის მაცხოვრებელი უველწლიურად წყალდიღობების რისკის ქვეშ აღმოჩნდება; დაწერდება მსოფლიო ოკეანის დონის მატება; გაიზრდება ატმოსფეროს ცირკულაციის მასშტაბური ცვლილებების რისკი და სხვ.

კლიმატური ცვლილებების გლობალური ხასიათის გამო აუცილებელია ერთობლივი ძალის-ხმევით გამოინახოს პრობლემის გადაჭრის გზები საერთაშორისო დონეზე. საერთაშორისო ორგანიზაციებთან ერთად საქართველომაც უნდა მიიღოს აქტიური მონაწილეობა კონსტრუქციულ დიალოგსა და მოქმედებებში, რომლის მიზანი კონკრეტული ეფექტური შედეგები იქნება.

ამრიგად, მსოფლიო საზოგადოების ერთ-ერთი მთავარი საზრუნავია გლობალური დათბობისა და ბიოსფეროზე მისი შესაძლებელი გავლენის აღკვეთა.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. გ. ტემალაძე. გლობალური დათბობისგან ცოცხალი სამყაროს დაცვის ბიოქიმიური საფუძვლები. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია „გლობალური დათბობა და აგრობიომრავალფაროვნება“, თბ., 2015, გვ. 32-41.
2. ი. მიქაელი. ეკოლოგია. საქართველოს ხარისხის მართვის უნივერსიტეტი. თბ., 2006.
3. გ. ქაჯაია. გარემოს დაცვის ეკოლოგიური პრინციპები. თბ.: მეცნიერება, 2008.
4. Бузыко М. И. Радиационные факторы современных изменений климата // Известия АН СССР. Серия „География“, № 5, 1965, с. 17-22.
5. Дре Ф. Экология. М.: Атомиздат, 1976.
6. ი. ელიავა, გ. ნახუცრიშვილი, გ. ქაჯაია. ეკოლოგიის საფუძვლები. თბ.: თსუ, 1992.
7. Рамад Ф. Основы прикладной экологии. М.: Гидрометеоиздат, 1981.
8. ც. ბასილაშვილი. ტყის საფრის როლი ბიოსფეროს განვითარებაში გლობალური დათბობის ფონზე // მეცნიერება და ტექნოლოგიები, № 1 (721), 2016, გვ. 15-23.
9. ე. ელიზბარაშვილი, მ. ტატიშვილი, მ. ელიზბარაშვილი, რ. მესხია, შ. ელიზბარაშვილი. კლიმატის ცვლილება გლობალური დათბობის პირობებში. თბ., 2013.
10. Бучковская В., Евстахиева Ю., Саенко В. Проблемы теплового стресса в животноводстве и глобальное потепление. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “გლობალური დათბობა და აგრობიომრავალფაროვნება”, თბ., 2015, გვ. 386-387.
11. ი. ბარქალაია, გ. წერეთელი, მ. ბერუაშვილი, მ. სარალიძე. ბიომრავალფეროვნებაზე გლობალური დათბობის გავლენის საკითხისათვის. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “გლობალური დათბობა და აგრობიომრავალფაროვნება”, თბ., 2015, გვ. 72-74.
12. Пьер Арец. Ключи экологии. Л., 1982.
13. რ. ჩაგელიშვილი, ლ. გვაზავა. გლობალური დათბობა, ტექნიკური პროგრესი და მწვანე საფარი. საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენცია “გლობალური დათბობა და აგრობიომრავალფეროვნება”, თბ., 2015, გვ. 349-351.
14. გ. გიგაური. საქართველოს ტყეები, თბ., 2004, გვ. 35-65.
15. ც. ჟორგოლიანი, ქ. გორდაძე. სამედიცინო ეკოლოგია. აკაკი წერეთლის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, ქუთაისი, 2006.
16. ზ. დავითაშვილი, ნ. ელიზბარაშვილი. მსოფლიოს გეოგრაფია. თბ.: საქართველოს მაცნე, 2007.

**MODERN CHALLENGES OF BIOSPHERE SAFETY****Ts. Basilashvili**

(Institute of Hydrometeorology of Georgian Technical University)

**Resume:** According to the UNO experts, the air temperature is likely to continue to rise, eventually leading to deficit of water and food supplies. Along with the increase in the population size, natural resources run-down, which eventually leads to environmental crisis: biosphere pollution and decrease in the number of species of living beings.

Currently, nature protection and rational utilization of natural resources are necessary pre-conditions for sustaining the biosphere. Therefore, the processes taking place on the planet should be thoroughly investigated and appropriate adaptive and preventing measures working out.

**Key words:** adaptive measures; bio diversity; forest resources; global warming; ozone layer.

**ЭКОЛОГИЯ****СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ БИОСФЕРЫ****Басиляшвили Ц. З.**

(Институт гидрометеорологии Грузинского технического университета)

**Резюме.** По сведениям экспертов Организации Объединённых Наций, температура воздуха на Земле и впредь повысится и ожидается большой дефицит пищевых продуктов и водных ресурсов. На фоне увеличения числа населения мира происходит исчерпывание природных ресурсов, из-за чего на Земле происходит экологический кризис: загрязнение биосферы и уменьшение некоторых видов живых организмов.

На сегодняшний день защита природы и рациональное использование её ресурсов является необходимой предпосылкой существования биосферы. Из-за этого необходимо разностороннее изучение текущих процессов на планете и разработка соответствующих способов для адаптации.

**Ключевые слова:** биоразнообразие; глобальное потепление; лесные ресурсы; озоновый щит; способы адаптации.

## პალეოგლისატისა და ბეოგრაფიული გარემოს ცვალებადობა დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე ჰოლოცენში

### რეგაზ ხაზარაძე

(ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის ვახუშტი ბაგრატიონის  
გეოგრაფიის ინსტიტუტი)

**რეზიუმე:** კომპლექსური კვლევის შედეგად მოპოვებული მასალების საფუძველზე დადგენილია  
დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე მეოთხეული პერიოდის ბოლო, თანამედროვე გარემოსთან  
ახლო მდგომი ჰოლოცენში მიმდინარე მოვლენები. კოლხეთის სანაპირო ზოლის, ჭაბურღილების კე-  
რნების და მდვიმების კულტურული ნაფენების პალინოლოგიური, პალეონტოლოგიური და არქე-  
ოლოგიური შესწავლის საფუძველზე დგინდება, რომ ჰოლოცენურ პერიოდში კლიმატის სეზონური  
ცვალებადობა (ათბობა-აცივება) იწვევდა მცენარეული საფრის ვერტიკალურ ჭრილში გადაადგილებას,  
ცხოველთა მიგრაციას და, რაც მთავარია, პირველყოფილი ადამიანების ახალ გარემოსთან შეგუებას.

განხილული მასალების საფუძველზე შესაძლებელია გაკეთდეს დასკვნა, რომ დასავლეთ სა-  
ქართველოს ტერიტორიაზე ჰოლოცენში კლიმატისა და გარემო პირობებს არ განუცდია მნიშვნე-  
ლოვანი ცვლილებები და ხასიათდებოდა ზომიერი, თბილი და ნოტიო კლიმატით. რაც შეეხება  
ლანდშაფტებში მიმდინარე ცვლილებებს, იგი გამოწვეული იყო არა კლიმატით, არამედ ანთროპო-  
გენური (ადამიანების) ჩარევით.

**საკვანძო სიტყვები:** კერნი; მორფოდინამიკა; ოსცილაცია; პალეოკლიმატი.

### შესავალი

საქართველოს ჰოლოცენური პერიოდისათვის დამახასიათებელი კლიმატი და გარემო პირო-  
ბები ძირითადად დაკავშირებული იყო გლობალურ და რეგიონულ კლიმატურ ცვალებადობასთან. როგორც ცნობილია, დღეისათვის დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე გაბატონებულია ნოტიო  
სუბტროპიკული კლიმატი, რომელსაც განაპირობებს შავი ზღვის რეჟიმი. აღმოსავლეთ საქართველო  
კი ძირითადად მოქცეულია კასპიის ზღვის გავლენის ქვეშ და ხასიათდება მშრალი კონტინენტური  
კლიმატით. რა თქმა უნდა, ანალოგიური სიტუაცია იქნებოდა წარსულშიც (ჰოლოცენში). საქართვე-  
ლოს ტერიტორიაზე პლეისტოცენში მიმდინარე მოვლენები: გამყინვარებები და გამყინვარებათ-  
შორისი პერიოდების ციკლური ხასიათის რყევები გავლენას ახდენდა კლიმატზე, რაც თავისთავად  
აისახებოდა მცენარეული საფრის ვერტიკალური გადაადგილებით, ცხოველთა სამყაროს მიგრაციით  
და, რაც მთავარია, პირველყოფილი ადამიანების გარემო პირობებთან შეგუებით.

პლეისტოცენური და ჰოლოცენური პერიოდის კლიმატის განხილვის დროს წინამორბედ  
მკვლევართა მიერ საქართველოს ტერიტორიაზე მოპოვებული მასალებისა და ჩვენ მიერ ჩატარე-  
ბული კვლევების საფუძველზე შეიძლება გამოვთქვათ მოსაზრება დასავლეთ საქართველოს ტერი-  
ტორიაზე ჰოლოცენურ პერიოდში კლიმატისა და გარემო პირობების შესახებ [1].

### ძირითადი ნაწილი

შავი ზღვის სანაპირო ზოლისა და მიმდებარე ბორცვიანი ტერიტორიის ჰოლოცენური  
პერიოდის მორფოდინამიკის და გარემო პირობების დადგენისათვის გამოყენებულ იქნა პატარა

ფოთის, კეთილარისა და სუფსის ჭაბურღილების კერნული მასალა, რომელთა კვლევას აწარმოებდა საქართველოს გეოლოგიური სამმართველო ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის დაკვეთით.

შავი ზღვის სანაპირო ზოლის თანამედროვე სახით ჩამოყალიბება, როგორც ცნობილია, მიმდინარებდა გვიან პლეისტოცენსა და ჰოლოცენში, რომელსაც განსაზღვრავდა ზღვის ოსცილაცია, მდინარეების ალუვიონისა და წყლის მასების მოცულობები, სანაპირო ზოლის მორფოდინამიკა და სხვა ფაქტორები. ზემოთ ჩამოვლილთაგან ზღვის ოსცილაცია, მდინარეების ალუვიონისა და წყლის მასების მოცულობები დამოკიდებული იყო კლიმატის გლობალურ ცვლილებებთან. ჩვენ მიერ გამოოქმული მოსაზრებები ძირითადად ექრდნობა ჭაბურღილის კერნების სედიმენტოლოგიური კვლევის მონაცემებს, რადიონახშირბადის (C-14) თარიღებს, არქეოლოგიური ძეგლების კვლევის მასალებს, განამარხებული მცენარეული სპორა-მტვრის პალინოლოგიური შესწავლის შედეგებს და სანაპირო ზოლის ვიზუალური დაკვირვების მასალებს.

აღსანიშნავია, რომ გვიანპლეისტოცენში, ვიურმული გამყინვარების უკანასკნელი სტადიის დროს, რომლის განმავლობაშიც საშუალო წლიური ტემპერატურა თანამედროვესთან შედარებით 6–8°-ით დაბალი იყო, შავი ზღვის, ისევე როგორც მსოფლიო ოკეანური სისტემის, დონემ დაიწია მინუს 90–110 მ აბსოლუტურ ნიშულამდე, რამაც გამოიწვია მნიშვნელოვანი რაოდენობით ტერიგუნული უხეში მასალის დაგროვება პალინშელფის რაიონში.

როგორც ცნობილია, მსოფლიო ოკეანისა და შავი ზღვის გლაციოეგსტატიკური ტრანსგრესია გამოწვეული იყო მყინვარების დნობით. ტრანსგრესიის ფონზე მიმდინარეობდა მცირე რეგრესიული ფაზები, რომლებიც კლიმატის გლობალური ცვლილებებით იყო განირობებული. ზღვის ტრანსგრესიის მაღალი ტემპი გრძელდებოდა ჰოლოცენის დასაწყისში (10000–12000 წწ.) შავი ზღვის დონე დაახლოებით 40–45 მ იყო. ე. ი. გამყინვარების დამთავრების შემდეგ ზღვის დონემ 60 მ-ით აიწია. წელიწადში ზღვის დონის აწევის საშუალო სიჩქარე 0,9 სმ-ს შეადგენდა. ზღვის ტრანსგრესიის მაღალი ტემპი ჰოლოცენის დასაწყისამდე და ჰოლოცენის დასაწყისში მნიშვნელოვან შემცირდა და მას პულსაციური ხასიათი პქონდა; მცირეამპლიტუდიანი ტრანსგრესიული და რეგრესიული ფაზები კლავ გრძელდებოდა, რასაც ადასტურებს ჭაბურღილის კერნებში არსებული ტორფის ქვედა და ზედა ჰორიზონტების ასაკები. საერთოდ, ჰოლოცენის დასაწყისიდან ზედა ჰოლოცენის ჩათვლით ზღვიური ნალექების დაგროვება უწყვეტად მიმდინარეობდა.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ გვიანპლეისტოცენსა და ჰოლოცენის დასაწყისში ზღვის სანაპირო ზოლის მორფოლოგია მკვეთრად განსხვავდებოდა თანამედროვესაგან. ასევე განსხვავებული იყო სანაპირო ზოლის დინამიკაც. ქვედაჰოლოცენის დასასრულს და შუა ჰოლოცენის დასაწყისში მდინარეთა აკუმულაციის პროცესის ინტენსიურობა ვეღარ ახდენდა ზღვის აწევის კომპენსირებას. გამომდინარე აქედან, სანაპირო ზოლში ზღვა მნიშვნელოვან მანძილზე შემოიჭრა ხმელეთის სიღრმეში.

პატარა ფოთის №3 ჭაბურღილის სხვადასხვა მონაკვეთიდან, რომელთა საერთო სიღრმე 230 მ-ს შეადგენს, ამოდებულ იქნა კერნები პალინოლოგიური ანალიზისათვის. სპორა-მტვრის შესწავლის შედეგად გამოყოფილ იქნა ოთხი ძირითადი ჰორიზონტი. თითოეული მათგანი თავისთავად იყოფა პალინოლოგიურ ზონებად [2, 3].

I ჰორიზონტი (220–230 მ), მიკროფაუნის ანალიზის მიხედვით, თარიღდება ზედა ჩაუდური პერიოდით; კერნში განამარხებულ მცენარეულ სპექტრში ძირითადად წარმოდგენილია წიწვიანი მცენარეულობა, სადაც გარკვეულ ადგილს იჭერს ცუგა, სოჭი და ლიბოცედრუსი, რომლებიც სხვა ჰორიზონტებში არ შეინიშნება. ფართოფოთლოვნებიდან გამოვლენილია ჭაბებისა და მდინარისპირა ტყებისათვის დამახასიათებელი მცენარეულობის სპორა-მტვრის სპექტრი (კაკალი, კავკასიური რცხილა, თელა, წიფელი, ცაცხვი).

II ჰორიზონტი (140–220 მ) მიკროფაუნით დათარიღდებულია ძველევესინური ასაკით. სპორა-მტვრის ანალიზით ეს ჰორიზონტი ხასიათდება ტახოდიუმების ოჯახის მცენარეულობის სიმრავლით, სადაც გამოიყოფა ოთხი მცენარეული ზონა:

- პირველი ზონის განამარხებულ სპექტრში არყი საერთოდ არ არსებობს, რაც მიუთითებს ტყის ზედა საზღვრის ზემოთ გადაადგილებაზე და სუბალპური და ალპური ზონის საერთოდ გაქობაზე;

- მეორე ზონის სპორა-მტვერში შეინიშნება არყის თანდათანობითი სიმრავლე, რაც მიუთითებს სუბალპური სარტყლის გამოჩენაზე;
- მესამე ზონისათვის დამახასიათებელია ფართოფოთლოვანი, ტახოდიუმის ოჯახის მცენარეულობის სპორა-მტვრის სპექტრის მაქსიმალური ზრდა, რაც მიუთითებს ფართოფოთლოვანი ტყების სარტყლის გაფართოებაზე. აქაც, ისევე როგორც პირველ ზონაში, არყის არარეცხობა მიგვანიშნებს სუბალპური და ალპური ზონის ძლიერ შემცირებაზე;
- მეოთხე ზონისათვის დამახასიათებელი მცენარეულობის (სოჭი, ნაძვი, კანადური ცუგა) სპორა-მტვრის გამოჩენა მიუთითებს წიწვიანი ტყების აღდგენაზე.

თუ გავითვალისწინებთ ზემოაღნიშნულ ზონებში წარმოდგენილ მცენარეულ საფარში არსებული სახეობების შემცირებასა და ზრდას, ზოგ შემთხვევაში გაქრობასაც, უნდა ვივარაუდოთ, რომ იგი ძირითადად გამოწვეული უნდა იყოს კლიმატური პირობების ცვალებადობით (ათბობა-აცივებით).

III პორიზონტი (16–88 მ) სტრატიგრაფიული მდებარეობით და მიკროფაუნის ცუდი დაცულობის მიუხედავად, შეიძლება მიეკუთვნოს ზედა პლეისტოცენს. სპორა-მტვრის ანალიზის მიხედვით, ამ პორიზონტისათვის დამახასიათებელია მურყანის რაოდენობის ზრდა და ტახოდიუმის თანდათანობითი გაქრობა. აღნიშნული პორიზონტის პალინოლოგიური ანალიზის შედეგიდ შესაძლებელია გამოყოფილ იქნეს ექსი ზონა. თითოეულ ზონაში განამარტებული მცენარეული სპექტრის რაოდენობრივი ცვლილება თავისთავად ასახავს გარემო პირობების ცვალებადობას, რაც შესაძლებელია გამოწვეული იყოს კლიმატით. კერძოდ I, II და III ზონაში არყის სპორა-მტვრის ჭარბი რაოდენობით არსებობა მიუთითებს სუბალპური და ალპური სარტყლის გაფართოებასა და ქვემოთ დაწევაზე, რაც განპირობებულია კლიმატის გამკაცრებით. სამაგიუროდ, IV, V და VI ზონაში არყის მცენარეული სპორა-მტვრის გაქრობა და ფართოფოთლოვან მცენარეთა სიუხვე მიუთითებს, პირიქით, ამ სარტყლის ზემოთ გადადგილებასა და კლიმატის დათბობაზე.

IV პორიზონტი (0–16 მ) მიკროფაუნის მიხედვით, შეესაბამება პოლოცენს, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ფიტკის მტვრის მარცვლების სიუხვე და ზედა მონაკვეთში არყის გაზრდილი შემცველობა. აღნიშნულ პორიზონტში გამოყოფა სამი ზონა: I ზონაში ძირითადად გავრცელებულია წიწვიანი ტყები და შეზღუდულია ფართოფოთლოვან მცენარეთა ჯიშები. II ზონაში კი ჭარბობს ისეთი სითბოს მოყვარული მცენარები, როგორიცაა კაკალი, ლაფანი და რცხილა. III ზონის საშუალო მთის სარტყელში წამყანი აღვილი უჭირავს წიფლის, წაბლის და თხილის ტყეებს. გამომდინარე აქედან, საგრძნობლად მცირდება III ზონაში არსებული ტყით დაკავებული ტერიტორიები.

პატარა ფოთის №3 ჭაბურდილში განხილული ზემოთ დასახელებული პორიზონტები შესაძლებელია აღმოჩენილ იქნეს კოლხეთის სანაპირო ზოლის ჭაბურდილების ჭრილებშიც. დაახლოებით ანალოგიური მდგომარეობაა №1 ჭაბურდილის კერნულ მასალაში, რომელიც მდებარეობს მდ. სუფსის მარჯვენა სანაპიროზე სოფ. ტბათანას მიმდებარე ტერიტორიაზე. საერთოდ, თუ გავითვალისწინებთ ჭაბურდილების სხვადასხვა სიღრმეზე ტორფის პორიზონტების არსებობას, რომელიც მიუთითებს ზღვის ტრანსგრესიულ და რეგრესიულ ფაზებზე, ისინი დაკავშირებული უნდა იყვნენ კლიმატის ცვალებადობასთან.

ლევან მარჯაშვილი თავის მონოგრაფიულ ნაშრომში „საქართველო ანთროპოგენში“ [4] პოლოცნის განხილვის დროს ძირითადად ეყრდნობოდა ბლით-სერნანდერის სქემას, რომლის მიხედვითაც პოლოცენი იყოფა ოთხ (ძველ, ადრეულ, შუა და გვიან) პერიოდად. ძველ პოლოცენს შეესაბამება სუბარქტიკული პერიოდი (12000–10000 ძვ. წ.), ადრეულს – ბორეალური (10000–8000 ძვ. წ.), შუას – ატლანტიკური (8000–2500 ძვ. წ.), გვიანს – სუბარტიკული (2500–1000 ძვ. წ.).

ელისო ფაგაძის პალინოლოგიური მონაცემებით [6], ძველი პოლოცენის პერიოდში კოლხეთის დაბლობი ძირითადად დაფარული იყო ფართოფოთლოვანი მცენარეულობით, სადაც ჭარბობდა წიფელი. დაბლობში წარმოდგენილი იყო მურყანისა და თხმელის ტყეები; ბორცვიან აღგილებში გავრცელებული იყო წიფლისა და წაბლის ტყეები, ხოლო მაღალმთიანი ტერიტორია დაკავებული იყო ფიტკარით, რომელშიც ნაწილობრივ შერეული იყო ნაძვნარი.

ივანე თუმაჯანოვისა და ფარნაოზ მჭედლიშვილის მიხედვით [5], ადრეულ პოლოცენში (ბორეალური პერიოდი) დასავლეთ საქართველოს თითქმის ყველა ძველმყინვარულ (ტროგული) ხეობაში

გავრცელებული იყო ფართოფოთლოვანი მცენარეულობა, რომელშიც ჭარბობდა წიფელი, როგორც სიცივის გამძლე. ელისო ყვავაძის მონაცემებით [6], კოლხეთში ბორეალურ პერიოდში მაქსიმალურ გავრცელებას მიაღწია წიწვიანებმა, კერძოდ ფიჭვნარმა ტყეებმა, რაც აცივებას უკავშირდება [7].

შუა პოლოცენში (ატლანტიკური პერიოდი) კლიმატის დათბობასთან დაკავშირებით საქართველოს მთელ ტერიტორიაზე მკვეთრად შეიცვალა გარემო პირობები.

პალინოლოგიური სპექტრის მიხედვით, კოლხეთის მთიან ნაწილში შეინიშნებოდა მუხის, წიფლის, რცხილის, თელის და წაბლის გადაადგილება ქვემოდან ზემო, რამდენიმე ასეული მეტრით მაღლა, ვიდრე თანამედროვე პერიოდშია, რაც დაკავშირებული უნდა იყოს კლიმატის დათბობასთან.

გვიან პოლოცენში (სუბატლანტიკური პერიოდი) კოლხეთის მცენარეულ საფარში შეინიშნებოდა მუხისა და რცხილის განსაკუთრებული სიჭარბე [8], მაგრამ აქვე ყურადსალებია ერთი გარემოებაც, გვიან პლეიისტოცენში ტყეებით დაკავებული ტერიტორიები საგრძნობლად მცირდებოდა და მათ ადგილზე კულტურული და სარეველა მცენარეულობა ჩნდებოდა.

პოლოცენში საქართველოს ტერიტორიაზე ლანდშაფტების ცვალებადობას დაგით უკლება [8] სამი ძირითადი პროცესით ხსნის: 1. მოდიფიკაცია ბუნებრივი კომპლექსების, რომელიც უშუალოდ გამოწვეულია მხოლოდ ბუნებრივი პროცესებით; 2. მოდიფიკაცია ბუნებრივ-ანთროპოგენური ფაქტორით; 3. მოდიფიკაცია, რომელიც დამოკიდებულია მხოლოდ ანთროპოგენურ პროცესზე. აქ აშკარაა ადამიანის გავლენა მცენარეულ საფარსა და ცხოველთა სამყაროზე.

გარემო პირობების თანდათანობითი შეცვლა შეინიშნებოდა გვიან პოლოცენშიც, რაც გამოიწვია კლიმატის კიდევ უფრო დატენიანებამ და გრუნტის წყლების დონის აწევამ, რამაც ხელი შეუწყო მდინარისპირა დაჭაობებული ტყის მასივების გაზრდას, სადაც ძირითადად წარმოდგენილი იყო თელა და რცხილა. სწორედ ყველაზე მეტად მდინარისპირა ტყეები დაზარალდა ადამიანების მიერ მიწათმოქმედებისა და მესაქონლეობის ათვისების შედეგად.

დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე პირველყოფილი ადამიანები საცხოვრებლად და დროებით თავშესაფრად ძირითადად კარსტულ მღვიმეებს იყენებდნენ, რაც დასტურდება მღვიმეებში არსებულ ნაფენებში როგორც პირველყოფილი ადამიანის საბრძოლო და სამეურნეო დანიშნულების განამარხებული ქვის იარაღებით, ასევე კვების პროცესების ნაშთებით, რომელთა შესწავლამ (პალინოლოგიური, პალეონტოლოგიური, არქეოლოგიური, ლითოლოგიური) ცხადყო, რომ ამ პერიოდში დასავლეთ საქართველოში ზომიერი და ნოტიო კლიმატის პირობებში ძირითადად ტყის ლანდშაფტები უნდა ყოფილიყო გავრცელებული, რომელთა შემადგენლობაში წარმოდგენილი იყო თითქმის ყველა იმ მცენარის სახეობა, რომლებიც ქმნის კოლხეთის მთისწინა ზოლის თანამედროვე ტყის საფარს და მიახლოებული უნდა ყოფილიყო თანამედროვე კლიმატურ პირობებთან.

ცუცხვათის მდვიმოვნისა და დასავლეთ საქართველოს სხვა მდვიმების კულტურული ნაფენების სედიმენტაცია, სადაც შეინიშნება თიხიანი და თიხიან-ლორდიანი ფენების მორიგეობა, შესაძლებელია შემდეგნაირად აიხსნას: მსხვილმარცვლოვანი ლორდის დალექვა უნდა მომხდარიყო ცივი კლიმატის პირობებში ინტენსიური ფიზიკური გამოფიტვის შედეგად, ხოლო თიხიანი შრეები დაკავშირებული უნდა იყოს შედარებით თბილ კლიმატურ პირობებთან [12].

ცუცხვათის მდვიმოვნის შემოგარენის ფაუნის შესწავლის შედეგად ა. ვეეუა [10] და ო. ბენდუჯიძე [11] ნოტიო ტყეებისა და გაშლილი, მშრალი სივრცეების ბინადართა არსებობაზე მიუთითებენ, სადაც ფაუნა ძირითადად სითბოს მოყვარული ფორმებისაგან შედგებოდა. გამომდინარე ზემოაღნიშნულიდან, მდვიმეებში არსებული კლიმატური პირობების ამსახველი ფენები უნდა გამოხატავდეს კლიმატის სეზონურ (ზამთარ-ზაფხული) ცვალებადობებს, რომლებსაც გავლენა რომ მოგხდინა ფლორისა და ფაუნის ცვლილებებზე, ამისათვის საჭირო იყო დროის საკმაოდ ხანგრძლივი პერიოდი დამახასიათებელი გამყინვარებებისა და გამყინვარებათაშორისი პერიოდებისათვის, როდესაც ხდებოდა მცენარეული სარტყლების ვერტიკალური გადაადგილებები და მასთან დაკავშირებული ცხოველური სამყაროს მიგრაცია [13].

## დასკვნა

ამრიგად, ზემოაღნიშნული მონაცემების საფუძველზე შესაძლებელია დავასკვნათ, რომ პოლოცენში დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე კლიმატსა და გეოგრაფიულ გარემოს არ განუცდია

მნიშვნელოვანი ცვლილებები და ძირითადად ხასიათდებოდა ზომიერი, თბილი და ნოტიო კლიმატით. გამომდინარე აქედან, ლანდშაფტებში მიმდინარე ცვლილებები გამოწვეული იყო არა კლიმატის ცვალებადობით, არამედ ანთროპოგენური (ადამიანების) ჩარევით. მიუხედავად იმისა, რომ საქართველოს ტერიტორიაზე შექმნილია ნაკრძალები, ეროვნული პარკები და აღკვეთილები, სადაც აკრძალულია კანონგარეშე ბუნებრივ გარემოში ჩარევა, სავალალოდ, მანც გრძელდება ბრაქონიერთა მიერ მცენარეული საფრისა და ცხოველთა განადგურება.

#### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Хазарадзе Р. Д. Древнее оледенение южного склона Большого Кавказа. Тб.: Мецниереба, 1985.
2. Мамацашвили Н. С., Хазарадзе Р. Д. Палинологическая характеристика основных стратиграфических горизонтов четвертичных отложений Колхиды (западная Грузия)// Сообщ. АН ГССР, 70, №1, 1973.
3. Мамацашвили Н. С. Палинологическая характеристика четвертичных континентальных отложений Колхиды. Тб.: Мецниереба, 1975.
4. Маруашвили Л. И. и др. Грузия в антропогене. Тб.: Мецниереба, 1991.
5. Маргалитадзе Н. А. Голоценовая история растительности Горной Колхиды. В кн. Четвертичная система Грузии. Тб.: Мецниереба, 1982.
6. Квавадзе Э.В. Новая схема развития растительного покрова Колхидской низменности в голоцене. ДАНССС, 241, №1, 1978.
7. Маргалитадзе Н. А. История лесов северо-западной части Триалетского хребта в голоцене по данным спорово-пыльцевого анализа. Автореф. канд. дис. Тб. Гос. университет, 1969.
8. Слуга В. П. Современное торфонакопление в Рионском межгорном прогибе. Автореф. канд. дис. АН СССР. Геолог. инст. М., 1973.
9. Уклеба Д. Б. Антропогенные ландшафты Грузии. Тб.: Мецниереба, 1983.
10. Векуа А.К. Ископаемые позвоночные Цуцхватских пещер. Изучение пещер Колхиды. Тб.: Мецниереба, 1978.
11. Бендукидзе О.Г. Голоценовая фауна позвоночных Грузии, 1979.
12. რ. ხაზარაძე, მ. თვალჭრელიძე. პალეოკლიმატის ცვალებადობა დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიაზე გვიანდებისტოცენური//ვახუშტი ბაგრატიონის გეოგრაფიის ინსტიტუტის შრომა-თა კრებული, №3 (82), 2011.
13. რ. ხაზარაძე. კავკასიონის პლეიისტოცენური გამყინვარება. თბ.: მეცნიერება, 2004.

**FLUCTUATION OF PALEOCLIMATE AND GEOGRAPHIC ENVIRONMENT ON THE TERRITORY OF WESTERN GEORGIA IN THE HOLOCENE**

**R. Khazaradze**

(Vakhushti Bagrationi Institute of Geography of I. Javakhishvili Tbilisi state University)

**Resume:** There are established the events based on the data of comprehensive researches, that took place on the territory of Western Georgia at the end of the Quaternary period, in the Holocene (in the environment closeness to the modern one). Palynologic, paleontologic and archeological studies of drill cores and cultural layers of caves established that in the Holocene seasonal climatic fluctuations (warming and cooling) took place, they caused displacement of vegetation cover in vertical section, migration of animals and that is most important, adaptation of primitive man to a new environment.

Issuing from the considered data, we can infer, that climate and environment on the territory of Western Georgia, in the Holocene did not undergo considerable changes – climate was mild, warm and humid. As to the landscape changes, they were conditioned by anthropogenic (human) interference and not climate.

**Key Words:** kern; morphodinamic; oscillation; paleoclimate.

**ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ**

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В ГОЛОЦЕНЕ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ ГРУЗИИ**

**Хазарадзе Р. Д.**

(Институт географии Вахушти Багратиони Тбилисского государственного университета им. И. Джавахишвили)

**Резюме.** В результате комплексных исследований установлены происходящие в голоцене процессы на территории Западной Грузии. Исходя из анализов материалов литологических, палинологических, палеоклиматологических и буровых скважин выявлено, что в эпоху голоцена природа Западной Грузии характеризовалась постепенным потеплением и сезонными изменениями климата (потепление-похолодание), которые вызывали перемещение растительной зоны, миграцию животных и жизнедействие первобытного человека.

Исходя из этого, можно предположить, что в голоцене природная среда (ландшафты) Западной Грузии в основном пострадала не от изменения климата, а от вмешательства антропогенного фактора.

**Ключевые слова:** керн; морфодинамика; осцилляция; палеоклимат.

მზის რადიაციის გათვალისწინება შენობების დაპოვნილებისას\*

ლიანა ქართველიშვილი, ლია მეგრელიძე, ლაშარი ქურდაშვილი, ნაირა დეკანოზიშვილი

(გარემოს ეროვნული სააგენტო, ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** შენობების დაპოვნილებისას მნიშვნელოვანია მზის სხივების სითბური მოქმედებისა და განათებულობის გათვალისწინება, ვინაიდან მოსული მზის ენერგიის რაოდენობა განსაზღვრავს შენობის ტემპერატურულ რეჟიმს როგორც ზაფხულის, ისე ზამთრის პირობებში. განსაზღვრულია მზის ნათების ხანგრძლივობა საქართველოს სხვადასხვა რეგიონისათვის და ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული მზის პირდაპირი რადიაციის მნიშვნელობები სეზონურად.

**საკვანძო სიტყვები:** მზის ნათების ხანგრძლივობა; მზის რადიაცია; მიკროკლიმატი; ტემპერატურული რეჟიმი; შენობის ინსოლაცია.

## შესავალი

შენობის შიგნით მიკროკლიმატური თავისებურებების შექმნაში მნიშვნელოვანი როლი ენიჭება მზის რადიაციას, რომელიც მსოფლიო კლიმატის ჩამოყალიბების ერთ-ერთი მთავარი ფაქტორია. განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ამ ელემენტის განსაზღვრა საქართველოსათვის, რომელიც სუბტროპიკული ზონის ჩრდილო საზღვარზე მდებარეობს და ამავე დროს უშუალოდ ჩრდილოეთიდან ცივი ჰაერის მასების შემოჭრისაგან დაცულია კავკასიონის მაღალი მთაგრეხილებით. მზის სხივების სითბური მოქმედებისა და განათებულობის გათვალისწინება აუცილებელია შენობების დაპროექტებისას, ვინაიდან მოსული მზის ენერგიის რაოდენობა განსაზღვრავს შენობის ტემპერატურულ რეჟიმს როგორც ზაფხულის, ისე ზამთრის პირობებში. მზის სითბური მოქმედების ეფექტი დამოკიდებულია წელიწადის დროზე. ზაფხულში იგი უაყოფითად მოქმედებს და შეიძლება გამოიწვიოს შენობის გადახურება და გააუარესოს ამ შენობაში მცხოვრები მობინადრეების საცხოვრებელი პირობები. ზამთარში კი მზის სხივებით გამოწვეული განათება და სითბური ეფექტი დადებით გავლენას ახდენს ადამიანის ჯანმრთელობაზე.

## ძირითადი ნაწილი

მზის სხივების მოქმედება განისაზღვრება დასხივებული მზის ენერგიის რაოდენობით. სითბური ენერგიის იმ რაოდენობას, რომელიც გადაიტანება რადიაციის წყაროდან ერთეულოვანი სხეულოვანი კუთხით და, რომელიც მოდის მზის სხივებისადმი პერკენდიკულარულად მდებარე ერთეულ ფართობზე ერთეულ დროში, ეწყოდება მზის რადიაციის ინტენსიურობა. თუ რადიაციის ინტენსიურობას პერკენდიკულარული ზედაპირიდან გადავიტანოთ სხვა ზედაპირზე, მივიღეთ ინსოლაციას. ე. ი. ინსოლაცია დედამიწის ნებისმიერად დახრილი ზედაპირის მიერ მიღებული მზის რადიაციის ინტენსიურობაა.

\* აღნიშნული პროექტი ხორციელდება შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის ფინანსური ხელშეწყობით (გრანტი №FR /476/9-110/14). წინამდებარე პუბლიკაციაში გამოთქმული ნებისმიერი აზრი ეპუთვნით ავტორებს და, შესაძლოა, არ ასახავდეს საქართველოს სამეცნიერო ფონდის შეხედულებებს.

შენობის ინსოლაცია დამოკიდებულია ბევრ ისეთ ფაქტორზე, როგორიცაა გეოგრაფიული განედი, მზის სხივების დაცემის კუთხე, მზის რადიაციის ინტენსიურობა, წელიწადის დრო, ატმოსფეროს გამჭვირვალობა, რელიეფის ხასიათი, შენობების ურთიერთგანლაგება, ტერიტორიის გამწვანება, ფანჯრების ფორმა, ზომა და სხვ. არსებობს ინსოლაციის გამოთვლის ორი მეთოდი: გეომეტრიული და ენერგეტიკული. ინსოლაციის გამოთვლის გეომეტრიული მეთოდი იძლევა ინსოლაციის განაწილების სურათს. მისი საშუალებით მიმდინარეობს „ჩრდილების აგების“ გეომეტრიული გადაწყვეტა. გამოთვლის შედეგები შეიძლება გამოისახოს როგორც გრაფიკულად (ინსოლირებული ტერიტორიის გრაფიკები), ისე რიცხობრივად. ინსოლაციის გამოთვლის გეომეტრიული მეთოდის საშუალებით შეიძლება განიხილოს მზის სხივების მიმართულება, დრო და ხანგრძლივობა, ამ მეთოდის საშუალებით შეიძლება დადგინდეს:

- მიმდინარეობს თუ არა შენობის ინსოლაცია და თუ ეს ხდება, მაშინ რამდენ ხანს;
- ინსოლაცია დამაბრმავებლად მოქმედებს თუ არა ადამიანის სახეზე დანათებისას;
- განიცდის თუ არა შენობაში მყოფი ადამიანი ინსოლაციის სითბურ მოქმედებას;
- შენობის რომელი ნაწილი განიცდის ინსოლაციას (ინსოლირებული ფართობი, %-ში);
- საჭიროა თუ არა შენობაში მზისგან დამცავი სპეციალური მოწყობილობების გამოყენება ან, პირიქით, ხელოვნური საშუალებების დაყენება მოსული ინსოლაციის გასადიდებლად.

ინსოლაციის ენერგეტიკული მეთოდით გამოთვლა გულისხმობს ინსოლაციის რაოდენობრივ მხარეს. მისი საშუალებით შეიძლება განიხილოს ინსოლაციის შედეგად მიღებული მზის რადიაციის, სითბოსა და სინათლის რაოდენობა დროის მონაკვეთში, ინსოლაციის ენერგეტიკული მეთოდით გამოთვლის შედეგები გამოისახება რადიაციის, სითბოს და სინათლის საზომ ერთულებში.

ამ მეთოდის საშუალებით შეიძლება დადგინდეს:

- შენობაში მოსული მზის სითბოს და სინათლის რაოდენობა და მისი განაწილება;
- ინსოლაციის დაწყების დრო, მიღებული სითბოს რაოდენობა და ხანგრძლივობა.

ინსოლაციის ზემოქმედების შედეგად მიღებული სითბოს გამოანგარიშება შეიძლება ენერგეტიკული მეთოდით, ესთეტიკური და პიგიენური ზემოქმედებისა კი – გეომეტრიული მეთოდით. ინსოლაციის სინათლისებრი ზემოქმედების დადგენისათვის საჭიროა როგორც გეომეტრიული, ისე ენერგეტიკული მეთოდის გამოყენება. კავშირი გამოთვლის ენერგეტიკულ და გეომეტრიულ მეთოდებს შორის განპირობებულია იმით, რომ შენობის ინსოლაციის ზემოქმედების შედეგად მიღებული სითბოსა და სინათლის რაოდენობა დამოკიდებულია მზის სხივების მიმართულებაზე (სიმაღლესა და აზიმუტზე).

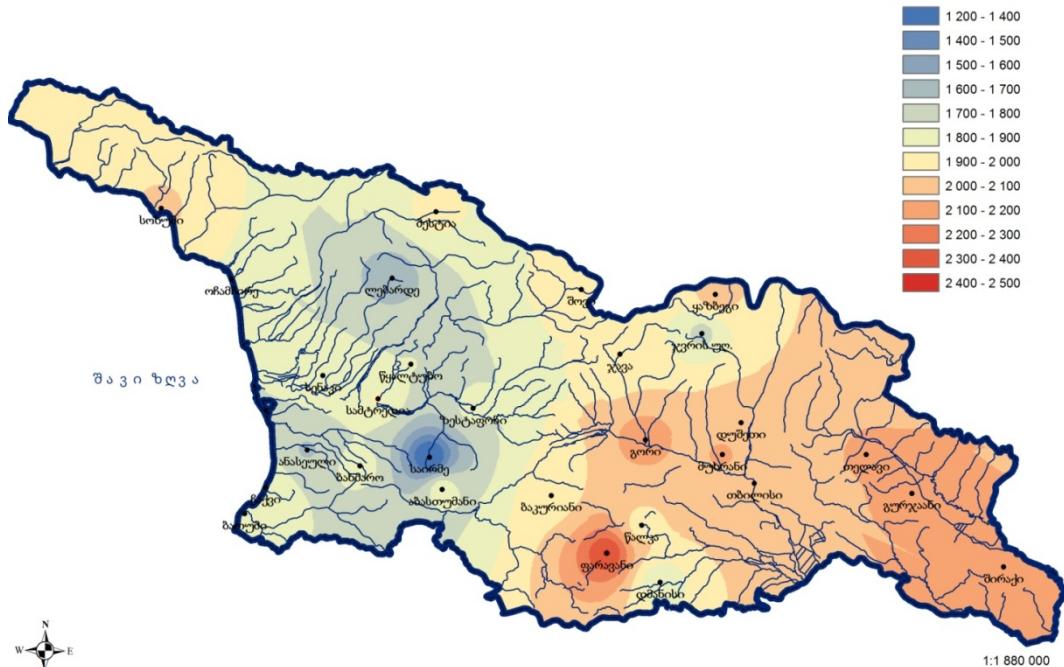
მზის ნათების ხანგრძლივობის განსაზღვრა აუცილებელია სხვადასხვა სახის ნაგებობათა დაპროექტებისას, როდესაც საჭიროა ამა თუ იმ რეგიონის განათებულობის განსაზღვრა წელიწადის სხვადასხვა სეზონის, თვის ან დღე-დამის განმავლობაში და აგრეთვე მზის ენერგიის გამოყენებისას; მაგალითად, საცხოვრებელი სახლის გასათბობად და წყლის გასაცხელებლად.

გამოთვლილ იქნა მზის ნათების ხანგრძლივობის მრავალწლიანი საშუალო რაოდენობა საათების, თვეებისა და წლების მიხედვით სხვადასხვა კლიმატურ პირობებში მდებარე საქართველოს ძირითადი პუნქტებისათვის. მზის ნათების ხანგრძლივობა საქართველოს ტერიტორიული სიმცირისა და ადგილის გეოგრაფიულ განედებს შორის უმნიშვნელო სხვაობათა გამო მკვეთრად არ იცვლება. მზის ნათების ხანგრძლივობას შორის სხვაობა აქ ძირითადად დამოკიდებულია ღრუბლიანობასა და პორიზონტის გაშლილობაზე.

საქართველიში ღრუბლიანობა ზომიერია. აღმოსავლეთ საქართველოში საშუალოდ ღრუბლებით დაფარულია ცის თაღის 50–60 %, ხოლო დასავლეთ საქართველოში – 55–65 %. აქედან გამომდინარე, მზის ნათების ხანგრძლივობა აღმოსავლეთ საქართველოში უფრო მეტია, ვიდრე დასავლეთ საქართველოში. როგორც მონაცემების ანალიზი ცხადყოფს, უდიდესი ღრუბლიანობა დაიკვირვება პარის სანაპიროზე, სადაც მისი საშუალო რაოდენობა წელიწადში 64 %-ია. ნაკლები ღრუბლიანობით გამოირჩევა გარე კახეთი, შიდა ქართლი და მესხეთი (45–55 %). შესაბამისად, ამ რაიონებში მზის ნათების ხანგრძლივობა აუცილებელია 2400–2500 სო-ს აღწევს. ადგილის სიმაღლის მატებასთან ერთად ღრუბლიანობა მკვეთრად იზრდება კავკასიონის სამხრეთ ფერდობზე ზაფხულის თვეებში, რის გამოც აქ მზის ნათების ხანგრძლივობა ზაფხულში შედარებით ნაკლებია, ზამთარში კი – პირიქით, მაღალმთიანი ზონა უფრო მზიანია.

მზის ნათების ყველაზე დიდი ხანგრძლივობა წელიწადში აღინიშნება აღმოსავლეთ საქართველოს სტეპურ რაიონებში (შირაქი – 2124 სთ) და ახალქალაქის ზეგანზე (ფარავანი – 2405 სთ). ეს ძირითადად განპირობებულია მეტეოსადგურის გახსნილობით და ღრუბლის საფრის შემცირებით, რაც მტკიცდება მზის ნათების დაკვირვებული ხანგრძლივობის შესაძლო ხანგრძლივობასთან შეფარდების პროცენტის გაზრდით (ფარავანი – 60 %). დიდი კავკასიონის მთებში, ყაზბეგის გამოკლებით, მცირდება მზის ნათების ხანგრძლივობა და აღწევს 2100 სთ-ს, რაც განპირობებულია ბუნებრივი დაცულობით და ღრუბლიანობის გაზრდით. ყველაზე მცირე მზის ნათების ხანგრძლივობა აღინიშნება მეტეოსადგურ “საირმეში”, რომელიც მდებარეობს ვიწრო ხეობაში და თითქმის ყოველი მხრიდან მთების გარემოცვაშია მოქცეული, განსაკუთრებით სამხრეთი მხრიდან, რის გამოც მზის ნათების ხანგრძლივობა ძალიან დაბალია როგორც ზაფხულის, ისე ზამთრის თვეებში (იხ. ნახ.).

უმზეო დღეების უდიდესი რაოდენობა წლის განმავლობაში აღინიშნება ზღვის სანაპიროს სამხრეთით და კოლხეთის დაბლობის შიგა ნაწილში, სადაც იგი მერყეობს 70-დან 80 დღემდე. უმზეო დღეების უმცირესი რაოდენობა წლის განმავლობაში დაიკვირვება დიდი კავკასიონის მთიან და მაღალმთიან რაიონებში (ფარავანი – 23), აგრეთვე ქართლის ვაკეზე. საქართველოს დანარჩენ ტერიტორიაზე უმზეო დღეების რაოდენობა მერყეობს 50-დან 80-მდე. ზამთრის პერიოდში უმზეო დღეების რაოდენობა არსებითად არ იცვლება. ზღვის სანაპიროზე მოდის უმზეო დღეების ყველაზე მაქსიმალური რაოდენობა, კოლხეთის დაბლობსა და ალაზნის ველზე კი დაახლოებით 9–12 დღეა უმზეო. უმზეო დღეების მინიმალური რაოდენობა აღინიშნება ზამთარში მთიან და მაღალმთიან რაიონებში (ფარავანი, ყაზბეგი – 5 დღე), რაც მტკიცდება მოწმენდილი დღეების დიდი რაოდენობით. ზაფხულის თვეებში უმზეო დღეების რაოდენობა განსახილებელ ტერიტორიაზე არ აღემატება 4-ს. ამავე დროს 2-დან 4-მდე უმზეო დღე მოდის სანაპიროს სამხრეთ რაიონში.



#### მზის ნათების ხანგრძლივობის განაწილების რუკა

მზე სხივური ენერგიის სახით ყოველწლიურად დედამიწასა და ატმოსფეროში გზავნის მთელი გამოსხივებული ენერგიის 1-2 მეტილიარდებ ნაწილს. მზის სხივური ტალღები ატმოსფეროს ზედა საზღვრიდან დედამიწის ზედაპირამდე განიცდის არსებით ცვლილებას. რადგან დედამიწა მზიდან დიდი მანძილითაა დაშორებული, მასზე მოხვედრილი ყველა სხივი შეიძლება ერთმანეთის პარალელურად ჩაითვალოს. ამ სხივურ ნაკადს პირდაპირი რადიაცია ეწოდება. მზის სხივების

ნაწილი ატმოსფეროში არსებული აეროზოლების მიერ გაიძნევა და დედამიწაზე გვევლინება გაბნეული რადიაციის სახით [1].

შეიძლება ითქვას, რომ ჩვენს ქვეყანაში სითბური ენერგიის მთავარი წყაროა პირდაპირი რადიაცია, ხოლო ჩრდილოეთში მზის ენერგიის მოწოდებაში მთავარ როლს ასრულებს გაბნეული რადიაცია (რადგან ჩრდილოეთში ღრუბლიანობა დიდია). პირდაპირი და გაბნეული რადიაცია ერთად ქმნის ჯამურ რადიაციას, რომელიც მზის სხივური ენერგიის ძირითად ნაწილს წარმოადგენს:

$$I_{\text{ჯ.მ.}} = I_{\text{პ.რ.}} + I_{\text{გ.ბ.}} \quad (1)$$

მზის პირდაპირი რადიაცია მზის სხივური ენერგიის ნაწილია, რომელიც დედამიწის ზედაპირზე მოდის პარალელური სხივების სახით. მზის პირდაპირი რადიაციის ნაკადი იზომება იმ ენერგიის რაოდგნობით, რაც მოდის სხივებისადმი პერპენდიკულარულ გარევულ ფართობზე დროის ერთეულში.

მზის პირდაპირი რადიაციის მოსვლა ნებისმიერ ზედაპირზე დამოკიდებულია შემდეგ ფაქტორებზე: ადგილის განედზე, მზის სიმაღლეზე, ზედაპირის ორიენტაციაზე, მისი დახრის კუთხზე, ატმოსფეროს გამჭვირვალობასა და ღრუბლიანობაზე. ზემოთ ჩამოთვლილი ერთ-ერთი სიდიდის შეცვლა გამოიწვევს მზის რადიაციის მოსვლის მნიშვნელოვან ცვლილებებს როგორც რაოდგნობრივად, ისე ხარისხობრივად.

საყოფაცხოვრებო და საზოგადოებრივი მშენებლობის პრაქტიკაში განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია ვერტიკალურ და დახრილ ზედაპირზე მოსული მზის ენერგიის რაოდგნობის გამოთვლა (იხ. ცხრილი).

### შენობების ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული მზის პირდაპირი რადიაცია (მეგზ/მ<sup>2</sup>)

რადიაცია	მუშაობის მდგრადი დანართი											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ანასეული												
სამხრეთის ორიენტაცია	130.2	142.3	131.1	93.3	64.2	47.9	53.5	86.0	119.4	138.8	139.6	142.0
ჩრდილოეთის ორიენტაცია	-	-	-	3.7	11.5	20.2	16.3	4.4	-	-	-	-
თბილისი												
სამხრეთის ორიენტაცია	179.4	183.4	174.0	120.4	80.1	56.9	71.1	101.0	143.1	163.4	145.1	164.9
ჩრდილოეთის ორიენტაცია	-	-	-	4.7	14.3	24.0	21.6	5.2	-	-	-	-
თორსა												
სამხრეთის ორიენტაცია	175.6	146.4	138.0	91.4	65.8	42.3	49.6	78.1	111.1	141.0	140.6	155.7
ჩრდილოეთის ორიენტაცია	-	-	-	3.6	11.7	17.8	15.1	4.0	-	-	-	-
სოხუმი												
სამხრეთის ორიენტაცია	228.2	202.1	182.5	135.4	91.6	74.6	92.0	130.4	160.5	197.4	205.6	208.6
ჩრდილოეთის ორიენტაცია	-	-	-	4.4	13.5	23.0	21.5	5.3	-	-	-	-
თბილავი												
სამხრეთის ორიენტაცია	175.6	146.4	138.0	91.4	65.8	42.3	49.6	78.1	111.1	141.0	140.6	155.7
ჩრდილოეთის ორიენტაცია	-	-	-	3.6	11.7	17.8	15.1	4.0	-	-	-	-

დახრილ ზედაპირზე მოსული მზის რადიაციის გამოსათვლელი ფორმულა (2) გამოყვანილ იქნა ა. გორდოვის [2] მიერ:

$$i\alpha\beta = (x \cos \alpha + y \sin \alpha) \sin \beta + z \cos \beta. \quad (2)$$

ამ ფორმულაში შედის მზის სიგებისადმი პერპენდიკულარულ ზედაპირზე მოსული მზის რადიაცია.

ზოგჯერ აუცილებელია გამოთვლების ჩატარება პორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული რადიაციის საშუალებით. ამისათვის საჭიროა  $I_L$ -ის გადაყვანა  $I_{\pm}$ -ში, რომელიც ტოლია:

$$I_{\pm} = I_L \sin h, \quad (3)$$

სადაც  $I_{\pm}$  არის პორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის პიდაპირი რადიაციის ნაკადი. თუ შევიტანო ამ გამოსახულებას გორდოვის ფორმულაში მივიღებთ:

$$i\alpha\beta = I [ctg h \cos (A + \alpha) \sin \beta + \cos \beta]. \quad (4)$$

ამ ფორმულისა და კლიმატური ცნობარის (რომელშიც მოცემულია პორიზონტალურ ზედაპირზე მოსული მზის რადიაციის მნიშვნელობები სხვადასხვა სეზონისათვის) საშუალებით შეიძლება ნებისმიერად ორიენტირებულ ვერტიკალურ ზედაპირზე მოსული მზის პირდაპირი რადიაციის რაოდენობის გამოთვლა (იხ. ცხრილი).

საქართველოს ზოგიერთი პუნქტისათვის განსაზღვრულია რადიაციის თვიური და წლიური ჯამები და საშუალო თვიური ალბედო (%) საკვლევი პერიოდის მიხედვით, ასევე მზის რადიაციის, რადიაციული ბალანსის საშუალო თვიური და წლიური ჯამები და საშუალო თვიური ალბედო. მოკლეტალდიანი რადიაციის (პირდაპირი, გაბნეული, ჯამური) და რადიაციული ბალანსის ჯამები განისაზღვრება ვადიანი დაკვირვებების მონაცემების მიხედვით.

## დასკვნა

ინსოლაციის გამოთვლის ენერგეტიკული მეთოდი გულისხმობს ინსოლაციის რაოდენობრივ მხარეს. მისი საშუალებით შეიძლება განისაზღვროს ინსოლაციის შედეგად მიღებული მზის რადიაციის, სითბოსა და სინათლის რაოდენობა დროის გარკვეულ მონაკვეთში. ინსოლაციის ენერგეტიკული მეთოდით გამოთვლის შედეგები გამოისახება რადიაციის, სითბოს და სინათლის საზომეროებებში.

მზის ნათების სანგრძლივობის განსაზღვრა აუცილებელია სხვადასხვა სახის ნაგებობათა დაპროექტებისას, როდესაც საჭიროა ამა თუ იმ რეგიონის განათებულობის განსაზღვრა წელიწადის სხვადასხვა სეზონის, თვის, ან დღე-დამის განმავლობაში და აგრეთვე მზის ენერგიის გამოყენებისას, მაგალითად, საცხოვრებელი სახლის გათბობისა და წყლის გაცხელებისას.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

- ლ. ქართველიშვილი. კომპლექსური კლიმატური პარამეტრების გათვალისწინება მშენებლობაში. თბ., 2006.
- Руководство по специализированному климатическому обслуживанию экономики (под ред. проф. Н. В. Кобышевой). С.-П., 2008.

**CONSIDERATION OF SOLAR RADIATION IN THE DESIGN OF BUILDING**

**L. Kartvelishvili, L. Megrelidze, L. Kurdashvili, N. Dekanozishvili**

(National Environmental Agency, I. Javakhishvili Tbilisi State University)

**Resume:** In the design of buildings great attention is paid to the account of thermal effects of sunlight and illumination, because the amount of incoming solar radiation determines the thermal conditions of buildings in summer and winter seasons. Sunshine duration for the different regions of Georgia and the amount of direct solar radiation incoming on a vertical surface have been defined in the paper.

**Key words:** insolation of buildings; microclimate; solar radiation; sunshine duration; temperature control.

**ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ**

**УЧЕТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ**

**Картвелишвили Л. Г., Мегрелидзе Л. Д., Курдашвили Л. Р., Деканозишвили Н. И.**

(Национальное агентство окружающей среды, Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили)

**Резюме.** При проектировании зданий большое внимание уделяется учету тепловых воздействий солнечных лучей, а также освещенности, т. к. количество приходящей солнечной энергии определяет тепловой режим зданий как в летних, так и в зимних условиях. В работе определены продолжительность солнечного сияния для различных регионов Грузии и количество прямой радиации, приходящейся на вертикальную поверхность.

**Ключевые слова:** инсоляция зданий; микроклимат; продолжительность солнечного сияния; солнечная радиация; температурный режим.

## ძარბორბალას, იბივე ტორნადოს წარმოშობის არსი

### გიზო გაშაკიძე

(ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** წარმოდგენილია მავნე მუტეოროლოგიური მოვლენის – ტორნადოს გენერაციის მიზეზები. მისი წარმოშობის წინაპირობაა ტემპერატურის არათანაბარი განაწილება (ცივი ცენტრი – ცხელი გარემო). ხმელეთზე ასეთი ტიპის ტემპერატურული განაწილება შესაძლოა გამოიწვიოს განცალკევებით მდგარმა კლდემ, კანიონმა და ა.შ. ამ დროს ცენტრში ყალიბდება დაღმავალი ცივი ჰაერის სვეტი, ხოლო გარშემო – აღმავალი თბილი ჰაერის ნაკადი. ჰაერის ამგვარი მოძრაობა განაპირობებს სპეციფიკური ფორმის დრუბლის ჩამოყალიბებას და სათანადო პირობებში მოხვედრისას იგი ტორნადოს “დედალრუბლად” გვევლინება. სტატიაში განხილულია ტორნადოს პრევენციის გზაც, რაც გულისხმობს სათანადო ტექნოლოგიური განვითარების ეტაპზე ტორნადოს წარმოშობის კერის განეიტრალიზების შესაძლებლობას.

**საკვანძო სიტყვები:** პირამიდა; ტემპერატურა; ტორნადო; დრუბლი.

### შესავალი

ზღვებისა და ოკეანეების ზედაპირზე წარმოქმნილ ქარბორბალას „სმერჩს“ უწოდებენ, ხმელეთზე წარმოქმნილს კი – „ტრომბს“. ამერიკაში იგი „ტორნადოს“ სახელითაა ცნობილი. ტორნადოს მიაკუთვნებენ ადგილობრივი ქარების ჯგუფს, რომლის წარმოშობა დაკავშირებულია გროვა-წვიმის დრუბელთან. ამ დრუბლის ქვედა ნაწილში წნდება ჰაერის სპირალისებრი მოძრაობა ვერტიკალური დერძის გარშემო. განვითარების პროცესში ტორნადოს ყელი ეშვება დედამიწის ზედაპირდე და კ. წ. დედა-დრუბელთან ერთად გადაადგილდება ჰორიზონტალურად. მის ცენტრში წნევა იმდენად ეცემა, რომ შეუძლია უმძიმესი საგნების ცაში ატაცება.

ქარების წარმოქმნა ძირითადად ტემპერატურის არათანაბარი განაწილების მიზეზია. შესაბამისად, ბუნებაში უნდა არსებობდეს ისეთი ტიპის ტემპერატურული განაწილება, რომელიც ტორნადოს შექმნის წინაპირობა ხდება.

დედამიწაზე არსებობს ტორნადოს ხელოვნურად წარმოქმნის მეტად საინტერესო პრეცედენტი. ძველმა ეგვიპტელებმა რელიეფის შეცვლით შექმნეს ხელოვნური პოლიგონი. მათ ააგეს ბუნებაში არსებული კლდის ფორმის თეთრი ფერის ქვით მოპირკეთებული პირამიდა, რომელიც თავისი გაბარიტის, თეთრი ფერის კედლის (იგულისხმება მისი პირგანდელი სახე) და კედლის დახრის კუთხის მეშვეობით ახდენდა ტემპერატურის არათანაბარ განაწილებას. ამ დროს ცივი ცენტრი იყო პირამიდა, ცხელი გარემო კი – პირამიდის გარშემო ტერიტორია. ხეოფესის პირამიდის თეთრი კედლი აირგვლავდა შეადლის მზის სხივს და მის გარშემო ტერიტორიაზე იქმნებოდა ჯამური რადიაცია (არეკვლილ სხივს დამატებული ამ ტერიტორიაზე პირდაპირ დაცემული სხივი), ხოლო თავად თეთრი პირამიდა ინარჩუნებდა სიცივეს. ტემპერატურის ასეთი მკვეთრი ცვლილებით შეიძლება შეიქმნას ტორნადოს მასტიმულირებელი გარემო, რაც სხვა პირობებთან ერთობლიობაში (ტენიანობა, სრული შტილი და სხვ.) შესაძლოა დაგვირგვინდეს ტორნადოს წარმოშობით.

### ძირითადი ნაწილი

წინამდებარე სტატიაში შევცდები ავხსნა, თუ როგორ ყალიბდება ტორნადო ბუნებრივად და არის თუ არა თანხვედრაში ტორნადოს ბუნებრივი წარმოქმნა მის ხელოვნურად გამოწვევის

თეორიასთან. ტორნადო შემჩნეულია იმ ადგილებშიც, სადაც არ არსებობს ზემოაღნიშნული ტემპერატურის მკვეთრი ნახტომის საჭირო პირობები, მაგალითად, ტყეების, მინდვრების, ოკეანეებისა და ზღვების თავზე. ასეთი ერთგვაროვანი ზედაპირის მქონე ტერიტორიები თანაბრად თბება და თანაბრად ათბობს მათთან შეხებაში მყოფ ჰაერის მასებს. აქედან გამომდინარე, ეს ტერიტორიები არ იძლევა ჰაერის ტემპერატურის არათანაბარი განაწილებისათვის საჭირო მიზეზებს. ამ ტერიტორიებზე არ ყალიბდება ციფი ჰაერის სვეტი (ისეთი, როგორიც ყალიბდებოდა ხელოვნური კლდის – თეთრი პირამიდის თავზე), რამაც ხელი უნდა შეუწყოს ტორნადოს გენერაციას.

ისმის კითხვა: რა მიზეზებით ყალიბდება ასეთ ტერიტორიაზე ტორნადო?

აღნიშნული საკითხის გამოსაკვლევად შეიძლება გამოვიყენოთ ქ. ბათუმის სანაპიროზე 2002 წელს მომხდარი ტორნადოს ფოტომასალა (ნახ. 1).

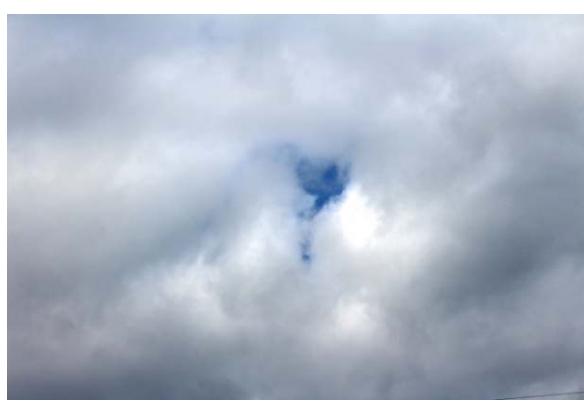
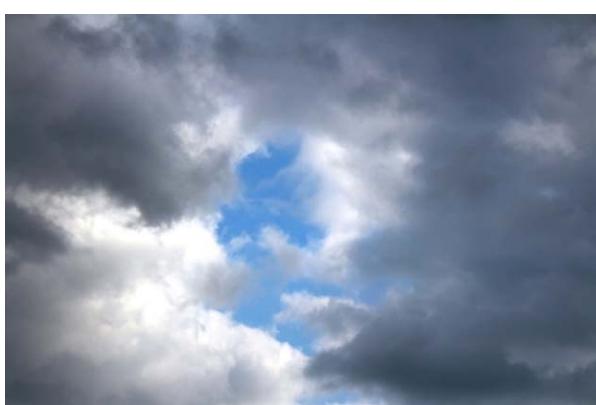
ფოტოზე ცა მუქი ფერის ბელტისებრი ფორმის სქელი ღრუბლებითაა წარმოდგენილი. მუქი ფერის ღრუბლების შეერთების ადგილებში მზის სხივის შუქიც ნათლად ჩანს, რაც იმის მანიშნებელია, რომ ამ ადგილებში ღრუბელი გაცილებით თხელია. თვითმხილვები ყვებიან, რომ ბათუმში ამ დღეს საქმაოდ ცხელოდა, ჰაერი უძრავად იდგა და ძლიერი ტენიანობა იგრძნობოდა. ღრუბლები ნელა მოძრაობდა ზღვიდან ხმელეთისაკენ. სანაპიროზე ოდნავ ჩამობნელდა, რის შემდეგაც ღრუბლებიდან ზღვისკენ ჩამომავალი სვეტი დაეშვა.



ნახ. 1. ტორნადოს ამსახველი ფოტოები (ბათუმი, 2002 წელი)

ამ მონაცემიდან საგულისხმოა მზის შუქის კლების ფაქტი, რაც იმის მაუწყებელია, რომ ღრუბელი სისქეში იზრდებოდა, რის გამოც მზის სხივს გაუჭირდა სანაპირომდე ჩამოდწევა.

თუკი მიმდინარე პროცესის უკუქრონომეტრაჟს განვიხილავთ, მაშინ უნდა წარმოვიდგინოთ ღრუბელთა სისტემა მისი სიდიდეების შემცირების მიხედვით. ასეთ შემთხვევაში ბათუმის ტორნადოების ფოტოებზე აღმოჩენილი და ფერის თხელი ღრუბლის ფენა რამდენიმე წუთის ან რამდენიმე ათეული წუთის წინ საერთოდ არ იარსებებდა და მის ადგილას იქნებოდა დაახლოებით ისეთი ხვრელი, როგორიც წარმოდგენილია მე-2 ნახ-ზე.

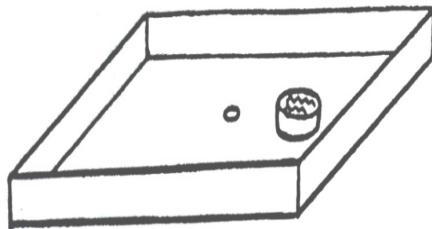


ნახ. 2. ნახვეტიანი ღრუბლები

იმისათვის, რომ ღრუბელმა დაიწყოს ზრდა, გამუქება და ცის სრული დაფარვა, საჭიროა ზღვიდან აორთქლებულ ტენიან პაერს დახვდეს ცივი პაერი, რაც გამოიწვევს ტენიანი პაერის ღრუბლებად გარდაქმნას. ღრუბელი ხდება გამყოფი ფენა ზღვიდან აორთქლებულ თბილ ტენიან პაერსა და ციდან ჩამოწოლილ ცივ პაერს შორის.

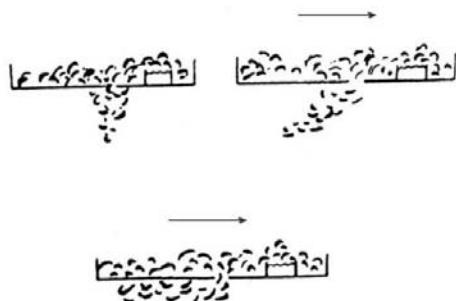
ღრუბლების გაზრდის შემთხვევაში აღნიშნული ხვრელები შესაძლოა საერთოდ ამოიქოლოს. მაგრამ რა მოხდება აღნიშნული ხვრელების ამოვსებამდე? ამის გასარკვევად შეიძლება ჩავატაროთ მცირე მოდელირება იმისა, თუ რა ხდება მაშინ, როდესაც ხვრელებიანი ღრუბლები წარმოგვიდგება გამყოფ ფენად ტენიან თბილ პაერსა და ცივ პაერს შორის.

ცდის ჩასატარებლად გამოვიყენეთ 60X60 სმ ზომის მუყაოს ფირფიტა, რომელსაც გაგუკეთეთ ნახვრეტი და სარტყელი. ამ მუყაოს კოლოფში მოვათავსეთ წყლიანი ჭურჭელი. შიგ ჩავყარეთ შშრალი ყინული, საიდანაც ამოვიდა ცივი ორთქლი (ნახ. 3). ამ შემთხვევაში ნახვრეტიანმა მუყაოში შეასრულა ხვრელებიანი ღრუბლის როდი; ჭურჭლიდან ამოსული ცივი ორთქლი გადმოიდგარა ჯერ კოლოფზე, შემდეგ კი ნახვრეტიდან დაეშვა ვერტიკალურად ქვევით.



ნახ. 3

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ბათუმის ტორნადოს შემთხვევაში ღრუბლები მოძრაობდა ხმელეთისაკენ, ამიტომ ექსპერიმენტისას ნახვრეტიანი მუყაო გავატარეთ პაერში პორიზონტალურად. შედეგად ვერტიკალურად ქვემოთ მოძრავი ცივი ორთქლის სვეტი გადაიხარა მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებით, ხოლო სიჩქარის კიდევ უფრო გაზრდისას ცივი პაერის სვეტი სრულიად აეკრა მუყაოს (ნახ. 4). წარმოვიდგინოთ, რომ აღნიშნულმა ნახვრეტიანმა ღრუბელმა ექსპრიმენტის მსგავსად შემოუშვა მის თავზე მოძღვარი ცივი პაერის ნაკადი. შემდგომ ხვრელები გადაიკეტა, ღრუბლების ქვეშ შემოსული ცივი პაერი თბილი გარემოს ტყველებაში მოექცა, რამაც საბოლოოდ ტორნადო გამოიწვია.



ნახ. 4

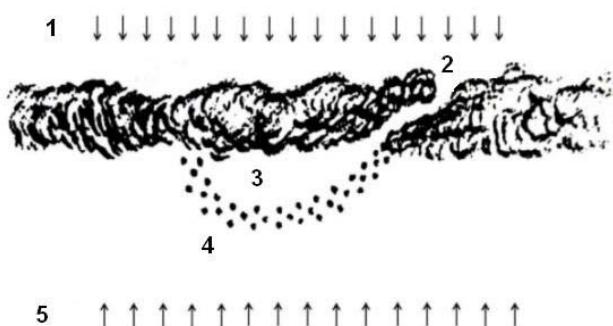
ამ აზრის სისწორეს ადასტურებს ის არგუმენტი, რომ ბათუმში გადაღებულ ფოტოზე (ნახ. 1) შავ ღრუბლებს შორის რამდენიმე ნათელი წერტილია, რაც ცივი პაერის შემოჭრის გზებზე მიუთითებს. აქ არა ერთი, არამედ რამდენიმე ტორნადოს სვეტი ჩანს. ეს თანხვედრა არ უნდა იყოს შემთხვევითი. ადსანიშნავია შემდეგი თანხვედრაც: ფოტოზე ტორნადოს სვეტები ეშვება არა ნათელი წერტილებიდან, არამედ მის მახლობლად არსებული მუქი ფერის ღრუბლებიდან. აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ წარმოდგენილი ტორნადოები ჩაისახა და დაეშვა იქ, სადაც მოხდა ცივი პაერის დაგროვება, ე. ი. ხვრელის მახლობლად. ამ ადგილას სწრაფი კონდენსაციის

შედეგად უველაზე მეტადაა გაზრდილი ღრუბელი, ეს ადგილი ცივი და თბილი ტენიანი ჰაერის შეხვედრის ადგილს წარმოადგენს, სადაც, როგორც ვხედავთ, მოხდა ტორნადოს გენერაცია.

ტორნადოს სხვა ფოტოებზეც კარგად ჩანს მუქ ღრუბლებს შორის დია ფერის ფრაგმენტები. ასეთი საცრისებრი ღრუბელი ხაფანგის ეფექტს იძლევა. ის ცივი ჰაერის მასის ღრუბლის ქვეშ მოქცევას უწყობს ხელს. იქ ცივი ჰაერის გარშემო იწყება კონდენსაციის პროცესი, რაც ტორნადოს გენერაციით გვირგვინდება. ვიდრე აღვწერდეთ იმ პროცესს, თუ როგორ ყალიბდება ტორნადოს შიგა მექანიზმი, აღვნიშნავ, რომ სწორედ საცრისებრი ღრუბლის ჩამოყალიბებისათვის აშენდა თეთრი პირამიდა, ანუ ხელოვნური კლდე, რომელიც ინარჩუნებს სიცივეს; შემდეგ ამ სიცივეს გადასცემს მის თავზე არსებულ ჰაერს და ამით ცივი ჰაერის სვეტის ჩამოყალიბებას უწყობს ხელს. საპირისპირო რამ ხდება პირამიდის გარშემო ტერიტორიაზე: ჯამური რადიაციისგან გახურებული ტენიანი ჰაერი ცისკენ მიემართება; აღნიშნული პროცესი ცივი სვეტის გარშემო საცრისებრ ღრუბელს წარმოქმნის.

აქედან გამომდინარე, შეიძლება ითქვას, რომ საცრისებრი ღრუბლის ჩამოყალიბება შეიძლება მოხდეს როგორც დედამიწაზე არსებული ტემპერატურის არათანაბარი განაწილების ზეგავლენით, ისე ღრუბელთა ქაოსური შეერთებით, რის შედეგადაც ცივი ჰაერი ექცევა ღრუბლის ქვეშ. სწორედ ამ ეტაპის მერე, ანუ ცივი ჰაერის ღრუბლის ქვემოთ მოქცევის შემდგომ, პირამიდის თუ კლდის თავზე, ზღვაზე თუ ტრიალ მინდორში ტორნადოები ერთნაირად ვითარდება და მათი განვითარების მექანიზმი შეიძლება აისხნას ბათუმის ტორნადოს მაგალითზე (ნახ. 1), სადაც ციური სივრცის ღრუბლებით სრული გადაფარვის შემდეგ წყდება ჰაერის ცირკულაცია და ცივი ჰაერი ვეღარ აღწევს დედამიწამდე ამასთან, წყლის ზედაპირი რამდენიმე საათის განმავლობაში ინარჩუნებს სითბოს და, შესაბამისად, ამ სითბოს გადასცემს მასთან შეხებაში მყოფ ჰაერს, რის შედეგადაც ტენიანი თბილი ჰაერი აგრძელებს მოძრაობას მაღლა, ღრუბლებისაკენ, ანუ იმ მიმართულებით, სადაც მოძრაობა გადაკეტილია. ამის შემდეგ ღრუბლის ქვედა სივრცეში წნევა მატულობს და, რადგან უსასრულოდ ამ პროცესის განვითარება შეუძლებელია, წნევა საჭიროებს დაგროვილი ენერგიისაგან დაცლას. სწორედ ამ ენერგიის დაცლისკენ სწრაფვა ხდება ტორნადოს ჩამოყალიბების მიზეზი. დაგროვილმა ჰაერმა უნდა იპოვოს ჩაკეტილი სივრციდან გასასვლელი ხერელი. ღრუბლის ქვემოთ მოქცეული ცივი ჰაერის არეალია ის ადგილი, საიდანაც თანხათანობით ხდება გზის გაკაფვა ღრუბლის ფენებს შორის ცისკენ. ეს ღრუბელია ტორნადოს დედალრუბელი. აქედან ეშვება ტორნადოს სვეტი დედამიწისკენ. ტორნადოს სვეტში მართლაც არის გასასვლელი ღრუბლის გავლით ცისკენ. თვითმხილველები აღნიშნავენ, რომ ტორნადოს ცენტრში არსებობს ერთგვარი ხვრელი, სადაც ჰაერი ვერტიკალურად მაღლა (ცისკენ) მიედინება და თან უველავერ იზიდავს.

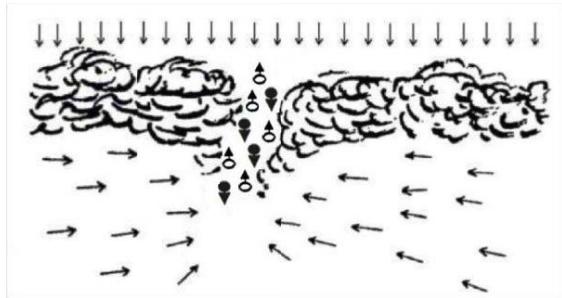
რატომ ჩნდება აღნიშნულ ღრუბლებში არსებული ხვრელი?



ნახ. 5. ღრუბლის ქვეშ მოქცეული ცივი ჰაერის არეალთან თბილი ჰაერის შეხების მომენტი: 1 – ღრუბლის ზემოთ მყოფი ცივი ჰაერი; 2 – ღრუბლები გამავალი ცივი ჰაერის ხვრელი; 3 – ღრუბლის ქვეშ მოქცეული ცივი ჰაერის მასა; 4 – კონდენსაციის ზოლი; 5 – ტენიანი თბილი აღმავალი ჰაერი

განვიხილოთ მე-5 ნახ-ზე წარმოდგენილი ღრუბლის ქვეშ მოქცეული ცივი ჰაერის არეალთან თბილი ტენიანი ჰაერის შეხების პროცესი. აღნიშნულ სივრცეში უჯრედი ჰაერს შორდება. ჰაერის უჯრედი გაცივების გამო იგუმშება, რის შედეგადაც მასში არსებული ტენის უჯრედი ჰაერს შორდება. ამ ორ ერთმანეთისაგან განცალკევებულ უჯრედს თავთავისი გზა აქვს. ტენი შედარებით

მძიმეა და ის მიემართება ქვემოთ, ხოლო ტენისაგან გათავისუფლებული თბილი პაერის უჯრედი ვერტიკალურად მაღლა გზის გაკვლევის ძალას შეიძენს. ამ ძალით იგი გაკვეთს დრუბელს და გაიჭრება ცაში. რამდენიმე ასეთი უჯრედის გასვლა დრუბლის ზემოთ იქნება იმ ენერგიის დაცლის დასაწყისი, რა ენერგიაც დრუბელსა და დედამიწას შორის დაგროვდა. ამიტომაც აღმავალი თბილი ტენიანი პაერის მიმართულება იქნება იქით, საითაც ჩამოყალიბდება პირველი გამავალი გზა დახურულ სივრცეში (ნახ. 6).

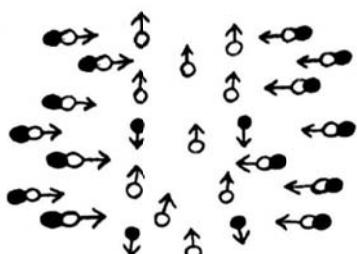


↑ – აღმავალი პაერის უჯრედი

↓ – დაღმავალი ტენის უჯრედი

ნახ. 6

რა გზას ირჩევს ის უჯრედი, რომელიც ტენის სახით გამოეყო აღმავალი პაერის უჯრედს? განვიხილოთ მე-7 და მე-8 ნახ-ები. აღსანიშნავია, რომ ტენის უჯრედი ხილული ხდება, დრუბლის ფერს იღებს და ამიტომაც ვხედავთ ტორნადოს ყელს. დაღმავალი ტენის უჯრედები მოქცეულია ორ მოძრაობას შორის, რის გამოც მათი სვლა აბსოლუტურად ვერტიკალური ვერ იქნება – იგი გადაიხება, რადგან ტენიანი თბილი პაერის მასის დაწოლა მასზე პორიზონტის თოხივე მხრიდან ხდება. ამის შედეგად მისი ერთადერთი გზა დაღმავალი სპირალისებრი მოძრაობაა.

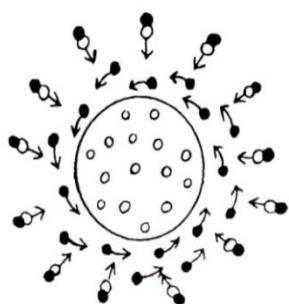


↗ – ტენიანი თბილი პაერი;

↓ – აღმავალი, ტენისაგან გამოთავისუფლებული პაერის უჯრედი;

♦ – დაღმავალი ტენის უჯრედი.

ნახ. 7



● – აღმავალი პაერი;

↗ – დაღმავალი ტენის უჯრედი;

↗ – ტენიანი პაერი.

ნახ. 8

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ტორნადოს ჩამოყალიბება დაკავშირებულია კონდენსაციის პროცესთან, ანუ პროცესთან, როცა პაერისა და ტენის უჯრედები ტემპერატურული ცვლილებების გამო ერთმანეთს შორდება. აღნიშნული მოვლენის საწყისი ეტაპი ძალზე ნელა და წყნარად მიმდინარეობს და ასევე წყნარად გაგრძელდებოდა იგი, რომ არა პაერისა და ტენის დაშორების სხვა, მექანიკური მექანიზმის ამოქმედება, რაც ხახუნის ძალით მიიღწევა. როგორც ნახაზებიდან ჩანს, სამ სხვადასხვა

მიმართულების მოძრაობაში მყოფ პაერის უჯრედებს შორის მდლავრი ხახუნი წარმოიქმნება, რაც ტენისა და პაერის მექანიკურ დაშორებას უწყობს ხელს, რის გამოც ტორნადო უდიდეს სიჩქარეს და ძალას იძენს. აღნიშნული მეტეოროლოგიური პროცესი გადადის აგრეგატულ მდგომარეობაში. ვფიქრობ, ტორნადო არის ერთგვარი გენერატორი, რომელშიც მიმდინარეობს ტენისა და პაერის როგორც ტემპერატურული (საწყის ეტაპზე), ასევე მექანიკური დაშორების პროცესი, რის შედეგადაც ბუნება თავად პოლიტიკური გასასვლელს დრუბლის ქვეშ დაგროვილი ენერგიის დასაცლელად.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ბათუმში მომხდარი ტორნადოს მაპროვოცირებელი, საცრისებრი და ხაფანგისებრი ეფექტის მქონე დრუბლი შესაძლოა ჩამოყალიბდა შემთხვევით დრუბლთა ფენების ქაოსური შეერთების შედეგად, ან შავი ზღვის დასავლეთ სანაპიროებთან არსებული რომელიმე კლდის თავზე, ან კიდევ სხვა ობიექტის თავზე, რომელიც ახდენს ტემპერატურის მკვეთრ არათანაბარ განაწილებას (ციფრიცნტრი – ცხელი გარემო). ამან ხელი შეუწყო საცრისებრი დრუბლების ჩამოყალიბებას, რომლებიც შემდეგ დაიძრა აღმოსავლეთით და მიაღწია ბათუმის სანაპიროს, სადაც დახვდა ტორნადოს გამომწვევი კლიმატური პირობები, კერძოდ:

- ტენისანი პაერი;
- სრული შტილი;
- დრუბლების ზემოდან მომდინარე ციფრი პაერის მასები;
- დრუბლების ქვემოდან აღმავალი თბილი, ტენისანი პაერი.

ყოველივე ამან განაპირობა ტორნადოს საბოლოოდ ჩამოყალიბება. ასევე შეიძლება ითქვას აშშ-ში მომხდარი ტორნადოების შესახებაც:

1. აშშ-ში საცრისებრი დრუბლები წარმოიქმნება იმ ობიექტების მეშვეობით, რომლებიც ხელს უწყობს ტემპერატურის არათანაბარ განაწილებას (იგულისხმება ციფრიცნტრი – ცხელი გარემო). ასეთი ობიექტებია კლდეები, კანიონები და ა. შ., რომლებიც მრავლადაა ჩრდილო ამერიკის ტერიტორიაზე. შემდეგ საცრისებრი დრუბლები გადაადგილდება და ვრცელდება ამერიკის მთელ ტერიტორიაზე. სწორედ ისინი წარმოადგენენ ტორნადოს მაპროვოცირებელ ერთ-ერთ კომპონენტს და თუ მათ მიაღწიეს ისეთ ტერიტორიას, სადაც ტორნადოს წარმოქმნისათვის საჭირო სხვა პირობებიც დახვდებათ, ამ შემთხვევაში ტორნადოს დაბადება გარდაუვალია;

2. აშშ-ის ტერიტორიაზე საცრისებრი დრუბლების ჩამოყალიბება არა მარტო კლდეებისა და კანიონების თავზეა შესაძლებელი, არამედ ნებისმიერ ადგილას, სადაც დრუბლები ქაოსურად მოძრაობს და ერთდება, ტოვებს ხერელებს შეერთების ადგილებში, რაც ტორნადოს წარმოქმნის წინაპირობაა;

3. შესაძლოა, აშშ-ში ორივე ვარიანტი ერთად მოქმედებდეს, რის გამოც იქ ტორნადოების ასეთი სიმრავლეა.

მე-9 ნახ-ზე განლაგებული ფოტოების თანმიმდევრობა წარმოადგენს ზემოაღნიშნული თეორიის შემოწმების თვალსაჩინო მაგალითს:

მე-9 ნახ-ის 1-ლ და მე-2 ფოტოებზე გადადებულია 2002 წელს ბათუმში მომხდარი ტორნადოები, რომლებიც ჩამოყალიბებულია საცრისებრი დრუბლების ზემოქმედებით; მე-3-ზე – აშშ-ის ტერიტორია, სადაც კლდეების თავზე ჩამოყალიბდა საცრისებრი დრუბლელი. ამ დრუბლებში არსებულ ხვრელში აშეარად ჩანს ელფა. ამ ხვრელიდან კლდის თავზე ჩამოყდინება ციფრი პაერი და დრუბლის ქვემოთ არსებულ თბილ პაერთან შეჯახებისას გაელვებით სრულდება. ეს კი იმაზე მიუთითებს, რომ კლდეს შეუძლია სიცივის შენარჩუნების ხარჯზე შექმნას დაღმავალი ციფრი პაერის დინება, ხოლო დრუბლების ჩამოყალიბების შემთხვევაში – ე. წ. საცრისებრი ნახვერებიანი დრუბლელი, რაც შესაბამის პროცესთა განვითარების შემთხვევაში სრულდება ტორნადოს ჩამოყალიბებით; ხოლო მე-4-ზე – პირამიდა, იგივე ხელოვნური კლდე, რომელიც სწორედ ისე დგას, როგორც აშშ-ის ბუნებრივი კლდე (იგულისხმება სწორ ზედაპირზე განმარტოებით დგომა). განსხვავება მათ შორის მხოლოდ ისაა, რომ პირამიდას უფრო დახვეწილი პქონდა ის პარამეტრები, რაც უზრუნველყოფდა მკვეთრ ტემპერატურულ ნახტომს: ციფრიცნტრი – ცხელი გარემო (საუბარია პირამიდის პირველ სახეზე; თეორი სარკისებრად გაპრიალებული ქვა გარე მოპირკეთებისათვის და დახრის 52<sup>0</sup>-იანი ჯუთხე, რომელიც უზრუნველყოფდა შეადგის მზის სხივის მაქსიმალურ არეალს გარშემო ტერიტორიაზე). ასეთი ტემპერატურული ნახტომი განაპირობებს ე. წ. საცრისებრი დრუბლის ჩამოყალიბებას. ეს კი ხელს უწყობს ტორნადოს გენერაციას, რითაც იკვრება წრე.

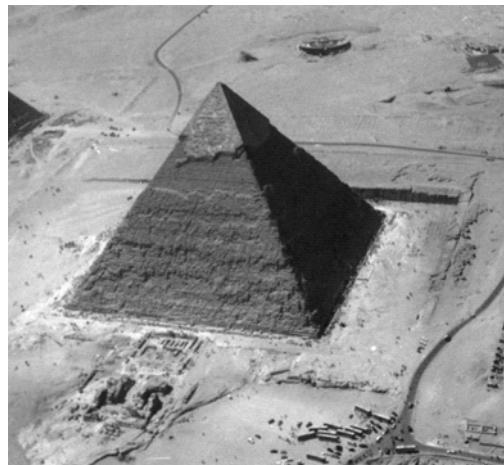
1



2



3



4

#### ნახ. 9

### დასკვნა

ატმოსფეროში მიმდინარე მეტეოროლოგიური მოვლენების შესწავლა და ამინდის პროგნოზირება მეტეოროლოგიის ძირითადი ამოცანაა. ტორნადოს პროგნოზირება და მისგან თავის დაცვა ურთულეს პრობლემად რჩება. ტორნადოს პრევენცია შესაძლებელი იქნება მაშინ, თუ მეცნიერება თანამედროვე ტექნოლოგიებით შეძლებდა ჰაერის ტემპერატურის უფრო დიდ დისტანციაზე გაზომვას. ასეთი დანადგარი საშუალებას მოგვცემს დავაფიქსიროთ ღრუბლის ქვეშ დაგროვილი ცივი ჰაერის მასა, რომელიც თბილი, ტენიანი ჰაერის გარემოცვაშია მოქცეული. სივრცის ამ არეალზე მექანიკური ზემოქმედებით (ავიაციის გამოყენებით და სხვ.) ცივი და ცხელი ჰაერის ერთმანეთში არევა გაათანაბრებს ტემპერატურას ღრუბლის ქვედა სივრცეში, რითაც დაირღვევა ტორნადოს გენერაციის წინაპირობა და დაგროვილი ენერგია ტორნადოს სახით კი არ მოგვევლინება, არამედ – ელჭექად, წვიმად ან კიდევ რაიმე სხვა სახით დაიცლება.

### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Монина А. С., Шишков Ю. А. История климата. Л., 1979.
2. Елбрах Питер. Трагедии Пирамид. М., 1984.
3. Замаровский В. Их Величество Пирамиды. М.: Наука, 1981.
4. Статистическое, географическое и типографическое описание Египта/ Пер. с немецкого языка. С.-П., 1795.
5. Наливкин Д. В. Ураганы, грозы и вихри. Л.: Наука, 1969.
6. Аббас Шалаби. Весь Египет. Италия, 1996.
7. გიზო ვაშაკიძე. პეტრონალური ტორნადო ფარაონის სულისთვის. თბ., 2003.

**THE ESSENCE OF THE WHIRLWIND, OR TORNADO GENERATION**

**G.Vashakidze**

(I. Javakhishvili Tbilisi State University)

**Resume:** Using the links between the sciences the causes of generation of an adverse meteorological phenomenon – tornado is established. The prerequisite for its origin is the uneven distribution of temperature with the cold centre and hot surroundings. Such a temperature distribution on the ground can be created by the freestanding rock or a canyon and so on, resulting in creation of a pillar of descending cold air in the centre and the flow of the ascending hot air around. Such movement of air can lead to the generation of a specific form of clouds, which, in the appropriate conditions becomes the epicentre of tornado. The article points out the way of prevention of tornado, which means the ability to neutralize outbreak of tornado in the corresponding stage of technological development.

**Key words:** cloud; pyramid; temperature; tornado.

**СУТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ СМЕРЧА, ИЛИ ТОРНАДО**

**Вашакидзе Г. А.**

(Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили)

**Резюме.** С помощью использования связи между науками установлены причины генерации неблагоприятного метеорологического явления – торнадо. Предпосылкой его зарождения является неравномерное распределение температуры с расположением: холодный центр – горячая среда. Такое распределение температуры на Земле может быть создано отдельно стоящей скалой, каньоном и т.п., в результате чего в центре формируется столб нисходящего холодного воздуха, а вокруг создается поток восходящего теплого воздуха. Такое движение воздуха может привести к генерации облака специфической формы, которое при попадании в соответствующие условия станет центром торнадо. В статье указываются пути превенции торнадо, что означает возможность нейтрализации очага зарождения торнадо на этапе соответствующего технологического развития.

**Ключевые слова:** облако; пирамиды; температура; торнадо.

## ეთეროვანი ზეთის ბიოსინთეზი მცენარეებში

**ნუგზარ ბალათურია, ნანა ბეგიაშვილი, ლია კოტორაშვილი, მედეა ორმოცაძე**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი)

**რეზიუმე:** გამოკვლეულია ეთეროვანი ზეთის ბიოსინთეზი მცენარეებში (ლიმონი, მანდარინი, ფორთოხალი). წარმოდგენილია ციტრუსის ნაყოფებში ეთეროვანი ზეთის დაგროვების დინამიკის კვლევის შედეგები. დადგენილია, რომ საქართველოს სუბტროპიკულ ზონაში ციტრუსოვანი მცენარეების მოსავლის აღება უმჯობესია ნოემბრის ბოლოს და დეკემბრის პირველ ნახევარში, რადგანაც ამ პერიოდში მიღებული ეთეროვანი ზეთის ხარისხი საუკეთესოა.

**საბუნებრივი სიტყვები:** ბიოსინთეზი; ეთეროვანი ზეთი; ლიმონი; მანდარინი; ფორთოხალი.

### შესავალი

ტერპენები განეკუთვნება იზოპრენოიდულ ნაერთებს. იზოპრენოიდული ნაერთების ჯგუფში გაერთიანებულია მცენარეული წარმოშობის ნივთიერებები: ტერპენები, კაუჩუკი, გუტაპერჩი, კარობინოიდები (ცხრილი 1).

მცენარეებში იზოპრენოიდული ნაერთების ბიოსინთეზი ურთიერთკავშირშია ერთმანეთთან. ერთსა და იმავე მცენარეს შეუძლია ამა თუ იმ იზოპრენოიდის სინთეზირება გარემოს, ასაკისა და სხვა ფაქტორების ზეგავლენით.

ტერპენებისა და კაუჩუკის ბიოსინთეზს შორის მჭიდრო ურთიერთკავშირის არსებობის საკმაოდ თვალსაჩინო მაგალითია გვაიულა. ეს არის მცენარე, რომელიც ასაკის მატებასთან ერთად გარემო პირობების ხელშეწყობით ჭარბი რაოდენობით აგროვებს ეთეროვან ზეთს ან კაუჩუკს. ადსანიშნავია ისიც, რომ ეთეროვანი ზეთის შემცველობის ზრდა იწვევს კაუჩუკის შემცველობის შემცირებას.

დადგენილია, რომ ყველა სახის ტერპენის სინთეზისათვის საწყისი ნივთიერება მევალონის მჟავა, რომელიც მმარმარასაგან წარმოიქმნება; აქტივირებული მევალონის მჟავა კი იზოპრენილინპიროფოსფატად გარდაიქმნება. იზოპრენტილინპიროფოსფატი და მისგან წარმოქმნილი დიმეთოდალილპიროფოსფატი წარმოადგენს აქტიურ ხუთნახშირბადიან რგოლებს, რომლებიდანაც შემდგომ ხდება იზოპრენოიდების სინთეზი (ნახ. 1).

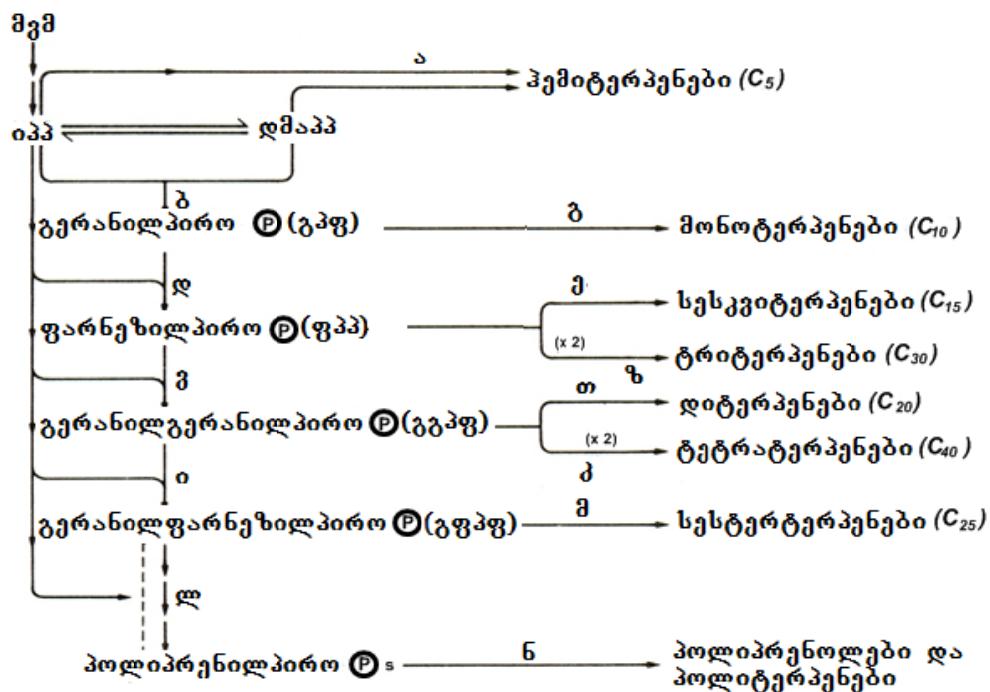
### ძირითადი ნაწილი

ეთერზეთოვანი მცენარეების ნაყოფებში ეთეროვანი ზეთის წარმოქმნისა და დაგროვების პროცესი იწყება ნაყოფის გამონასკვის მომენტიდან და გრძელდება ნაყოფის სრულ დამტივებამდე. ასევეა ფოთლებშიც; ეთეროვანი ზეთი წარმოიქმნება ფოთლის ფირფიტის ფორმირების პროცესში.

როგორც ცნობილია, უშუალოდ ფოტოსინთეზის პროცესში წარმოქმნილ პირველად ასიმილატებად გვევლინება ნახშირწყლები, ცილები და ნუკლეინის მჟავა; შემდეგ კი მზა ასიმილატები ფოთლებიდან მცენარის სხევადასხვა ადგილას ნაწილდება. მცენარეების ფოტოსინთეზირებული ორგანოებიდან ეთეროვანი ზეთების მოძრაობასთან დაკავშირებით ცნობები არ არსებობს.

## იზოპრენების საერთო კლასიფიკაცია

იზოპრენოიდული ნაერთების ჯგუფში შემავალ ნივთიერებათა სახეობები	ნახშირბადის ატომების რაოდენობა	გაგალითი	
		აგებულება	დასახელება
სემიტერპენები	5		იზოპრენი
მონოტერპენები	10		გერანიოლი
სესკვიტერპენები	15		ფარნეზოლი
დიტერპენები	20		გერანილ-გერანიოლი
სესტერპენები	25		ოფიობოლინი A
ტრიტერპენები	30		სტეროიდი
ტეტ्रატერპენები	40		ფიტონინი
პოლიტერპენები	$\sim 7,5 \cdot 10^3$ -დან $\sim 3 \cdot 10^5$ -დღე		პლასტიკი



ნახ. 1. ტერპენოიდების ბიოსინთეზის საერთო სქემა

თუ გავითვალისწინებთ იმას, რომ ეთეროვანი ზეთი წყალში ცუდად იხსნება, შეიძლება ვიგარაუდოთ, რომ ეთეროვანი ზეთი უშუალოდ მათი დაგროვების ადგილას წარმოიქმნება. თუმცა, საგულისხმოა ისიც, რომ, რადგანაც ტერპენულ ნაერთებს აქვს მცენარეებში დაგროვების უნარი წყალში ხსნადი გლიკოზიდების სახით, შესაძლებელია დაუშვათ ეთეროვან ზეთებში შემავალი კომპონენტების ფოთლებიდან ნაყოფში და მცენარის სხვა ორგანოში გადაადგილების შესაძლებლობაც.

ეთერზეთოვანი მცენარეების სხვადასხვა ვეგეტაციურ ორგანოში ეთეროვანი ზეთების დაგროვების დინამიკის შესახებ სამეცნიერო ლიტერატურაში არსებული ცნობების ანალიზის მიხედვით ცხადია, რომ მცენარის ყველა სახეობას ახასიათებს ზეთის წარმოქმნის სხვადასხვა სპეციფიკური პროცესი.

ტერპენულ-ნახშირწყალბადოვანი ციტრუსის ზეთების ბიოსინთეზი. ნედლეულის აღების დრო განსხვავებულად აისახება სხვადასხვა ციტრუსის ნაყოფის ეთეროვანი ზეთების შედგენილობაზე. როგორც კვლევებმა ცხადყო, მანდარინისა და ფორთოხლის ზეთები მცენარეების ონტოგენეზში უმნიშვნელო ცვლილებებს განიცდის. მაგალითად,  $d$ -ლიმონენის შემცველობა მანდარინის ზეთში პრაქტიკულად არ იცვლება. უმნიშვნელო ცვლილებები აღინიშნება ზეთის ფიზიკურ მაჩვენებლებში, რაც, სავარაუდოდ, უნდა აისხას ნაყოფის კანში კაროტინოიდების გარდაქმნით, რომელიც ზეთის მექანიკური გამოწევის მეთოდით მიღების დროს ნაწილობრივ გადადის მასში.

## ცხრილი 2

### მწიფე და მკვახე მანდარინისაგან მიღებული ეთეროვანი ზეთების ფიზიკურ-ქიმიური მაჩვენებლები

დასახელება	ფიზიკური მაჩვენებლები			ქიმიური მაჩვენებლები		
	სიმ- კვრივე, $d_D^{20}$	გარდატეხის მაჩვენებელი $n_D^{20}$	$\alpha_D$	$d$ -ლიმო- ნენი	მეთილ- ანთრა- ნილატი	ლინალო- ოლი
მკვახე ნაყოფის ზეთი	0,8485	1,4746	+10°20	92,1	0,11	1,31
მწიფე ნაყოფის ზეთი	0,8470	1,4710	+97°10	94,6	0,20	0,72

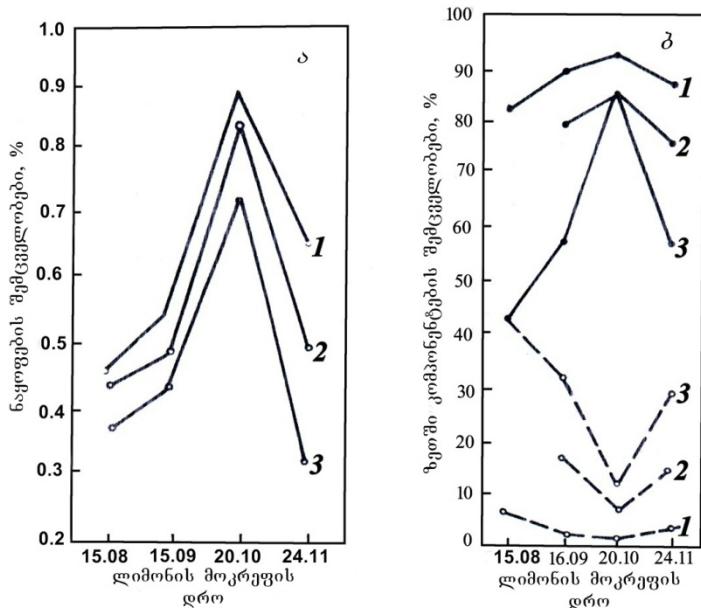
მნიშვნელოვანი რაოდენობრივი ცვლილებები აღინიშნება ლიმონის ეთეროვან ზეთში. მოსაფლის აღების ოპტიმალური ვადების დადგენის მიზნით, ჩვენ მიერ შესწავლილ იქნა ციტრალისა და ტერპენული ნახშირწყალბადის შემცველობა ლიმონის ნაყოფის ფლავედოში.

კვლევისას გამოყენებულ იქნა *P.trifoliata*. X ქართული ლიმონის 8 პიბრიდული ფორმა.

ლიმონის ფლავედოში ზეთის დაგროვების დამოკიდებულება ნაყოფის მოკრეფის დროზე შეიძლება წარმოვიდგინოთ მე-2 ა ნახ-ზე გამოსახული მრუდის მიხედვით. ლიმონის ნაყოფში მაქსიმალური ზეთშემცველობა აღინიშნა ოქტომბრის თვეში. ეს კანონზომიერება დამასახიათებელია დასავლეთ საქართველოს პირობებში მოყვანილი ყველა სახის ლიმონისათვის.

დადგინდა, რომ ვეგეტაციის პერიოდში ეთეროვანი ზეთის თვისებრივი შედგენილობა მუდმივი რჩება. ძირითადი ცვლილებები აღინიშნება ეთეროვან ზეთში არსებული ერთსახელა კომპონენტების რაოდენობრივ შემცველობაში. ლიმონის ნაყოფში ზეთის დაგროვების პროცესს თან ახლავს უკუკავშირი ციტრალის შემცველობასა და ტერპენული ნახშირწყალბადის რაოდენობრივ შედგენილობას შორის: ტერპენული ნახშირწყალბადის შემცველობის მატების პარალელურად ზეთში მცირდება ციტრალი და, პირიქით.

ლიმონის ნაყოფის ზრდა-განვითარებასა და ნაყოფის ზეთშემცველობის მატებასთან ერთად პარალელურად ხდება თავად ზეთის გამდიდრება ტერპენული ნახშირწყალბადებით. როგორც მე-2 ბ ნახ-დან ჩანს, ტერპენული ნახშირწყალბადების დაგროვების მაქსიმუმი ოქტომბრის თვეში აღინიშნება, მომდევნო პერიოდში კი ლიმონის ნაყოფის ზეთშემცველობა და ტერპენული ნახშირწყლბადების შემცველობა მცირდება.



ნახ. 2. ლიმონის ნაყოფის კანზი (ფლავედო) ეთეროვანი ზეთის შემცველობის ცვლილებები

მრუდი, რომელიც ასევე ასახავს ლიმონის ეთეროვან ზეთში ციტრალის შემცველობის დინამიკას (ნახ. 2 ბ), თავის მაქსიმუმს აღწევს ნაყოფის გამონასკივის წარმოქმნისთანავე, შემდეგ კი ნაყოფის ზრდასთან და მასში ზეთშემცველობის მატებასთან ერთად ზეთში ციტრალის შემცველობა მინიმუმადე მცირდება ნაყოფის მაქსიმალური ზეთშემცველობის დროს. აღსანიშნავია, რომ ნაყოფში ზეთის შემცველობის შემცირების პარალელურად იზრდება ციტრალის შემცველობა. ციტრალით ზეთის გამდიდრება შეიძლება აიხსნას იმით, რომ შემოდგომაზე, ლიმონის სიმშვიდის მდგრძალებების გადასცლისას, ნაყოფის განვითარება და ზეთის ბიოსინთეზი ფლავედოში ნაკლები ინგენსიურობით მიმდინარეობს, რის შედეგადაც ეთეროვანი ზეთი რჩება ბიოსინთეზის შუალედური პროცესს (ციტრალით) გამდიდრებული.

როგორც ცნობილია, მონოტერპენების ბიოგენეზი თთხ ძირითად ეტაპად მიმდინარეობს:

- იზოპრენული რგოლის წარმოქმნა;
- იზოპრენული რგოლების ერთმანეთთან დაკავშირება „თავი კუდთან“ ტიპის მიხედვით პირველადი ტერპენის წარმოსაქმნელად, რომელიც შემდეგ წარმოქმნის მონო-, სესკვი- და დიტერპენენის კლასის ნივთიერებებს;
- ამ ნივთიერებების ციკლიზაცია ნახშირწყალბადოვანი ჩონჩხის წარმოქმნით, რაც დამახასიათებელია ამა თუ იმ ჯგუფის ტერპენებისათვის;
- სხვადასხვა სახის ტერპენის წარმოქმნა. ლიმონის ზეთში ციტრალის შემცველობასა და ტერპენული ნახშირწყალბადების შემცველობას შორის არსებული ურთიერთობაგშირი საშუალებას იძლევა ვივარაუდოთ, რომ ლიმონის ნაყოფის კანში მონოტერპენული ნახშირწყალბადის აციკლური წინამორბედია ციტრალი, რომელიც, თავის მხრივ, გერანიოლისაგან წარმოიქმნება.

დადგენილ იქნა, რომ ლიმონის ნაყოფის ზეთშემცველობა და ტერპენული ნახშირწყალბადების შემცველობა თვითონ ზეთში მაქსიმუმს მცენარის განვითარების ერთსა და იმავე პერიოდში აღწევს. ეს, როგორც ჩანს, იმის ირიბი დადასტურებაა, რომ სწორედ ტერპენული ნახშირწყალბადებია ის კომპონენტები, რომლებიც ლიმონისათვის დამცავ, ანუ ფერომონულ როლს ასრულებს.

ლიმონის ზეთში ტერპენული ნახშირწყალბადები ერთმანეთთან ურთიერთკავშირშია. ლიმონის განვითარების ვეგებაციურ პერიოდში არ შეინიშნებოდა რაიმე მნიშვნელოვანი კანონზომიერება ნაყოფის კანის ეთეროვან ზეთში  $\alpha$ -ტერპინენის, ლიმონენისა და  $\alpha$ -პინენის შემცველობაზე. ადნიშნული ტერპენული ნახშირწყალბადების ჯამური შემცველობა ურთიერთკავშირშია ციტრალის შემცველობასთან.

როგორც ზემოთ აღინიშნა, ლიმონის ნაყოფის ფორმირების პროცესში ეთეროვან ზეთში ციტრალის შემცველობის დინამიკის აღმწერ მრუდს ორი მაქსიმუმი აქვს: ნაყოფის ფორმირების დასაწყისში და ლიმონის განვითარების ფენოლოგიური პაუზის დადგომისას. ლიმონის ეთეროვანი ზეთების ციტრალით გამდიდრება პირველ რიგში უნდა აისხნას იმით, რომ გაზაფხულ-ზაფხულის პერიოდში ლიმონის ნაყოფებიდან მაქსიმალურად იფრქვევა გარემოში დაბალი დუღილის ტემპერატურის ქვენე ტერპენული ნახშირწყალბადები, რის გამოც ზეთი მდიდრდება უფრო მაღალი დუღილის ტემპერატურის ქვენე კომპონენტით – ციტრალით. ლიმონის ზეთის მეორეული გამდიდრება ციტრალით შეიძლება აისხნას იმით, რომ შემოდგომაზე, ლიმონის სიმშვიდის მდგომარეობაში გადასვლისას ნაყოფის განვითარება და ეთეროვანი ზეთის ბიოსინთეზის პროცესი მის ქერქში მიმდინარეობს შედარებით ნაკლები ინტენსიურობით, რის შედეგადაც ზეთი მდიდრდება ბიოსინთეზის შეაღედური პროცესით – ციტრალით.

ციტრუსის ნაყოფის ბიოლოგიური თავისებურებების მაჩვენებლად არ შეიძლება ვაშლისა და სხვა კურკანი ნაყოფების სიმწიფის ხარისხის მასასიათებელების გამოყენება. მაგალითად, ნაყოფის ყენწოან კავშირის სიმყარე, რომელიც ვაშლისა და მსხლის სიმწიფის ერთ-ერთი ნიშანია, საერთოდ არაა მისაღები მწიფე ციტრუსების ნაყოფებისთვის. მათი უმრავლესობისათვის, კერძოდ ლიმონისთვის, სიმწიფის დასრულებისას ნაყოფის ხესთან მიმაგრების ადგილებში არ წარმოიქმნება უჯრედის გამყოფი ფენა. ერთადერთი მაჩვენებელი, რომელიც გამოიყენება ციტრუსების სიმწიფის განსაზღვრისათვის, ნაყოფის ქერქის შეფერილობაა. თუმცა ეს მაჩვენებელიც მთლად ზუსტი არ არის, რადგანაც ნაყოფის შეფერილობა არა იმდენად დამოკიდებული ნაყოფის ფიზიოლოგიურ მდგომარეობაზე, რამდენადაც მეტეოროლოგიურ პირობებზე. მაგალითად, ცნობილია, რომ ლიმონი მწიფე ნაყოფის შეფერილობას იძენს რამდენიმე ცივი დღის თბილი დღეებით შეცვლისას და, პირიქით. არახელსაყრელი მეტეოროლოგიური პირობები აფერხებს ნაყოფის ფერის ცვლილების პროცესს, რომელიც სხვა მაჩვენებლებით ნორმალურ სიმწიფეს აღწევს. შეფერილობის ნიშნის რამე სხვა მაჩვენებლით შეცვლის მცდელობა ჯერჯერობით წარუმატებლად მიმდინარეობს.

ჩვენ მიერ მიღებული მონაცემების ანალიზის საფუძველზე შეცვლება დავასკვნათ, რომ ლიმონის ნაყოფი ყველაზე მეტ ზეთშემცველობას ოქტომბრის შუა რიცხვებში აღწევს, თუმცა ქერქში შემავალი ზეთის ხარისხი მოცემულ პერიოდში დაბალია მისი ლიმონენით გამდიდრების გამო. გარემოში ჰაერის ტემპერატურის დაწევასთან ერთად ლიმონის ზეთის ხარისხი თანდათან უმჯობესდება მასში ციტრალის დაგროვების შედეგად, ამიტომ ლიმონის მოსავლის ადების ოპტიმალური გადა საქართველოს სუბტროპიკების პირობებში ემთხვევა ლიმონის სიმშვიდის მდგომარეობაში გადასვლის პერიოდს. აქვე უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ სამეურნეო კუთხით ერთ-ერთი უმნიშვნელ

ლოვანესი თვისებაა მდგრადობა შენახვისას, რომელსაც ლიმონის ნაყოფი იქნება მხოლოდ დამწიფების ბოლო ეტაპებზე.

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, დადგინდა, რომ საქართველოს პირობებში ლიმონის მოსავლის აღება უმჯობესია ნოემბრის ბოლოს და დეკემბრის პირველ ნახევარში.

ფორთოხლის ნაყოფის ქერქში ეთეროვანი ზეთის შემცველობისა და შედგენილობის შესწავლის შედეგების ანალიზში ცხადყო, რომ ნაყოფის ზრდისა და განვითარების პროცესის დროს ზეთის შედგენილობა უმნიშვნელო, მაგრამ კანონზომიერ ცვლილებებს განიცდის მისი ძირითადი კომპონენტის – ლიმონენის შემცველობის მიხედვით: d-ლიმონენის შემცველობა მაქსიმუმს აღწევს ნოემბერში და შემდეგ მცირდება.

ფორთოხლის ნაყოფში ეთეროვანი ზეთის შემცველობა ექვემდებარება გარკვეულ კანონზომიერებას: ნოემბრის თვეში ზეთის ლიმონენით გამდიდრების გამო ნაყოფის ზეთშემცველობა მცირდება, შემდეგ კი იზრდება ზეთში d-ლიმონენის შემცველობის შემცირების პარალელურად.

ჩვენ მიერ ზეთის დაგროვების დინამიკაში აღნიშნული კანონზომიერებების დაკავშირება ვერ მოხერხდა ფორთოხლის ხის რომელიმე მორფოლოგიური ნიშნების ცვლილებასთან. მართლაც, ვაშინგტონ-ნაველის ჯიშის ფორთოხლის ნაყოფის ფორმირება გაცილებით უფრო გვიან ხდება, ვიდრე №109 და №1309 პიბრიდებისა. ზემოთ აღწერილი კანონზომიერებები ზეთის რაოდენობრივი შემცველობისა და ხარისხობრივი თვისებების მიხედვით ერთნაირად მართებულია ფორთოხლის სამივე ჯიშისათვის.

საქართველოს სუბტროპიკული რაიონებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს საადრეო ციტრუსების ნაყოფების მიღებას, რადგანაც ნაყოფის დაკრეფის შემდეგ მცენარე გამოზამთრებისათვის ემზადება. ცნობილია, რომ ამ შემთხვევაში ფორთოხლის ყინვაგამძლეობა 1–1,5 °C-ით მატულობს.

ჩვენ მიერ შესწავლიდი სამივე სახის ფორთოხლიდან ყველაზე საადრეო №109 და №1309 პიბრიდები. ამ მცენარეების ნაყოფი მწიფდება 10–15 დღით ადრე ვაშინგტონ-ნაველის ჯიშის ფორთოხალთან შედარებით. დამწიფების სიჩქარე პრაქტიკულად არ აისახება ეთეროვანი ზეთის ქიურ შედგენილობაზე.

საადრეო ფორთოხლის ნაყოფი ხასიათდება შაქრების შედარებით მაღალი შემცველობით. ეს უნდა აიხსნას იმით, რომ ფორთოხლის ადრეული ჯიშის ნაყოფები ზრდის შენელების გამო პლასტიკურ ნივთიერებებს არ ხარჯავს და მარაგად ინახავს მათ.

## დასკვნა

ამრიგად, ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგენილ იქნა ციტრუსის ნაყოფებში (მანდარინი, ლიმონი, ფორთოხალი) ეთეროვანი ზეთის დაგროვების დინამიკა. დადგენილია, რომ საქართველოს სუბტროპიკულ ზონაში ციტრუსოვანი მცენარეების მოსავლის აღება უნდა მოხდეს ნოემბრის ბოლოს და დეკემბრის პირველ ნახევარში, რადგანაც ამ პერიოდში მიღებული ეთეროვანი ზეთის ხარისხი საუკეთესოა.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ვ. გოგია. სუბტროპიკული მცენარეების ბიოქიმია. თბ.: განათლება, 1979.
2. Ермаков А. И., Арасимович В. В., Смирнова-Иконникова М. И., Мурри И. К. Методы биохимического исследования растения. М.: Колос, 1972.
3. Курсанов А. Л. Транспорт ассимилятов в растении. М.: Наука, 1976.
4. Попуденный А. В., Сотник В. Ф., Хланцов Е. Е. Эфирномасличные и лекарственные растения. М.: Колос, 1979.
5. Райнбонте А. Х. Тайна растений. М.: Знание, 1979.
6. Танасиенко Ф. С. Эфирные масла, их состав и содержание в растениях. Киев: Наукова думка, 1986.

**BIOSYNTHESIS OF THE ESSENTIAL OILS IN PLANTS****N. Baghaturia, N. Begiashvili, L. Kotorashvili, M. Ormotsadze**

(Georgian Technical University's Scientific-Research Institute of Food Industry)

**Resume:** There is researched the biosynthesis of the essential oils in plants: lemon, tangerine and orange. There is presented the research results of the essential oil accumulation dynamics in the citrus fruits. There is established, that in the subtropical zones of Georgia the citrus fruit should be gathered in the end of November and first part of December, because the quality of essential oil get in this period is the best.

**Key words:** biosynthesis; essential oil; lemon; orange; tangerine.

**БИОЛОГИЯ****БИОСИНТЕЗ ЭФИРНЫХ МАСЕЛ В РАСТЕНИЯХ****Багатурия Н. Ш., Бегиашвили Н. А., Которашвили Л. З., Ормоцадзе М. Л.**

(Научно-исследовательский институт пищевой промышленности Грузинского технического университета)

**Резюме.** Изучен биосинтез эфирных масел в растениях (лимон, мандарин, апельсин). Представлены результаты исследований по установлению динамики накопления эфирных масел в цитрусовых плодах. Установлено, что оптимальный срок уборки цитрусов в условиях субтропиков Грузии совпадает с периодом перехода плода в состояние покоя. Уборку плодов следует проводить в конце ноября и в первой половине декабря месяца. В течение этого периода эфирное масло самого лучшего качества.

**Ключевые слова:** апельсин; биосинтез; лимон, мандарин; эфирное масло.

დიმონის მცხარის მოვლა-მოყვანის ხერხების გავლენა მასში ეთმოოვანი ზეთის შემცველობასა და შედგენოლობაზე

ნუგზარ ბალათურია, ნანა ბეგიაშვილი, ლია კოტორაშვილი, მედეა ორმოცაძე

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის კვების მრეწველობის სამეცნიერო-კვლევითი ინსტიტუტი)

**რეზიუმე:** წარმოდგენილია საქართველოს შავი ზღვისპირა სუბტროპიკულ რაიონებში გავრცელებული ქართული ლიმონის მოვლა-მოყვანის დროს გამოყენებული ხერხების, კერძოდ პინცირების (ყლორტის, ამონაყრის მოტეხა-გასხვდა), კვლევის შედეგები.

შესწავლილია პინცირების გავლენა ლიმონის პროდუქტიულობაზე, ნაყოფის ქიმიურ და ეთეროვანი ზეთის შედგენილობაზე. ლიმონის ზეთში არსებული ლიმონენი ურთიერთკავშირშია ციტრალთან: რაც მეტია ზეთში d-ლიმონენი, მით ნაკლებია ციტრალის შემცველობა და, პირიქით, ლიმონენის შემცველობის შემცირებას ზეთში (ცდა პინცირების გარეშე) თან ახლავს ზეთის ციტრალით გამდიდრება.

**საკვანძო სიტყვები:** ეთეროვანი ზეთი; ლიმონი; მოვლა-მოყვანა; ქიმიური შედგენილობა.

### შესავალი

ლიმონის, როგორც ეთეროვანი ზეთის შემცველი მცენარის, პროდუქტიულობა ძირითადად დამკიდებულია მისი მოვლა-მოყვანის ხერხებზე. მოცემულ საკითხთან დაკავშირებით არსებული რეკომენდაციები ურთიერთგამომრიცხავია როგორც სამამულო, ისე უცხოურ ლიტერატურაში. მკვლევართა ერთ ჯგუფს მიაჩნია, რომ საჭიროა ლიმონის სისტემატური პინცირება (ყლორტის, ამონაყრის მოტეხა და გასხვდა), მეორე ჯგუფი უარყოფს პინცირების აუცილებლობას; არსებობს რეკომენდაციები, რომელთა თანახმადაც ლიმონის პინცირება საჭიროა პერიოდულად – 2–3 წელიწადში ერთხელ.

როგორც ჩანს, ლიტერატურული მონაცემების წინააღმდეგობრიობა უნდა აიხსნას იმით, რომ ლიმონის პინცირების ამა თუ იმ ხერხის გამოყენებისას, მიღებული ეფექტი განსხვავებულია და დამოკიდებულია მცენარის მოვლა-მოყვანის გარემოზე, კლიმატურ პირობებსა და ლიმონის ჯიშზე.

### ძირითადი ნაწილი

ქვემოთ მოყვანილია საქართველოს სუბტროპიკების ტენიან პირობებში გავრცელებული ქართული ლიმონის პინცირების კვლევის შედეგები. ცდები ჩატარდა შავი ზღვისპირა რაიონებში შემდეგი ვარიანტების მიხედვით:

- I და II ნაზარდი ყლორტების პინცირება 7–9 ფოთოლზე (კონტროლი);
- I, II და III ნაზარდი ყლორტების პინცირება 5–6 ფოთოლზე;
- პინცირების გარეშე;
- I, II და III ნაზარდი ყლორტების პინცირება 2–3 ფოთოლზე მცენარის 7 წლის ასაკამდე, შემდეგ მხოლოდ I ნაზარდი ყლორტების პინცირება 2–3 ფოთოლზე (დრმა პინცირება).

კოველტლიურად ჩატარებული კსპერიმენტებით დადგინდა, რომ პინცირების სხვადასხვა მეთოდის გამოყენება ნათლად აისახება ლიმონის ვარჯის მოცულობასა და სიმაღლეზე. ცდის კველა ვარიანტში შეინიშნება ერთი და იგივე განონზომიერება: რაც უფრო მეტი მწვანე მასის მოცილება ხდება პინცირებისას, მით ნაკლებია ხეების სიმაღლე და ვარჯის მოცულობა. ხის ზრდასა და ვარჯის მოცულობასთან დაკავშირებით კველაზე მაღალი შედეგებია მიღებული უპინცირებო ვარიანტში, კველაზე დაბალი კი – დრმა პინცირების ვარიანტში. აღნიშნული მაჩვენებლების მიხედვით, ცდების ვარიანტებს შორის განსხვავება თანდათან მცირდება და 8-9 წლის ასაკში სრულად ხდება მისი გამოსწორება – ლიმონის ხე მთლიანად ახერხებს მისთვის დამახასიათებელი ბუნებრივი ჰაბიტუსის აღდგენას.

პინცირების შემდეგ ლიმონი მსხმოიარობის ფაზაში დაგვიანებით გადადის. მაგალითად, ლიმონის ხე პინცირების გარეშე მსხმოიარობას იწყებს დარგვიდან მეხუთე წელს, 1-ლ და მე-2 ვარიანტებში – მეექვე წელს, ხოლო მე-4 ვარიანტში – მეშვიდე წელს.

ლიმონის ხეების პინცირება დიდ გავლენას ახდენს როგორც მცენარის მოსავლიანობაზე, ასევე ნაყოფის ქრექში ეთეროვანი ზეთის შემცველობაზეც. ლიმონის ხეების პინცირებისას იზრდება ნაყოფის საშუალო მასა, სამაგიეროდ მცირდება ლიმონის მოსავლიანობა. ლიმონის ნაყოფის მასის ზრდას თან ახლავს მის ქრექში ზეთის შემცველობის შემცირება. ცდებით დადგინდა, რომ კველაზე მეტი ზეთშემცველობით ხასიათდება პინცირების გარეშე მიღებული ნაყოფები (ცხრილი 1).

## ცხრილი 1

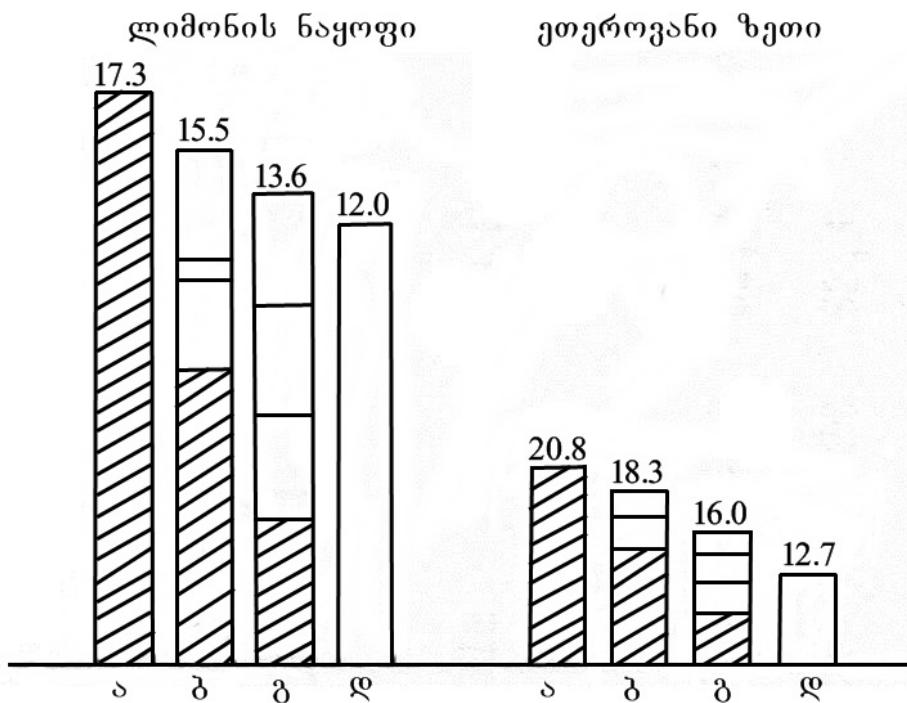
### პინცირების გავლენა ლიმონის პროცესტიულობაზე

ცდების ვარიანტები	1 ხეზე ნაყოფების რაოდენობა	ნაყოფის საშუალო მასა, გ	ზეთშემ- ცველობა ნაყოფში, %	1 ხიდან მიღებული ზეთის რაოდენობა, გ
I და II ნაზარდი ყლორტების პინცირება (კონტროლი)	217,8	77,8	0,108	18,3
I, II და III ნაზარდი ყლორტების პინცირება	196,5	79,7	0,102	16,0
პინცირების გარეშე	246,8	75,2	0,112	20,8
დრმა პინცირება	155,6	81,9	0,092	12,7

ჩატარებული კვლევებით დადგინდა, რომ კველაზე უფასო ლიმონის ვარჯის მოვლა იმ ხერხით, რომელიც მთლიანად გამორიცხავს მწვანე ყლორტების პინცირებას.

შესწავლითია ლიმონის მოსავლიანობის დამოკიდებულება მცენარის ვარჯის მოვლაზე. როგორც 1-ლ ნახ-ზე წარმოდგენილი გრაფიკიდან ჩანს, ლიმონის ნაყოფის მოსავლისა და ერთეული სანერგე ფართობიდან მისი აღების მაქსიმუმი მიღებულ იქნა ლიმონის ხეების მოვლის მე-3 ვარიანტის (პინცირების გარეშე) გამოყენების შემთხვევაში.

ჩატარებული კვლევების მიხედვით შეიძლება დაგასკვნათ, რომ ქართული ჯიშის ლიმონისათვის საქართველოს ტენიან სუბტროპიკულ პირობებში ყლორტების პინცირება იწვევს როგორც მცენარის უფრო დაგვიანებულ გადასვლას მსხმოიარობის ფაზაში, ისე ნაყოფისა და ეთეროვანი ზეთის მოსავლიანობის შემცირებას ერთეული ფართობიდან; ამასთან, საგრძნობლად კლებულობს ხარისხიანი ეთეროვანი ზეთის მიღებაც. ამიტომაც რეკომენდებულია პინცირების გამორიცხვა ლიმონის დამუშავების ტექნიკიური სქემიდან.



ნახ. 1. ქართულ დომონზე სხვადასხვა მეთოდით მოვლის გავლენა ნაყოფებისა (ტ/პ) და ეთეროგანი ზეთის მოსავალზე (კგ/ჰა): δ – პინცირების გარეშე; δ – III ნაზარდი ყლორტების პინცირება; გ – I, II და III ნაზარდი ყლორტების პინცირება; ღ – ღრმა პინცირება

დომონის ვარჯის ფორმირების მიზნით, მწვანე მასის პინცირება შესაძლებელია მხოლოდ დომონის დარგვის მომენტიდან პირველი ორი წლის განმავლობაში.

ჩვენ მიერ ჩატარებული შემდგომი კვლევებით დადგინდა, რომ პინცირების გამორიცხვა აისახება დომონის მორფოლოგიურ ნიშნებზეც. არაპინცირებულ მცენარეებში ვარჯი არის მეჩხერი, ნაყოფს კი ისხამს როგორც ვარჯის შიგა, ასევე მის გარე ნაწილშიც. პინცირებულ ხეებში ვარჯი არის ხშირი და ნაყოფს ისხამს ვარჯის მხოლოდ შიგა ნაწილში, ამიტომაც ის ნაკლებად განიცდის მზის სხივის ზემოქმედებას.

ცნობილია, რომ მორფოლოგიური ნიშნების ცვლილებები არსებით გავლენას ახდენს მცენარეში ასიმილატების დაგროვებასა და განაწილებაზე. ამ მიზნით ჩვენ შევისწავლეთ პინცირებული დომონის ნაყოფების ქიმიურ-ტექნოლოგიური მაჩვენებლები (ცხრილი 2).

## ცხრილი 2

### პინცირების გავლენა დომონის ნაყოფის ქიმიურ შედგენილობაზე

ცდების ვარიანტები	მუავიანობა დომონის მუავაზე გადაანგარიშებით, %	ვიტამინი C-ს რაოდენობა, მგ %	შაქრების რაოდენობა, %	
			მონოშაქარი	საქაროზა
I და II ნაზარდი ყლორტების პინცირება (კონტროლი)	5,40	71,40	1,62	1,27
I, II და III ნაზარდი ყლორტების პინცირება	5,61	73,30	1,77	1,07
პინცირების გარეშე	5,48	71,40	1,84	1,36
ღრმა პინცირება	5,69	73,78	1,73	0,97

დომონის ნაყოფების ხარისხს განსაზღვრავს როგორც ნაყოფის ქერქში, ასევე მის რბილობში არსებული ნივთიერებები. მაგალითად, დომონის რბილობიდან ხდება წვენის მიღება, რომლის

კვებით დირებულებაზე მსჯელობენ მასში C ვიტამინის, შაქრებისა და ორგანული მჟავების შემცველობის მიხედვით. ნაყოფის ქერქი კი შეიცავს არომატულ ეთეროვან ზეთს და მისგან მიღებული ნაყენი წარმატებით გამოიყენება კვების მრეწველობაში.

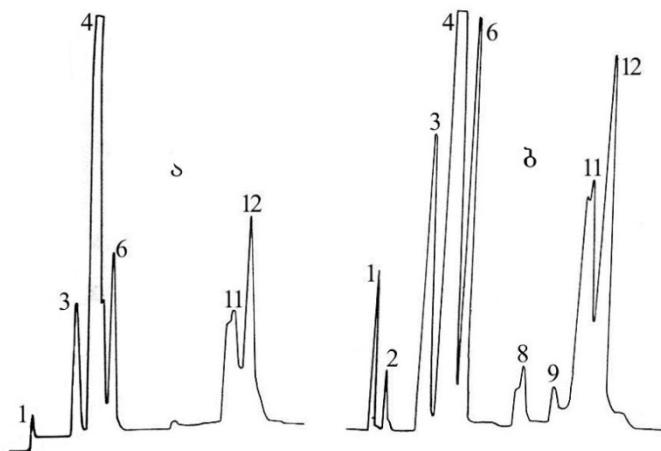
გამოკვლევებმა ცხადყო, რომ ლიმონის ხეების პინცირებისას ნაყოფის წვენში რამდენადმე მცირდება შაქრების ჯამური რაოდენობა. ცვლილებები დანარჩენი მაჩვენებლების შემცველობაში ექსპერიმენტების ცდომილების ფარგლებში მერყეობს (ცხრილი 3).

### ცხრილი 3

#### პინცირების გავლენა ლიმონის ნაყოფის ქერქიდან მიღებული ეთეროვანი ზეთის შედგენილობაზე

ცდების ვარიანტები	ერთი ნაყოფის მასა საშუალოდ, გ		ნაყოფის მასაში კანის რაოდენობა, %		ზეთშემცვე- ლობა კანში, %		ზეთში ლიმონენის შემცველობა, %	
	I წელი	II წელი	I წელი	II წელი	I წელი	II წელი	I წელი	II წელი
I და II ნაზარდი ყლორტების პინცირება (კონტროლი)	91,7	75,5	29,1	23,8	0,312	0,557	59,0	52,2
I, II და III ნაზარდი ყლორტების პინცირება	96,1	79,11	29,1	23,4	0,287	0,457	61,7	57,2
პინცირების გარეშე	88,2	73,6	26,2	24,5	0,316	0,570	52,3	49,2
ღრმა პინცირება	97,6	81,4	33,8	23,8	0,300	0,450	61,7	58,0

ლიმონის ეთეროვანი ზეთი შეიცავს 40–50 % d-ლიმონენს. d-ლიმონენის არსებობა ლიმონის ეთეროვან ზეთში, როგორც სხვა დანარჩენი სახის ციტრუსის ნაყოფის ეთეროვან ზეთში, უარყოფითად აისახება მის ხარისხზე და, რადგანაც იგი წარმოადგენს ნახშირწყალბადს, ამცირებს ზეთის სხნადობას ეთილის სპირტში და მის მდგრადობას უანგვის მიმართ.



ნახ. 2. პინცირებული (ა) და არაპინცირებული (ბ) ლიმონებიდან მიღებული ეთეროვანი ზეთების  
აირთხევადი ქრომატოგრამები: 3 – პინენი; 4 – d-ლიმონენი; 6 – ტერპინენი; 11 –  $\alpha$ -ციტრალი; 12 –  $\beta$  -  
ციტრალი.

ლიმონის ეთეროვან ზეთს სპეციფიკურ სასიამოგნო არომატს ანიჭებს ციტრალი, რომელიც მასში **α-** და **β**-ფორმების სახით არის წარმოდგენილი. რაც უფრო მეტი ციტრალია ზეთში, მით უფრო კარგი სუნი აქვს, ზეთი უკეთ იხსნება სპირტში და ხასიათდება მდგრადობით შენახვის პროცესში (ნახ. 2).

როგორც მე-3 ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს, ნაყოფის საშუალო მასის მატება ლიმონის პინცირებისას გავლენას ახდენს როგორც ნაყოფის ზეთშემცველობაზე, ასევე ზეთში d-ლიმონენის შემცველობაზეც. ლიმონის პინცირების გარეშე ჩატარებულ ცდებში ეთეროვანი ზეთი d-ლიმონენის ყვალაზე ნაკლებ რაოდენობას შეიცავდა.

## დასკვნა

ამრიგად, ჩვენ მიერ ჩატარებული კვლევების საფუძველზე დადგენილია, თუ რა გავლენას ახდენს ლიმონის მოვლა-მოყვანის ხერხები მასში არსებული ეთეროვანი ზეთის შემცველობასა და შედგენილობაზე.

ლიმონის ზეთში ლიმონენი ურთიერთკავშირშია ციტრალთან: რაც მეტია ზეთში d-ლიმონენი, მით ნაკლებია ციტრალის შემცველობა და, პირიქით, ლიმონენის შემცველობის შემცირებას ზეთში (ცდა პინცირების გარეშე) თან ახლავს ზეთის ციტრალით გამდიდრება.

გარდა ზემოაღნიშნულისა დადგინდა ისიც, რომ ლიმონის დამუშავების ტექნოლოგიური სქემიდან პინცირების ამოღება გავლენას არ ახდენს ნაყოფის ქრექში არსებულ ზეთის ხარისხსა და მის შედგენილობაზე. არაპინცირებული ლიმონის ნაყოფები ხასიათდება მაღალი ზეთშემცველობით, თვითონ ზეთი კი გამდიდრებულია ციტრალით.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Багатурия Н. Эфирные масла лекарственных и пряно-ароматических растений. Тб., 2007.
2. Горяев М., Плива И. Методы исследования эфирных масел. Алма-ата: Наука, 1972.
3. Гудвин Т., Мерсон Э. Введение в биохимию растений. М.: Мир, 1986.
4. Кустова С. Д. Справочник по эфирным маслам. М.: Пищевая промышленность, 1978.
5. Тимчук К. С. Газохроматографическое изучение эфирных масел растений // Известия Академии наук Молдавской ССР. Серия биологических и химических наук, №6, 1981.

**THE INFLUENCE OF THE LEMON PLANT CARE-GROWING WAYS ON THE COMPOSITION AND COMPOUND OF THE ESSENTIAL OIL IN IT**

**N. Baghaturia, N. Begiashvili, L. Kotorashvili, M. Ormotsadze**

(Georgian Technical University's Scientific-Research Institute of Food Industry)

**Resume:** There are studied the research results of tweezing (cutting, break off the sprout, shoots) of Georgian lemon care-growing in the Black Sea subtropical regions of Georgia. There is studied the influence of tweezing on the productivity, chemical and essential oil composition of lemon. In the lemon oil the limonene is in the interconnection with the citral: the more is d-limonene in oil the less is citral compound and on the contrary, the reduction of the limonene compound in oil (test without tweezing) is followed by the enrichment of the oil by citral.

**Key words:** care-growing; chemical composition; essential oil; lemon.

**БИОТЕХНОЛОГИЯ**

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЛИМОНОВ НА СОДЕРЖАНИЕ И СОСТАВ ЭФИРНОГО МАСЛА**

**Багатурия Н. Ш., Бегиашвили Н. А., Которашвили Л. З., Ормоцадзе М. Л.**

(Научно-исследовательский институт пищевой промышленности Грузинского технического университета)

**Резюме.** Приведены результаты исследования по пинцировке грузинского лимона в условиях влажных субтропиков Грузии. Изучено влияние пинцировки на продуктивность лимонов, химический состав и масличность кожуры плодов. Установлено, что лимонен в масле лимона находится в сопряженной взаимосвязи с цитралем: чем больше d-лимонена в масле, тем меньше содержится в нём цитрала. И, наоборот, уменьшение содержания лимонена в масле (в опыте без пинцировки) сопровождается обогащением масла цитралем.

**Ключевые слова:** возделывание; лимон; химический состав; эфирное масло.

გამჭოლი დგანების მაღალმედები სამართულების საჭარმოებლად განკუთვნილი ბენიტური კლასის დაბალნახშირგადიანი 08XH4СДМФТ ტიპის ვოლაფის ყოველმხრივი შესრავლა მისი გამოყენების სვეროს გაზრდის მიზნით  
მზია თაბაგარი, ვასილ კოპალეიშვილი, ირაკლი ქაშაკაშვილი, ოთარ ბარბაქაძე  
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, შპს „რუსთავის ფოლადი“)

**რეზიუმე:** მიღსაგლინი „აგრეგატი 400“-ის გამჭოლი დგანების სამართულების დამზადების ტექნოლოგიამ და 12XH3A ტიპის ფოლადმა სერიოზული ტრანსფორმაციები განიცადა სამართულების მედეგობის გაზრდის მიზნით. გასული საუკუნის 80–90-იან წლებში შემუშავებულ იქნა მათი დამზადების ორიგინალური ხერხი (ს. გ. №1615197) და ახალი, 10XH3MFT ტიპის კომპოზიცია (ს. გ. №1753730), რომელთა ჯამური გავლენით სამართულების მედეგობა ორჯერ და მეტად გაიზარდა (გაგლინული მასრების რაოდენობამ 200–300-დან 500–600-ს მიაღწია). დღეს სამართულების დამზადების ხერხთან ერთად წარმოებას გადაეცა 08XH4СДМФТ ტიპის კომპოზიცია. ამასთან, მომზადდა ახალი განაცხადებიც გამოგონებებზე. ტექნიკური და ტექნოლოგიური საკითხების მოწესრიგების შემდეგ, ავტორთა გათვალებით, სამართულების მედეგობა სტაბილურად გახდება 1000 მილზე მეტი. გარდა ამისა, გათვალისწინებულია სამუშაოების ჩატარება არსებული შედეგების მიღსაგლინ „აგრეგატ 140“-ზე გადასატანად, სტრუქტურის (განსაკუთრებით, გლობულარული ბენიტის, ანუ კ. წ. სუპერბენიტის) და თვისებების ყოველმხრივი შესწავლა, რაც 08XH4СДМФТ ტიპის ფოლადის გამოყენების სფეროს გაზრდის საშუალებას იძლევა.

**საკვანძო სიტყვები:** „აგრეგატი 400“; „აგრეგატი 140“; გამჭოლი დგანები; მაღალმედები სამართულები; სუპერბენიტი; ფოლადი.

### შესავალი

მიღსაგლინი „აგრეგატი 400“-ის გამჭოლი დგანების სამართულების მედეგობის გაზრდის მიზნით 12XH3A მარკის ფოლადის ნაცვლად შემუშავებულ იქნა ახალი კომპოზიცია 10XH3MFT და ორმული დამუშავების მოდერნიზებული რეჟიმები (ერთმაგი მოწვა შეცვლილ იქნა დაკომპაქტებული ორმაგი მოწვით, რომელიც ხშირად მთავრდებოდა სამართულების გაცივებით გამოწეულ ქვედა – „ნორმალიზაციით ნაკადში“). ჩატარებული ღონისძიებების შედეგად გაუმჯობესდა სამართულების როგორც მხერვალმედეგი გარე შრე, ისე მომდევნო „საყრდენი შრის“ აგებულება (ფერიტულ-პერლიტური სტრუქტურა შეიცვალა ბენიტით). ჯამურმა მოქმედებამ განაპირობა მეორე გამჭოლი დგანის სამართულების მედეგობის ორჯერ გაზრდა\*.

თავდაპირველად ჩვენ მიერ ჩაფიქრებული იყო სურვილი, შეგვეხსწავლა „სილიციუმის ზღურბლის“ აფექტი [1, 2] ფოლადის ერთი ფუძის (10XH3MFT) გამოყენებით 0,20–0,90 % სილიციუმის შემცველობის ფარგლებში (0,20-დან 0,40 %-მდე და 0,50-დან 0,90 %-მდე), მაგრამ ეს არაეფექტური გამოღგა. აღნიშნულს ასაბუთებდა ბენიტური კლასის საშუალონახშირბადიან 40ГСМФ და 40ГМФ ფოლადებზე

\* შევნიშნავთ, რომ პირველ გამჭოლ დგანებები გამოჭიმების კოეფიციენტი  $\mu=1,6$ , ხოლო მეორეზე –  $\mu=2,2$ . მეორე გამჭოლი დგანის სამართულებს უფრო რთულ პირობებში უხდება მუშაობა, ვიდრე პირველისას. აქედან გამომდინარე, თუ (ერთნაირ პირობებში) სამართულების მედეგობა მეორე დგანებების გაუმჯობესდება, მაშინ პირველზე შედეგი კიდევ უფრო უნდა გაუმჯობესდეს.

მიღებული ჩვენივე მონაცემები. მალევე დაისვა საკითხი სამართულების საწარმოო აპრობაციების შემცირების მეთოდის შესამუშავებლად. აღმოჩნდა, რომ „ИМАШ“-ის ტიპის მაღალტემპერატურული მიკროსკოპის სამუშაო საკანში მოთავსებულ ნიმუშზე დრეკადობის ზღვრებში მოდებული გამჭიმი ძალის მოქმედებისას ერთი თერმული ციკლი ( $+20^{\circ}\text{C} \rightarrow 650^{\circ}\text{C} \rightarrow +20^{\circ}\text{C}$ ) სტრუქტურულ ასაკებში შეესაბამებოდა სამართულის დატგიროვას გაჭოლვის დროს (ერთი მასრის გაგლინვას). მასალათა თვისებების ლაბორატორიის (მთლ), ამჟამად თვითდაფინანსებაზე მყოფი მასალათა თვისებების სასწავლო-სამეცნიერო ცენტრის (მთსს), გამოცდილებით მექანიკური თვისებები უფრო მგრძნობიარეა სტრუქტურული ცვლილებების მიმართ, ვიდრე სხვა რომელიმე (მაგალითად, ფიზიკური) მაჩვენებელი. შემუშავებული მეთოდის გამოყენებით შეიძლება:

1. შესწავლილ იქნეს მყარი სხსარის მდგომარეობა და მისი გაჯერებულობა (განსაკუთრებით ეფექტურია ნახშირბადის შემცველობისას  $C \leq 0,10\%$ );

2. ნიშანვლადი, თერმოციკლური და სხვა მსგავსი დატგირთვებისას ლითონის დეგრადაციის დაწყების დადგენა ნგრევის (რდვევის) დაწყების ჩათვლით;

3. აუსტენიტის დაშლის ახალი ტიპის კინეტიკური დიაგრამების (იზო, ანიზო ჩვეულებრივი და ცხელი პლასტიკური დეფორმაციის გავლენით) აგება და სხვ.

რა თქმა უნდა, ამ მეთოდს თეორიული და პრაქტიკული (ექსპერიმენტული) ნაწილებით ურთისება-დახვეწა სჭირდება. პირველ ეტაპზე აუცილებელია 2005 წელს გაჩერებული დანადგარის აღდგენა, ხოლო შემდეგ – კალევების დაგეგმვა.

## ძირითადი ნაწილი

მასალა და კვლევის მეთოდიკა, ექსპერიმენტული ნაწილი, შედეგები და მათი განსჯა, დასკვნა. საკვლევ მასალად გამოყენებული იყო ჩვენ მიერ შემუშავებული 08XH4СДМФТ ტიპის კომპოზიცია, რომლის ფუქსის წარმოადგენდა ფოლადი 10ХН3МФТ შემდეგი კორექციით: ნახშირბადი უნდა ყოფილიყო კომპოზიციის ქვედა დონეზე, ხოლო მალეგირებელი ელემენტები – ზედა დონეზე. ბეინიტური გარდაქმნის მოსაწესრიგებლად ფოლადში მალეგირებელ ელემენტებად შეტანილ იქნა  $0,50\text{--}1,2\%$  სილიციუმი და სხვა მრავალი დანიშნულებით –  $0,8\text{--}1,2\%$  სპილენდი.\*

როგორც ცნობილია, ბეინიტური (ე. წ. შეალევდური)  $\gamma \rightarrow \alpha(\text{B})$  გარდაქმნა სრულდება ტემპერატურულ შეალევდში  $500^{\circ}\text{C} - \text{Ms}$ . ამ დროს ფუქსისა და ჩანაცვლებულ ატომებს პრაქტიკულად არ შეუძლია გადაადგილება (დიფუზია), ხოლო გადაცივებით აკუმულირებული ენერგია საქმარისი არ არის მარტენსიტული მექანიზმით  $\gamma \rightarrow \alpha$  გარდაქმნის განსავითარებლად. იმავდროულად თერმოდინამიკურად კრისტალოგრაფიული წყობა – წახნაგცენტრირებული კუბი (კ12) ვერ იარსებებს. სისტემა, როგორც სინერგეტიკული (თვითმართვადი) [3-6], იწყებს „ჩიხიდან გამოსვლას“. ამას აკონტროლებს ნახშირბადის დიფუზიის პროცესი. იწყება ნახშირბადის გადანაწილება და წარმოიქმნება ნახშირბადით დარიბი და ნახშირბადით მდიდარი უბნები. დარიბ უბნებში ძვრის (მარტენსიტული) მექანიზმით მაშინვე სრულდება  $\gamma \rightarrow \alpha(\text{B})$  გარდაქმნა, ხოლო მდიდარ უბნებში ჯერ ჭარბი კარბიდები გამოიყოფა და შემდეგ მეორდება წინას მსგავსი პროცესი – ყალ. $\rightarrow$ ყარბიდები; ყალ. $\rightarrow$ α(B) ფაზური გარდაქმნა.

საერთოდ, სილიციუმს ფოლადში მრავალნარი დატვირთვა აქვს. საწყის ეტაპზე ის სხვა ელემენტებთან (Al, Mn და სხვ.) ერთად მუშაობს, როგორც განმეობავი. როცა ის კომპოზიციაში მალეგირებელ ელემენტად არის შეტანილი „სილიციუმის ზღურბლის“ ზემოთ ( $\text{Si} \geq 0,50\%$ ), მაშინ მისი მოქმედება (გავლენა) შეიძლება ასე წარმოვიდგინოთ: სილიციუმი თავისი პიბრიდიზებული  $3\text{S}^1\text{P}^3$  ელექტრონებით რკინასთან მიმართებაში ანეიტრალებს  $3\text{d}_{10}^6$  ქვეშრეზე არსებულ გაუწონასწორებელ საინებს – ელექტრონებს ( $3\text{d}_{10}^6 \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow \uparrow$ ), რადგან ის უფრო ძლიერი დონორია, ვიდრე ნახშირბადი; ასევეა პიბრიდიზებულ მდგომარეობაში  $2\text{S}^1\text{P}^3$  ელექტრონები. ზემოაღნიშნული ააქტიურებს

\* ამ კომპოზიციაში სპილენდი შეტანილ იქნა ბეინიტური გარდაქმნისათვის მეტად საჭირო ელემენტის – მოლიბდენის უარყოფითი გავლენის გასანეიტრალებლად. ის აძლიერებს ნიკელის დაღებით გავლენას და მოლიბდენის მსგავსად მონაწილეობს ე. წ. „ხავერდოვანი შრის“ ჩამოყალიბებაში. მისი სუბოქსიდგი აქტიურად მონაწილეობს გაჭოლვის პროცესებში და სხვ.

ნახშირბადის გადანაწილების პროცესს და ბეინიტური გარდაქმნის პროცესი უფრო სწრაფად და ერთგვაროვნად მიმდინარეობს. აქვე (ცხრილები 1 და 2) მოგვავს უქსპერიმენტის შედეგები [7, 8], რომლებიც მიღებულია ჩვენ მიერ შემუშავებულ, საავტორო უფლებებით დაცულ საშუალო-ნახშირბადიან ბეინიტური კლასის ფოლადებზე (ს. გ. №1208090 – 40ГСМФ; ს. გ. №1362058 – 40ГМФ).

### ცხრილი 1

#### საწარმოო პირობებში გამოდნობილი 40ГСМФ და 40ГМФ ფოლადების ქიმიური შედგენილობები

ფოლადი	ქიმიური ელემენტების შემცველობა, მასური %							
	C	Si	Mn	Mo	V	S	P	Fe
40ГСМФ	0,40	0,52	0,97	0,22	0,07	0,035	0,017	ვუძე
40ГМФ	0,36	0,43	0,96	0,27	0,07	0,029	0,020	ვუძე

### ცხრილი 2

#### 40ГСМФ და 40ГМФ ფოლადების მექანიკურ თვისებათა მაჩვენებლები 900 °C-ზე ნორმალიზაციისა და 600 °C-ზე მოშვების შემდეგ

ფოლადი	მექანიკურ თვისებათა მაჩვენებლები					
	$\sigma_{\text{დ}}, \text{ნ/მ}^2$	$\sigma_{\text{ს}}, \text{ნ/მ}^2$	$\delta_5, \%$	$\psi, \%$	$a_1=a_{\text{ნ}}+a_{\text{გ}}, \text{ჯ/სმ}^2$	$J_{\text{IC}}, \text{ნ/მ}$
40ГСМФ	750	950	23	60	230=80+150	140
40ГМФ	730	910	23	56	150=60+90	114

1-დი და მე-2 ცხრილების მონაცემებით, ორიგე შემთხვევაში სახეზეა საკონსტრუქციო სიმტკიცის მაღალი მაჩვენებლები, მაგრამ უპირატესობა  $Si=0,52\%$  ფოლადს ეკუთვნის, რადგან სილიციუმის შემცველობა „ზღურბლის“ ( $Si \geq 0,50\%$ ) ზემოთ, მოყვანილი სქემით, აადვილებს ნახშირბადის გადანაწილებას, რაც ხელს უწყობს ბეინიტური გარდაქმნის უფრო თრგანიზებულ ჩატარებას. საბოლოოდ, 40ГСМФ ფოლადის სტრუქტურა უფრო ერთგვაროვანია, ვიდრე 40ГМФ ფოლადისა; ეს კი განაპირობებს ქვემოთ მოყვანილ სხვაობებს: 40ГСМФ-40ГМФ=Δ;  $\Delta\sigma_{\text{დ}}=20 \text{ ნ/მ}^2$ ;  $\Delta\sigma_{\text{ს}}=40 \text{ ნ/მ}^2$ ;  $\Delta\delta_5=0 \%$ ;  $\Delta\psi=4 \%$ ;  $\Delta a_1=a_{\text{ნ}}+a_{\text{გ}}=80=20+60 \text{ ჯ/სმ}^2$ ;  $\Delta J_{\text{IC}}=26 \text{ ნ/მ}$ . საკმაოდ მნიშვნელოვანია მიღებული შედეგი, რომელიც თეორიულ ასპექტში შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ: მყარი სსნარის დეგირების ხასიათი (ფოლადის ქიმიური შედგენილობა) და აგებულება – სტრუქტურული მოწესრიგება (განპირობებული დამუშავებით, მაგალითად, თერმული დამუშავებით, პლასტიკური დეფორმაციით და სხვ) განსაზღვრავს სიმტკიცის ზღვრის დონეს, ხოლო მარცვლის სიდიდე, დისპერსიულობა, მეორეული ფაზების ბუნება და სხვა ფაქტორები, უფრო მეტ გავლენას ახდენს დენადობის ზღვარზე. ყველაზე მნიშვნელოვანია ის, რომ დადებითი აღმოჩნდა 40ГСМФ და 40ГМФ ფოლადების ბზარის გავრცელების კუთრ მუშაობათა და ჯეი-ინტეგრალთა (ბზარმედეგობის ენერგეტიკულ მახასიათებელთა) შორის სხვაობები ( $\Delta a_1$  და  $\Delta J_{\text{IC}}$ ), ზემოხსენებულ ფოლადებში სილიციუმის შემცველობებს შორის მცირე ( $0,09 \%$ ) სხვაობის მიუხედავად. თავის დროზე ამ სადისკუსიო ფაქტებმა საკმაოდ დამაჯერებლად დაადასტურა „სილიციუმის ზღურბლის“ არსებობა რკინასა და ბეინიტური კლასის რკინა-ნახშირბად-სილიციუმის (Fe-C-Si) შენადნობებში. ასევე უნდა აღინიშნოს, რომ სილიციუმის მოქმედება რკინაზე ( $\Delta a = a_{\text{Fe}}^{2,48} - a_{\text{Si}}^{2,35} = 0,13 \text{ \AA}$ ) იწვევს ამ უკანასკნელის გისოსის შემცირებას (შეკუმშვას) და, როდესაც  $Si=2,3 \%$ -ს, რკინა კარგავს კარბიდჭარმოქმნის უნარს, ალოტროპიზმს ( $3d_{10}-4s^2$ -შემრებელ არსებული გაუშონასწორებელი სპინები ერთმანეთთან წარმოქმნის კოვალენტურ კავშირებს), მისი დარტყმითი სიბლანტე  $KCU=0$ , ანუ რკინა სრულიად მყიფე ხდება. იგივე შედეგი ( $KCU=0$ ) მიიღება რკინის გაცივებისას უარყოფით კრიტიკულ ტემპერატურაზე. ამ კუთხით მეტად საინტერესო იქნება 08ХН4СДМФТ და 08ХН4ДМФТ კომპოზიტების

შედარება, რისი შედეგებიც გაამდიდრებს „სილიციუმის ზღურბლს“ და, საერთოდ, სილიციუმის როლს უფრო მეტი მნიშვნელობა მიენიჭება ბენიტურ გარდაქმნაში.

ჩვენმა საკვლევმა ობიექტმა – ბენიტური კლასის დაბალნახშირდადიანმა 08XH4СДМФТ ტიპის ფოლადმა [9, 10], გაუმჯობესების სერიოზული საქარხნო გზა (12XH3A→10XH3MFT→08XH4СДМФТ→...) გაიარა, რის შედეგადაც მილსაგლინი „აგრეგატი 400“-ის გამჭოლ დგანებზე მუშაობისას მისგან დამზადებული სამართულების შედეგობა რეკორდული (1000, 1500, 1700 მილი) აღმოჩნდა, რაც უახლოვდება 2000 მილს. სხვაგვარად რომ ვთქვათ, თუ მოგვარებული იქნება ტექნიკური და ტექნოლოგიური საკითხები, მათ შორის სახაზავების შედეგობა გამჭოლ და შემოგლინავ დგანებზე, ასევე ავტომატური და შემომგლინავი დგანების სამართულების შედეგობის გაზრდა  $n \geq 500$  მილზე და  $n \geq 1000$  მილზე, მაშინ გამჭოლი დგანების სამართულების ჩვენ მიერ მიღებულ მასალას – კომპოზიციას, პირველ ეტაპზე  $n \geq 500$  მილზე, ხოლო მეორე ეტაპზე (5 წლის შემდეგ)  $n \geq 1000$  მილზე მეტი მედეგობა ექნება.

საწარმოს გადაწყვეტილებით უნდა მოგვარდეს ტექნოლოგიური საკითხები (ა-დან ვ-მდე). თუ ტექნოლოგიურ გზაზე რაიმე არ ვარგა, ცუდად მუშაობს ან არ არსებობს, საჭირო იქნება ასეთი საკითხების გამოსწორება. კაზმის მომზადებიდან მზა პროდუქციის დევექტოსკოპირების ჩათვლით, წვრილმანი არ არსებობს. მათ რიცხვშია საყალიბების სისტემატური შემოწმება და მათი შედეგნილობის კორექტორება. აუცილებელია სინჯების სისტემატური აღება და ა. შ. ჩვენი ვარაუდით, საწყის ეტაპზე, ორ კვირაში უკვე გვექნება ძირითადი მონაცემები. ორი წლის შემდეგ დაგროვილი მონაცემების საფუძველზე ნათელი წარმოდგენა შეიქმნება ნაკეთობების შედეგობაზე საქარხნო პირობებში. სრული სურათის მისაღებად ასევე აუცილებელი იქნება „მთსსც“-ში ჩასატარებელი კვლევების აღდგენა-გაძლიერება.

ქვემოთ მოგვყავს იმის მაგალითი, თუ როგორ შეიძლება საწარმოო გამოცდების დროს კონკრეტული ნადნობისაგან დამზადებული სამართულების მედებობის პროგნოზება ლაბორატორიულ (მაგალითად, „მთსსც“) პირობებში და როდის დაიწყება ამ მასალის დეგრადაციის პროცესი [11]. დრეკადობის ზღვრებში მუდმივმოქმედი გამჭიმი ძალის ( $P=0,7P_{\text{დ}}$ ) პირობებში  $A_1$ -ის ქვემოთ ( $+20^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 650^{\circ}\text{C}$ ) ციკლთა სხვადასხვა რაოდენობით ( $n=10; 100; 500; 1000$ ) თერმოციკლირებისას ჩვენ მიერ შესწავლილი გავლენა 10XH3MFT ფოლადის მექანიკურ თვისებათა მაჩვენებლებზე წარმოდგენილია მე-3 ცხრილში, ხოლო მეთოდური ნაწილი – 1-ლ და მე-2 ნახ-ებზე [11].

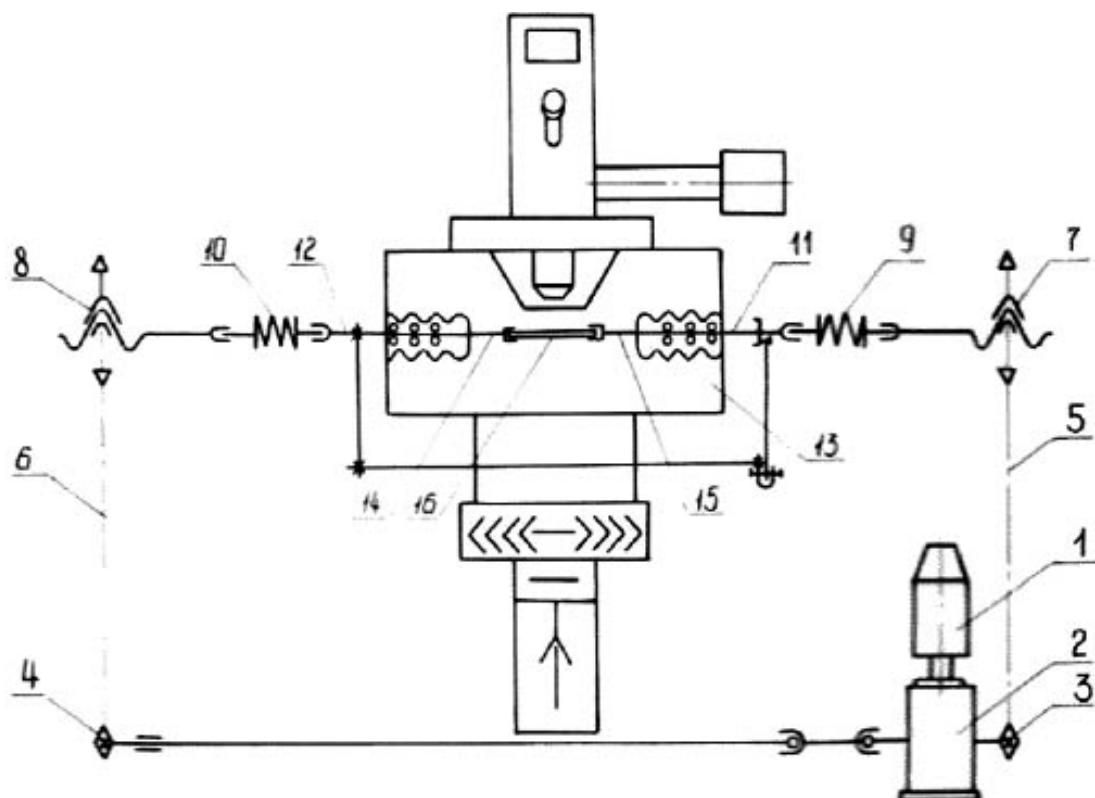
### ცხრილი 3

**დრეკადობის ზღვრებში გამჭიმი ძალის ( $P=0,7P_{\text{დ}}$ ) მუდმივი მოქმედებისას  
ა-1-ის ქვემოთ ( $+20^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 650^{\circ}\text{C}$ ) თერმოციკლირების გავლენა 10XH3MFT  
ფოლადის მექანიკურ თვისებათა მაჩვენებლებზე**

ციკლთა რაოდენობა, $n$	მექანიკური თვისებების მაჩვენებლები $650^{\circ}\text{C}-ზე გამოცდისას$				$\text{ფუძისმიკროსისალე}$
	$\sigma_{\text{B}}$	$\sigma_{\text{დ}}$	$\delta_5$	$\Psi$	
	$\text{ნ/მ}^2$	$\text{ნ/მ}^2$	%	%	
10	400	288	34	93	1310
100	500	269	43	84	1190
500	733	578	31	87	1043
1000	1059	960	29	89	896

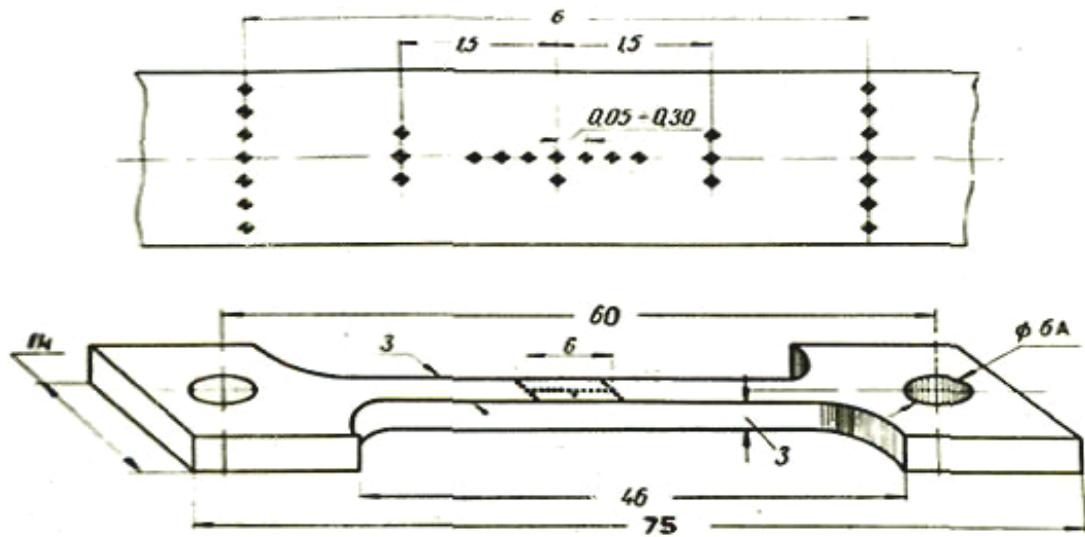
მე-3 ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემები ცხადყოფს, რომ თერმული ციკლების რაოდენობის 1000-მდე გაზრდით 10XH3MFT ფოლადის მექანიკური თვისებები შემდეგნაირად იცვლება: სიმტკიცე ორჯერ და მეტად იზრდება პლასტიკურობის მაღალ დონეზე შენარჩუნებით ( $\sigma_{\text{დ}} = 288 \text{ ნ/მ}^2 \rightarrow 960 \text{ ნ/მ}^2$ ;  $\delta_5 = 34 \% \rightarrow 29 \%$ ). ე. ი. ხდება დისპერსიული განმტკიცება სიმტკიცის მაჩვენებლების ზრდით; ამ დროს კლებულობს ფუძის – ფერიტის მიკროსისალე ~ 400 ერთეულით, რაც ხელს უწყობს პლასტიკურობის

მაღალ დონეზე შენარჩუნებას ( $\delta=29\%$ ;  $\psi=89\%$ ). შემუშავებული მეთოდი (გაჭოლვის პროცესის იმიტაცია მაღალტემპერატურულ მიკროსკოპზე) საშუალებას იძლევა ექსპერიმენტულად დადგინდეს ის მომენტი, როცა ციკლების რაოდენობის გაზრდით შემცირებას დაიწყებს სიმტკიცის მაჩვენებლები, ხოლო პლასტიკურობის მაჩვენებლები ინტენსიურად შემცირდება. თუ ლაბორატორია კვლავ ჩადგება მწყობრში, მისი დონე აღდგება (მიუახლოვდება გასული საუკუნის 80-იანი წლებისას), მაშინ ასეთი ამოცან(ებ)ის ამოხსნას 10 დღეში შევძლებთ. აღნიშნულს მეტ მნიშვნელობას შესძენს ახალი მიღვომა – მიღსაგლინი „აგრეგატი 400“-ის ტექნოლოგიური ხაზის მუშაობის შესწავლა ე. წ. „სუსტი ადგილების“ („სუსტი ინსტრუმენტის“) დასადგენად. ეს სამუშაო უკვე ჩატარებულია და საჭიროა პრაქტიკული ნაბიჯების გადადგმა, რაც ორი პერიოდის გავლას გულისხმობს: I –  $n_1 \geq 500$  მილზე და II –  $n_2 \geq 1000$  მილზე. 2 წლის შემდეგ უნდა გვქონდეს მინიმალური მედეგობა  $n_1 \geq 500$  მილზე, რაც კარგ შედეგად ჩაითვლება, ხოლო მეორე პერიოდი (5 წელი) მინიმალური მედეგობით  $n_2 \geq 1000$  მილზე – საუკეთესო შედეგი იქნება. საწარმო დიდ სივრცეში გახდება ინსტრუმენტის ექსპორტირი. გარდა ამისა, შეიძლება კოოპერირება მიღნამზადის სტაბილურ შემოტანაზე\* და სხვ., რაც შპს „რუსთავის ფოლადის“ ერთ-ერთი მიმართულებებაა.



ნახ. 1. ИМАШ 20-78 ტიპის დანადგარის კინემატიკური სქემა: 1 – მუდმივი დენის ძრავა; 2 – გადაცემათა კოლოფი; 3 – 4 – წამყვანი ვარსკვლავა; 5 – 6 – ჯაჭვური გადაცემა; 7 – 8 – დატვირთვის ქანჩი; 9 – 10 – ძალსაზომი გადამწოდი; 11 – სამუშაო საკანი; 12 – 13 – დამჭერი; 14 – გამოსაცდელი ნიმუში

\*აუცილებელია მიღებს თრივე აგრეგატზე ჩატარდეს თერმული დამუშავება, კერძოდ, ნორმალიზაცია „აგრეგატ 400“-ზე და ნორმალიზაცია ნაკადში „აგრეგატ 140“-ზე.



ნახ. 2. მაღალ ტემპერატურებზე გამოსაცდელი ნიმუში

მე-4 ცხრილში მეთოდიკისათვის მოგვყავს ისეთი შემთხვევის მაგალითი, როდესაც კომპოზიციას აქვს ძალზე მაღალი მედეგობა ( $n_x \geq 2000$  მილზე) ან შეუძლია ამ ნიშნულამდე მიღწევა კ. წ. „გადაჩარხვით“. როგორც ვიცით, სამართული მწყობრიდან გამოდის ნგრევით (რდვევით), ცვეთით ან სხვა მიზეზით. როდესაც სამართულის შეცვლის მიზეზი გეომეტრიული ზომების დარღვევაა, მიმართავენ მის გადაჩარხვას უახლოეს მცირე ზომებამდე (იტალიელთა გამოცდილება). გეომეტრიულად მზა სამართულებს იმგვარადვე დაამუშავებენ ოერმულად, როგორც სხმულ სამართულებს – უზარებენ დაკომპაქტებულ ორმაგ მოწვას და ხელახლა იუქნებენ მილების საგლინად. ყველი ასეთი სამართულის მწყობრიდან გამოსვლის შემდეგ აღრიცხავენ მის საერთო (ჯამურ) მედეგობას.

#### ცხრილი 4

„აგრეგატი 400“-ის გამჭოლი დგანების სამართულების საორიენტაციო  
მედეგობის დადგენის მეთოდი ИМАШ-ის 36 ნიმუშის გამოყენებით

თერმული ციკლების რაოდენობა, მ	10	500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
გამოსაცდელი ნიმუშების რაოდენობა	4	4	4	4	4	4	4	4	4
დარჩენილი ნიმუშების რაოდენობა	36-4=32	32-4=28	28-4=24	24-4=20	20-4=16	16-4=12	12-4=8	8-4=4	4-4=0

საცდელი ნიმუშების საერთო რაოდენობაა 36. ყველა ეტაპის შემდეგ გაჭიმვაზე იცდება 3 ნიმუში (1 – 650 °C-ზე, 2 – 20 °C-ზე), ხოლო 1 ნიმუში სტრუქტურული კვლევისათვის არის განკუთვნილი, ანუ ერთ რეჟიმზე სულ საჭიროა 4 ნიმუში. საფურადებოა ის ფაქტი, რომ მთელი ექსპერიმენტი სრულდება დრეკალობის ზღვრებში გამჭიმი ძალის მუდმივი ზემოქმედების პირობებში. აღნიშნული მეთოდი ამ ნიშნით ემსგავსება დამუშავებას „მოშვება დაძაბულობის ქვეშ“. არსებული მონაცემებით, ასეთ პირობებში დაფიქსირებულია სიმტკიცის მაჩვნებლების მნიშვნელოვანი ზრდა

ალასტიკურობის არსებულ დონეზე შენარჩუნებით ან უმნიშვნელო შემცირებით. ეს გვქონდა მხედველობაში, როცა არსებული სქემა უცვლელი დავტოვეთ. მომავალი სამუშაოს მიზანია საქართველო და ლაბორატორიულ პირობებში მიღებულ შედეგებს შორის რაოდენობრივი კავშირის დამყარება. მოსალოდნელი შედეგები წარმოდგენილია მე-5 ცხრილში.

### ცხრილი 5

**08ХН4СДМФТ ფოლადის მექანიკურ თვისებათა მოსალოდნელი მაჩვენებლები**

**А1-ის ქვემოთ 10-დან 2200-მდე ციკლის ფარგლებში თერმოციკლირების შემდეგ**

ციკლთა რიცხვი, n	10	500	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
დენადობის ზღვარი, $\sigma_{\text{ლ}}, \text{ნ/მ}^2$	250	500	900	1050	1150	2000	2250	2400	2000
ფარდობითი წაგრძელება, $\delta_5, \%$	35	33	31	30	28	27	26	24	16

მე-3 ცხრილში წარმოდგენილია 10ХН3МФТ ფოლადზე მიღებული ექსპერიმენტული მონაცემები [11], რომელთა გამოყენებითაც მოხდა ფოლადის შედგენილობის კორექტირება (ნახშირბადი კომპოზიციის ქვედა ზღვარზე, ხოლო მაღლებრივებული ელემენტები – ზედაზე); როგორც უპვე ადვინშნეთ, სილიციუმი მაღლებრივებული ელემენტია (Si=0,50–1,2 %) იქნა დამატებული, ხოლო სპილენი გამოყენებულ იქნა მრავალმხრივი მნიშვნელობით (Cu=0,8–1,2 %). სწორედ ამ ნიშნებით მოღერნიზებული კომპოზიცია (08ХН4СДМФТ) გადაეცა წარმოებას. მისი რეკორდული მედეგობა ჯერჯერობით 1700 მილია, მაგრამ შედველობაში გვქონდა „გადაჩარხვებით“ გაზრდილი სამართულების მედეგობაც, როცა  $n_{\text{max}}=2000$  მილს. მე-5 ცხრილში წარმოდგენილი მონაცემებით ნაჩვენებია, რომ 2000 მილზე ზემოთ დაიწყება ლითონის დეგრადაცია (როდესაც  $n=2200$  მილს:  $\Delta\sigma_{\text{ლ}}=-400 \text{ ნ/მ}^2$ , ხოლო  $\Delta\delta_5=-8 \%$ ). მოყვანილი მაგალითების გარდა, საჭიროა შემუშავებული მეორედით ახალ ასპექტში შევისწავლოთ „დაკომპაქტებული ორმაგი მოწვა“ ჰაერზე გაცივებით, რაც „ნაკადში ნორმალიზაციის“ ტოლფასია. უყურადღებოდ არ უნდა დარჩეს აგრეთვე „შლეიფების“ გავლენის საკითხი ( $\langle \text{Ti}+\text{N}+\text{V} \rangle$  ან  $\langle \text{Ti}+\text{N}+\text{Nb} \rangle$  ან  $\langle \text{Ti}+\text{N}+\text{V,Nb} \rangle$  და სხვ), რისთვისაც აუცილებელია Fe-Si-N შენადნობის შეძენა. ცხოვრების ტემპი და სადღეისო პრობლემები ჯერჯერობით არ იძლევა იმის საშუალებას, რომ მეტი ყურადღება დაეთმოს ფუნდამენტურ საკითხებს. გამონაკლისია შემოხვევა, როცა საქმე ეხება უმაღლესი განათლების მექანიკურს – დოქტორანტურას. ამ დროს უნდა გამოიძინოს „ყველანაირი საშუალება“, რათა შევინარჩუნოთ მეცნიერული კვლევის დონე – დაცვაზე გამოვიტანოთ სამი განზოგადებული დებულება მაინც. ამ მიმართულების ხარვეზების შესავსებად ჩატარებულ იქნა ექსპერიმენტები ჩვენ მიერ შემუშავებულ საშუალონახშირბადიან მცირედ ლეგირებულ სამილე ფოლადებზე:

1. ფოლადი 40ГТ (ს. მ. №827581) სიმტკიცის „K“ ჯგუფის ( $\sigma_{\text{ლ}} \geq 500 \text{ ნ/მ}^2$ ) უნაკერო სამაგრი მიღების საჭარმოებლად ცხელი გლინისა და „ნორმალიზაციის“ შემდეგ;

2. ფოლადი 40ГФТ (ქართული პატენტი GEP 2015 6260 B) მაღალი სიმტკიცის ( $\sigma_{\text{ლ}} \geq 760 \text{ ნ/მ}^2$ ) სატურბ-საკომპრესორო მიღების საჭარმოებლად დამუშავებული კ. წ. „ნორმალიზაცია ნაკადში“.

### ცხრილი 6

**А1-ის ქვემოთ, დაძაბულობის ქვეშ ( $P=0,7P_{\text{ლ}}$ ) თერმოციკლირების გავლენა 40ГТ და 40ГФТ ტიპის ცხლად გლინული მიღების ფოლადების მექანიკურ თვისებებზე**

საკვლევი ფოლადი	ციკლთა რაოდენობა n, სხვაობა $\Delta$	მექანიკურ თვისებათა მაჩვენებლები		
		$\sigma_{\text{ლ}}, \text{ნ/მ}^2$	$\sigma_{\text{B}}, \text{ნ/მ}^2$	$\delta_5, \%$
40 ГТ, დნობა №7104	0	550	880	11
	1000	500	760	16
	$\Delta$	$\Delta\sigma_{\text{ლ}}=-50$	$\Delta\sigma_{\text{B}}=-120$	$\Delta\delta_5=+5$
40 ГФТ, დნობა №253246	0	760	1030	10
	451	520	760	7,5
	$\Delta$	$\Delta\sigma_{\text{ლ}}=-240$	$\Delta\sigma_{\text{B}}=-270$	$\Delta\delta_5=-2,5$

როგორც აღვნიშნეთ, საწარმოო პირობებში სამართულების გამოცდების ჩატარებისას დაგვებადა მიღების გაჭოლვის (მიღების) პროცესის ლაბორატორიულ პირობებში იმიტირების იდეა და თუ ეს მოხერხდებოდა, მაშინ ეს მეორდი მნიშვნელოვნად დაგვეხმარებოდა ახალი კომპოზიციების შედგენილობების თპტიმიზაციის ამოცანების ამოხსნაში [11], ამასთან, საგრძნობლად შეამცირებდა საწარმოო ცდების რაოდენობას. განხნდა საფუძვლიანი მოსაზრება, რომ სამართული სხვადასხვა მასალისაგან ყოფილიყო შედგენილი, ხოლო მისი გამოცდები ჩატარებულიყო ლაბორატორიულ გამჭოლ დგანზე, რომელიც უნდა დაგვემზადებინა. სხვა მოსაზრებით, შეიძლებოდა გამოგვევენებინა დამუშავების ცნობილი „მოშვება დაძაბულობის ქვეშ“, რომლის გავლენით მასალის სიმტკიცე იზრდებოდა პლასტიკურობის უმნიშვნელო შემცირებით. „ИМАШ“-ის ტიპის მაღალტემპერატურული მიკროსკოპი ყველა ასპექტში პასუხობდა ჩვენს პირობებსა და მოთხოვებს. სამართულების გახურების ტემპერატურა ცნობილი იყო და არ აღემატებოდა  $650^{\circ}\text{C}$ -ს. საკვლევი მასალა ჩამოისხა სამართულებთან ერთად, გაიარა თერმული დამუშავება და დამზადდა „ИМАШ“-ის ნიმუშები. ექსპერიმენტულად იქნა დადგენილი დენადობის ზღვარი, ხოლო მუდმივმოქმედი გამჭიმი ძალის მნიშვნელობა შეირჩა  $P=0,7\text{Pa}$ . თერმოციკლინორების რეჟიმის პროგრამა მრიცხველით აღჭურვილ მანქანას მიეწოდება გრაფიკულად. ექსპერიმენტებს ვატარებდით  $+20^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 650^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურებზე, ციკლების შემდეგი ბიჯით  $n=10; 100; 500; 1000$  (ციკლთა ბოლო რაოდენობა შესაბამებოდა სამართულების მედვების რეკორდულ მნიშვნელობას, ვ. ი. 10XH3MFT ფოლადისაგან დამზადებული სამართულების მაქსიმალური (რეკორდული) მედვებია 1000 მილს უტოლდებოდა). ყველა ეზაპზე ტარდებოდა მექანიკური გამოცდები  $650^{\circ}\text{C}$ -სა და ოთახის ტემპერატურაზე ( $+20^{\circ}\text{C}$ ), შეისწავლებოდა ფოლადის სტრუქტურა. მიღებული შედეგები აღმოჩნდა არატრადიციული და ძალზე მნიშვნელოვანი (ცხრილი 3). ჩვენ გავიცნობიერეთ, რომ შემუშავებული მეოროდი სტრუქტურულ ასპექტში ახლოს იყო რეალობასთან და მისი გამოყენება შეიძლებოდა მრავალი მიმართულებით, კერძოდ, დაბალნახშირბადიანი ( $C \leq 0,10\%$ ) ფოლადების ფუძის გაჯერებულების შესასწავლად. აღნიშნული დადასტურებულია 40ГТ და 40ГФТ სამილე ფოლადების შესწავლისას (ცხრილი 6). 40АГФТ ფოლადის მთლიანი დეგრადაცია ემსგავსება ფერად ლითონებში (მაგალითად, დურალუმინში) მიმდინარე პროცესებს შენადნობის მოშვების ტემპერატურაზე მაღლა გახურებისას. ფოლადი 40АГФТ ჩვენი „რეცეპტით“ იქნა გამოდნობილი ვოლგოგრადის ქარხანა „Краснიй Октябрь“-ში, ხოლო, მიღებული მილნამზადებისაგან სატუმბ-საკომპრესორო მილები გაიგლინა რუსთავში, „აგრეგატ 140“-ზე. დენადობის ზღვრის რეკორდული მაჩვენებელი მიღებულ იქნა ცხელი გლიცერინის შემდეგ  $\sigma_{\text{f}} \geq 760 \text{ N/mm}^2$  [11]. 10XH3MFT ფოლადისაგან გამჭოლი დაგანების სამართულების წარმოებისას დაფიქსირდა მედვების მაღალი მაჩვენებლები – 700, 800 და ზოგჯერ 1000 მილზე მეტი. გარკვეული დროის შემდეგ აღმოჩნდა, რომ ეს ეფექტი დაკავშირებული იყო ელექტრორკალურ დუმელში ლითონის დნობისას ( $N_2 \rightarrow N+N$ ) ატომური აზოტის გადასვლასთან თხევად ლითონში ( $N=0,007-0,01\%$ ). ჯამური ეფექტი უფრო გაძლიერდა 08XH4СДМФТ ფოლადზე გადასვლის შემდეგ, როდესაც მედვების რეკორდული მახასიათებლები გაუტოლდა 1000, 1500, 1700 მილს. დაფიქსირებულია ისიც, რომ 18АГФТ ფოლადისაგან გაგლინული არმატურა თერმული დამუშავების გარეშეც აკმაყოფილებს ISO-ს B500W სტანდარტის მოთხოვებს ( $\sigma_{\text{f}} \geq 500 \text{ N/mm}^2$ ). არსებული მონაცემებით [12], თუ გვაქს გამიზნული კომპოზიცია „შლეიიფიტ“  $<\text{Ti}+\text{N}+\text{V}>$ , ან  $<\text{Ti}+\text{N}+\text{Nb}>$ , ან  $<\text{Ti}+\text{N}+\text{V}, \text{Nb}>$  ან სხვ. და ტექნოლოგიური პროცესი, რომელიც გარკვეული სახით ლითონების წნევით დამუშავებას უნდა შეიცავდეს, მაშინ ასეთი დამუშავების შემდეგ სიმტკიცე მნიშვნელოვნად იზრდება, თანაც შენარჩუნებულია პლასტიკურობის მაღალი დონე. ეს შესასწავლი მოვლენა ჩვენი რედაქციით ცნობილია „ახალი ფენომენის“ სახელწოდებით\*. ჯერჯერობით გამოვლენილი და შესწავლილია:

1. მილნამზადების გაჭოლვის პროცესი 10XH3MFT და 08XH4СДМФТ ფოლადებზე;

\* „ახალი ფენომენი“ აღვილი გამოსავლენია, თუ ტექნოლოგიური პროცესი მთავრდება მზა პროდუქციის (მიღები, სორტული ნაგლინი და სხვ) მიღებით. თუ სამივე ფაქტორის მოქმედება მოქცეულია მიღების საწარმოებელ ინსტრუმენტში (სამართულები, სახაზავები), მაშინ „ახალი ფენომენის“ ეფექტი უნდა „დაფიქსიროთ“ ინსტრუმენტის მედვების ზრდაში.

2. სატუმბ-საკომპრესორო მილების გლინგა „აგრეგატ 140“-ზე 40АГФТ ფოლადისაგან;
3. B500W-ს ტიპის შესაღებელი (C=0,22 %; CE=0,43 %) არმატურის წარმოება ცხლად გლინული 18АГФТ ფოლადისაგან თერმული დამუშავების გარეშე;
4. ინსტრუმენტის (სამართულები, სახაზავები) საწარმოებლად განკუთვნილი კომპოზიციები (გამჭოლი დგანების სამართულებისთვის – 08ХН4СДМФТ; ავტომატური დგანების სამართულებისათვის – 17Х5Н4СДМФТ; შემომგლინავი დგანების სამართულებისათვის – 350С1Ю2ДН5МФТ; გამჭოლი და შემომგლინავი დგანების სახაზავებისათვის – 110Х28ДН5ФТ) შეიცავს „შლეიფს“ და აქვს სამივე კომპონენტი. აუცილებელია დავაფიქსიროთ სასტარტო მექანიკური თვისებების მახასიათებლები და რაც შეიძლება სწრაფად დავიხმაროთ „მოსსც“-ის საკვლევი ბაზა. ჩვენი ახალი მიდგომით\* ყველა ნაღნობზე გვექნება კოკილებში ჩამოსხმული ნიმუშები სხმულ მდგომარეობაში და თერმული დამუშავების შემდეგ. გაჭიმვაზე გამოცდება მოჰყვება კვალიფიციური მიკროანალიზის შედეგები, რომელთაც შევავსებთ ნამუშევარი სამართულების (სახაზავების) შესწავლით.

## დასკვნა

არსებული ექსპერიმენტული მონაცემების ანალიზის შედეგები პრეტენზიის ქონის საშუალებას იძლევა საღისერტაციო თემატიკის წარმატებით შესრულებისას დასაცავად გამოსატანი შემდეგ სამ განხოგადებულ დებულებაზე:

1. ქართული პატენტით იქნება დაცული ნაშრომში გამოყენებული, გამიზნულად შემუშავებული კომპოზიცია 08ХН4СДМФТ. გამორიცხული არ არის, რომ ასევე გვაქნეს ქართული პატენტი მასალის თერმულ დამუშავებაზე, რომელიც არსებული დაკომპაქტებული მოწვისაგან განსხვავდება იმით, რომ საპომოგენიზაციო მოწვას მოჰყვება სამართულების გარანტირებული შეცივება  $\sim 500^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურამდე (რასაც იმპულსით უზრუნველყოფს სამართულები ჩამონტაჟებული თერმულ-ელექტრული პიროვნების „ცხელი ბოლო“)  $\rightarrow$  გარდაქმნის ჩასატარებლად, შემდგომი გახურება  $920^{\circ}\text{C}$ -ზე 40 წუთის დაყოვნებით და მოდევნო გაცივება ჰაერის აქტიური ნაკადით. აღნიშნული უზრუნველყოფს გლობულარული ბეინიტის გარანტირებულ მიღებას სამართულების ზედაპირულ შრეებში მეურვალმედეგი შრის ქვეშ;

2. სამართულების მინიმალური მედევნობა მიღსაგლინავ „აგრეგატ 400“-ზე იქნება  $n_2 \geq 1000$  მილზე, როთაც საწარმოს შეეძლება გახდეს ინსტრუმენტის ექსპორტიორი;

- 3.1. მიღსაგლინ „აგრეგატ 400“-ზე მიღებული შედეგების გადატანა „აგრეგატ 140“-ზე. აუცილებელი იქნება სამართულების ჩამოსხმა მიახლოებით ზომებში, ჰედვა-შტამპვით და მომდევნო ცივი მექანიკური დამუშავებით მათი დაყვანა საჭირო ზომებამდე, ხოლო საბოლოოდ – თერმული დამუშავება „აგრეგატ 400“-ის სამართულების ანალოგიურად (იხ. 1). წარმატებული შედეგების შემთხვევაში გაფორმდება განაცხადი სამართულების მიღება-დამუშავებაზე;

3.2. გლობულარული ბეინიტის, ანუ კ. წ. „სუპერ ბეინიტის“ გამოყენება ახალი დანიშნულებით – საჯავშნე მასალად შემდეგი სასტარტო მონაცემებით: საშუალო დონის სიმტკიცე მაღალ პლასტიკურობასა და სიბლანტესთან ერთად, რომლებიც შემდგომ უმჯობესდება პერფორაციებით.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Копалейшили В. П., Кашакашвили И. Г., Кереселидзе Л. Б. Закономерность между пороговым значением кремния и синергетическими процессами в Fe–C сплавах бейнитного класса // Проблемы металлургии, материаловедения и сварки: сб. тр. VII науч.-техн. конф. 8–11 октября 2002, Тб., 2002, с. 16-33.
2. Копалейшили В. П., Кашакашвили И. Г., Кереселидзе Л. Б., Иоселиани О. Г. Кремниевый порог в железе и Fe–C сплавах бейнитного класса и его значимость для материаловедения // Труды Груз. технич. ун-та. №1(459), 2006, с. 109-114.

\* 2-წლიანი პროგრამით ინსტრუმენტის მინიმალური მედევნობა „აგრეგატ 400“-ზე იქნება  $n_1 \geq 500$  მილზე; 5-წლიანი პროგრამით ინსტრუმენტის მინიმალური მედევნობა „აგრეგატ 400“-ზე იქნება  $n_2 \geq 1000$  მილზე.

3. Копалейшвили В. П., Кашакашвили И. Г. Синергетические (самоорганизующиеся) явления в Fe–C сплавах бейнитного класса // Научные труды Груз. техн. ун-та. Тб.: Технический университет, № 5 (438), 2001, с. 27-32.
4. Копалейшвили В. П., Кашакашвили И. Г., Кереселидзе Л.Б. Синергетические (самоорганизующиеся) явления в Fe–C сплавах бейнитного класса и пути их практического применения // Труды Груз. технич. ун-та. №2(449), 2003, с. 136-140.
5. V.P. Kopaleishvili, I.G. Kashakashvili, L.B. Kereselidze, G.O. Kipiani, O.G. Ioseliani. Scientific hypothesis for explain new bifurcations in bainitic iron alloys and its meaning for material science (Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia). Abstract and Manuscript No 3166. "Abstract book" together with "CD of Proceedings" of "Tehran International Congress on Manufacturing Engineering (TICME2005)". December 12-15, 2005, Tehran, Iran. Organizers: Society of Manufacturing Engineering of Iran (SMEIR), Tarbiat Modarres University (TMU), Industrial Developments and Renovation Organization (IDRO) of Iran; Editors: M.H. Sadeghi, J. Akbari, A. H. Behravesh. December, 2005, Tehran, Iran . ISBN: 964-8983-02-X.
6. V. P. Kopaleishvili, I. G. Kashakashvili, L. B. Kereselidze, O. G. Ioseliani. Self-organizing phenomena in bainite steels // Metallurgist. Vol. 52. N 5-6, May, 2008. p. 314- 318. (Translated from Metallurg, №5, May, 2008. p. 58-60.).
7. ვ. კოპალეიშვილი, ლ. კოტიაშვილი, ი. ქაშაკაშვილი, დ. კოპალეიშვილი, ო. მახარაძე, გ. ჭავჭანიძე. მცირედლებირებული ფოლადების საკონსტრუქციო სიმტკიცის შეფასება ბზარმედებობის გათვალისწინებით (შეტყობინება მეორე) // ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა, №1(9), 2008, გვ. 45-55.
8. ვ. კოპალეიშვილი, ი. ქაშაკაშვილი, ლ. კერესელიძე, ნ. ხიდაშელიძე, ო. ბარბაქაძე, მ. ბარათაშვილი. სფერულგრაფიტიანი თუჯის საკონსტრუქციო სიმტკიცის გაზრდა შედგენილობისა და თერმული დამუშავების სრულყოფით//ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა, №2(21), 2011, გვ. 28-53.
9. ვ. კოპალეიშვილი, მ. ბარათაშვილი, ი. ქაშაკაშვილი, ო. ბარბაქაძე, რ. ბაქრაძე, ზ. ფარჩუკაშვილი. ბეინიტური თუჯის საკონსტრუქციო სიმტკიცის გაზრდა შენადნობის ქიმიური შედგენილობის, თერმული დამუშავებისა და გრაფიტის სფერული ფორმის მიღების სრულყოფით. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები. №1(499), 2016, გვ. 65-76.
10. V. Kopaleishvili, N. Mumladze, Z. Tabatadze, M. Tabagari, I. Kashakashvili, O. Barbakadze, R. Baqradze. Production of hot rolled weldable of unified rebar B500W without heat treatment. International Conference "Innovative Technologies in Metallurgy and Materials Science" ITMMS-2015. July 16-18, Tbilisi, Georgia, 2015.
11. დ. კოპალეიშვილი. განმაღრუებელი დგანების სამართულების საწარმოებლად განკუთვნილი ფოლად 10XH3MFT-ს კვლევა. წარდგენილია დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი. თბ., 2008, - 108 გვ.
12. ვ. კოპალეიშვილი, ნ. მუმლაძე, ზ. ტაბატაძე, მ. თაბაგარი, ბ. კერესელიძე, ო. ბარბაქაძე. ახალი ფენომენის გამოყენება B500W-ტიპის არმატურის საწარმოებლად // ტრანსპორტი და მანქანათმშენებლობა, №3(28), 2013, გვ. 14-38.

**COMPREHENSIVE STUDY OF LOW-CARBON BAINITIC STEEL OF  
C0.08CrNi4SiCuMoVTi-TYPE, USED FOR THE PRODUCTION OF HIGH RESISTENT  
MANDRELS OF PIERCING MILLS IN ORDER TO EXPAND THE SCOPE OF  
APPLICATION**

**M. Tabagari, V. Kopaleishvili, I. Qashakashvili, O. Barbaqadze**

(Georgian Technical Yniversiti, "Rustavi steel")

**Resume:** Manufacturing technology of mandrels of piercing mills of Pipe Rolling aggregate "400" and steel of C0.12CrNi3-type underwent serious transformation in order to increase the resistance of the mandrels. The original method of manufacturing mandrels have been developed (SU 1615197) and the composition of a new type of steel C0.10CrNi3MoVTi (SU 1753730), the total effect of which is defined by more than two-fold increase in the durability of mandrels - resistance was 200-300 and became 500-600 hollow billets (80-90 years of the twentieth century). Today, the production transferred to the composition of type C0.08CrNi4SiCuMoVTi together with a method of manufacturing mandrels (are preparing applications for inventions). After adjusting the technical and technological issues, according to our calculations, resistance of mandrels stable will exceed 1000 hollow billets. In addition, goal of authores is to carry out works to transfer the obtained results to the Pipe Rolling aggregate "140". And yet, will be thoroughly studied the structure (especially globular bainite - the so called "Superbainite") and properties, that allow to expand the use of steel C0.08CrNi4SiCuMoVTi.

**Key words:** "aggregate 400"; "aggregate 140"; high resistant mandrels; piercing mills; steel; "Superbainite".

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

**ВСЕСТОРОННЕЕ ИЗУЧЕНИЕ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ БЕЙНИТНОЙ СТАЛИ  
ТИПА 08ХН4СДМФТ, ПРИМЕНЯЕМОЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОСТОЙКИХ  
ОПРАВОК ПРОШИВНЫХ СТАНОВ, С ЦЕЛЬЮ РАСШИРЕНИЯ СФЕРЫ  
ПРИМЕНЕНИЯ**

**Табагари М. В., Копалейшвили В. П., Кацакашвили И. Г., Барбакадзе О. Г.**

(Грузинский технический университет, ООО „Рустави Стал“)

**Резюме.** Технология изготовления оправок прошивных станов трубопрокатного „агрегата 400“ и сталь типа 12ХН3А прошли серьёзные трансформации с целью повышения стойкости оправок. Были разработаны оригинальный способ изготовления оправок (А. с. №1615197) и композиция новой стали типа 10ХН3МФТ (А. с. №1753730), суммарное влияние которых определило более чем двукратное повышение стойкости оправок – была стойкость 200-300, а стала 500-600 гильз (80–90-е годы XX столетия). Сегодня производству передана композиция типа 08ХН4СДМФТ вместе со способом изготовления оправок (готовятся заявки на изобретения). После наладки технических и технологических вопросов, по нашим расчетам, стойкость оправок стабильно превысит 1000 гильз. Кроме этого, целью авторов является проведение работ для переноса полученных результатов на трубопрокатный „агрегат 140“. И еще, всесторонне будут изучены структура (особенно, глобулярный бейнит – т. н. „супербейнит“) и свойства, что позволит расширить сферу использования стали 08ХН4СДМФТ.

**Ключевые слова:** „агрегат 400“; „агрегат 140“; высокостойкие оправки; прошивные станы; сталь; „супербейнит“.

**საჭყლებ-საჭურმაცებელ-საბრეხი მანქანის დანების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდი**

**თამაზ მეგრელიძე, გიორგი პირველი, გიგი გუბულაშვილი**

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია საკვებ-სამკურნალო მცენარეული ნედლეულის საჭყლებ-საჭურმაცებელ-საგრეხი მანქანის მუშა დანების სიმტკიცის საკითხი. ნედლეულის ფოთოლზე მექანიკური ზემოქმედების შედეგად მუშა დანებში აღძრული ძალების გათვალისწინებით წარმოდგენილია მათი სიმტკიცის პირობების გაანგარიშების მეთოდიკა.

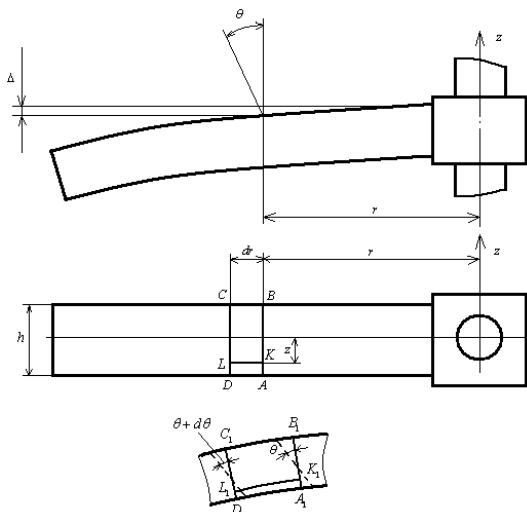
**საკვანძო სიტყვები:** დანების სიმტკიცე; მექანიკური ზემოქმედება; მუშა დანები; საკვებ-სამკურნალო მცენარეული ნედლეული; საჭყლებ-საჭურმაცებელ-საგრეხი მანქანა.

### შესავალი

ახალი ტექნოლოგიური მოწყობილობის გამოცდის შემდეგ მიღებული შედეგების მიხედვით საჭიროა ამ მოწყობილობის ტექნიკური გაანგარიშების მეთოდიკის დამუშავება, რადგან მისი საშუალებით შესაძლებელია მოწყობილობის როგორც ცალკეული დეტალების და კვანძების დაგეგმარება, ასევე მთლიანად მანქანის მუშაობის მექანიკური და ტექნოლოგიური პარამეტრების დაზუსტება და ოპტიმიზაცია. ასეთ საკითხებს მიეკუთვნება საკვებ-სამკურნალო მცენარეული ნედლეულის საჭყლებ-საჭურმაცებელი მანქანის მუშა დანების სიმტკიცეზე გაანგარიშების მეთოდის დამუშავება.

### პირითადი ნაწილი

საჭყლებ-საჭურმაცებელ-საგრეხი მანქანის დანები ასრულებს ფოთლის დამუშავების ძირითად ოპერაციას, რის გამოც ძალზე მნიშვნელოვანია მათი სიმტკიცეზე გაანგარიშება. დანების მუშაობისას შეიძლება მოხდეს მათი დეფორმაცია (ნახ. 1).



ნახ. 1. საჭყლებ-საჭურმაცებელ-საგრეხი დანის დეფორმაციის შედეგი

განვიხილოთ დანის სიმეტრიის ვერტიკალური ღერძიდან  $r$  მანძილით დაშორებული ღერძული პეტის უსასრულოდ მცირე ელემენტის დეფორმაცია. ნორმალი, რომელსაც დეფორმაციის დაწყებამდე ეკავა  $AB$  მდებარეობა, მობრუნდება რადაც  $\theta$  კუთხით და დაიკავებს (გაუდუნავი ნორმალის პიპოთეზიდან გამომდინარე)  $A_1B_1$  მდებარეობას. მისგან  $r+dr$  მანძილით დაშორებული მეორე ნორმალი  $CD$  მობრუნდება  $\theta+d\theta$  კუთხით და დაიკავებს  $C_1D_1$  მდებარეობას.

რადიალურად განლაგებული  $KL$  ხაზი, რომელიც დანის რადიალური ღერძიდან დაშორებულია  $z$  მანძილით, დაგრძელდება სიდიდეზე:

$$K_1L_1 - KL = z \cdot d\theta.$$

ამ ნაწილის ფარდობითი წაგრძელება ტოლი იქნება:

$$\varepsilon_r = \frac{z \cdot d\theta}{dr} = r' \cdot \theta. \quad (1)$$

$r$  რადიალურის მქონე წრის ნაწილის ფარდობითი წაგრძელების პოვნა შეიძლება წრეწირის სიგრძის გამოვლით დეფორმაციამდე და დეფორმაციის შემდეგ და მათი სხვაობის განსაზღვრის გზით. დეფორმაციამდე წრეწირის სიგრძე იყო  $2 \cdot \pi \cdot r$ , ხოლო დეფორმაციის შემდეგ –  $2 \cdot \pi \cdot (r+z \cdot \theta)$ . ამიტომ წრიული მიმართულებით ფარდობითი წაგრძელება იქნება:

$$\varepsilon_t = \frac{2 \cdot \pi \cdot (r+z \cdot \theta) - 2 \cdot \pi \cdot r}{2 \cdot \pi \cdot r} = z \cdot \frac{\theta}{r}. \quad (2)$$

განვიხილოთ დანის შიგა ელემენტი, რომელიც შემოსაზღვრულია ორი კონცენტრული ცილინდრით (მათი რადიალური  $r$  და  $r+dr$ ) და ორი ღერძული სიბრტყით (რომელთა შორის კუთხეა  $d\varphi$ ).

რადგან პორიზონტალური ღერძის პარალელურ კვეთებში ნორმალური დაძაბულობები ნულის ტოლია, ამიტომ  $\varepsilon_r$ ,  $\varepsilon_t$ ,  $\sigma_r$  და  $\sigma_t$  სიდიდეებს შორის კავშირი გამოისახება პუნქტის კანონით, რომელსაც ექნება შემდეგი სახე:

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_r - \mu \cdot \sigma_t), \quad \varepsilon_t = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_t - \mu \cdot \sigma_r),$$

სადაც  $E$  არის დრეკადობის მოდული დანის მასალისათვის;

$\mu$  – პუასონის კოეფიციენტი.

თუ აღნიშნულ განტოლებებს ამოვხსნით  $\sigma_r$  და  $\sigma_t$ -ს მიმართ, მაშინ მივიღებთ

$$\sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon_r + \mu \cdot \varepsilon_t), \quad \sigma_t = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot (\varepsilon_t + \mu \cdot \varepsilon_r).$$

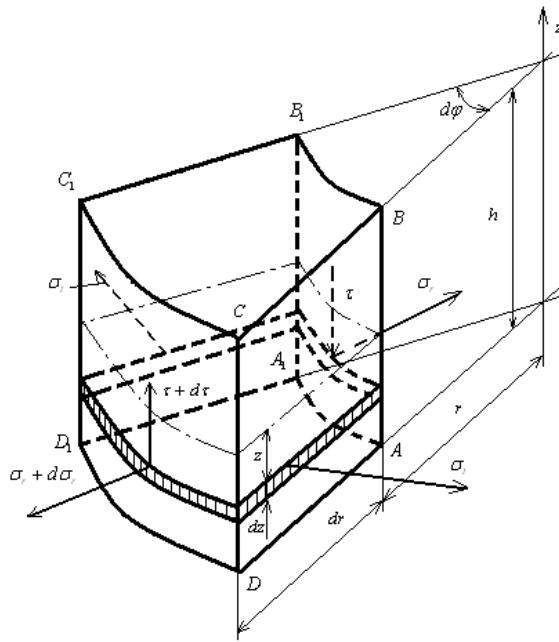
ამ გამოსახულებებში (1) და (2) ფორმულების მნიშვნელობათა ჩასმით მივიღებთ

$$\sigma_r = \frac{E \cdot z}{1-\mu^2} \cdot \left( \theta' + \mu \cdot \frac{\theta}{r} \right), \quad (3)$$

$$\sigma_t = \frac{E \cdot z}{1-\mu^2} \cdot \left( \frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' \right). \quad (4)$$

დანის შიგა ელემენტის წახნაგებზე შესაძლებელია არა მარტო ნორმალური დაძაბულობების არსებობა, არამედ მხებისაც.  $ABCD$  და  $A_1B_1C_1D_1$  წახნაგებზე მხები დაძაბულობები არ არსებობს, რადგან აქ მათი არსებობა დაარღვევდა დანის სიმეტრიას.  $CDC_1D_1$  და  $ABA_1B_1$  წახნაგებზე მხები დაძაბულობები წრის რკალის გასწვრივ მდებარე ყველა წერტილში ერთმანეთის ტოლია და ყველა მათგანი მიმართულია ვერტიკალურად (რაც ასევე დანის სიმეტრიულობის პირობიდან გამომდინარეობს).

განვიხილოთ დანის შიგა ელემენტის წონასწორობის პირობები.  $ABA_1B_1$  წახნაგებზე შიგა მხები ძალები აღმრავს ტოლქმედ განივ ძალას, რომელიც მიმართულია  $z$  ღერძის პარალელურად.



ნახ. 2. დანის შიგა მოცულობითი ელემენტის წახნაგებზე  
მოქმედი დაძაბულობები

შიგა ძალების ინტენსიურობა, ანუ  $r \cdot d\varphi$  რკალის ერთეულზე მოსული ძალის სიდიდე, აღვნიშნოთ  $Q$  ასთით. მაშინ  $ABA_1B_1$  წახნაგზე მოქმედი განივი ძალა ტოლი იქნება  $Q \cdot r \cdot d\varphi$ , ხოლო  $CDC_1D_1$  წახნაგზე მოქმედი ძალა –  $Q \cdot r \cdot d\varphi + d(Q \cdot r \cdot d\varphi)$ .

$ABCD$  და  $A_1B_1C_1D_1$  წახნაგებზე მოქმედი ნორმალური შიგა ძალები წარმოქმნის  $dN_t$  ნორმალური ძალების ტოლქმედს და შესაბამის მომენტს (ნახ. 2).  $ABB_1A_1$  და  $CC_1D_1D$  წახნაგებზე შიგა ნორმალური ძალები ასევე წარმოქმნის  $dN_r$  ნორმალური ძალების ტოლქმედსა და შესაბამის მომენტს.

ნორმალური ძალების  $dN_r$  და  $dN_t$  ტოლქმედები, შესაბამისად, ტოლია:

$$dN_r = \sigma_r \cdot r \cdot d\varphi \cdot dz, \quad dN_t = \sigma_t \cdot dr \cdot dz.$$

$\sigma_r$  და  $\sigma_t$  სიდიდეების მნიშვნელობები შეიძლება ჩაისვას (3) და (4) ფორმულებიდან. ამასთან, დანის სისქის მიხედვით, ინტეგრების დროს  $\theta$ ,  $\theta'$ ,  $r$ ,  $dr$  და  $d\varphi$  სიდიდეები მუდმივია და ისინი შეიძლება გამოვიყვანოთ ინტეგრალის ნიშის გარეთ

$$N_r = \frac{E \cdot r \cdot d\varphi}{1 - \mu^2} \cdot \left( \theta' + \mu \cdot \frac{\theta}{r} \right) \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} z \cdot dz = 0, \quad N_t = \frac{E \cdot dr}{1 - \mu^2} \cdot \left( \frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' \right) \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} z \cdot dz = 0. \quad (5)$$

$$(5) \text{ გამოსახულებები ნულის ტოლია, რადგან } \int_{-\frac{h}{2}}^{+\frac{h}{2}} z \cdot dz = 0.$$

ამგვარად,  $\sigma_r$  და  $\sigma_t$  სიდიდეების განაწილების არსებული კანონის პირობებში ნორმალური შიგა ძალების ტოლქმედები ყველა წახნაგზე ნულის ტოლია.

განსახილვები ელემენტის წახნაგზე მოქმედი მომენტების ინტენსიურობა წრიული და რადიალური მიმართულებით აღვნიშნოთ  $M_r$  და  $M_t$  ასოებით. შესაბამისად,  $M_r$  და  $M_t$  წარმოადგენს წრიული და რადიალური მიმართულებით სიგრძის ერთეულზე მოსულ მომენტებს.

ცხადია, გამოყოფილი ელემენტის გვერდით წახნაგებზე მომენტები ერთმანეთის ტოლია და  $M_t \cdot dr$ . თავის მხრივ

$$M_t \cdot dr = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_t \cdot dr \cdot z \cdot dz .$$

$ABB_1A_1$  წახნაგზე მოქმედი მომენტი ტოლია  $M_r \cdot r \cdot d\varphi$  და იგი შეიძლება განისაზღვროს ფორმულიდან

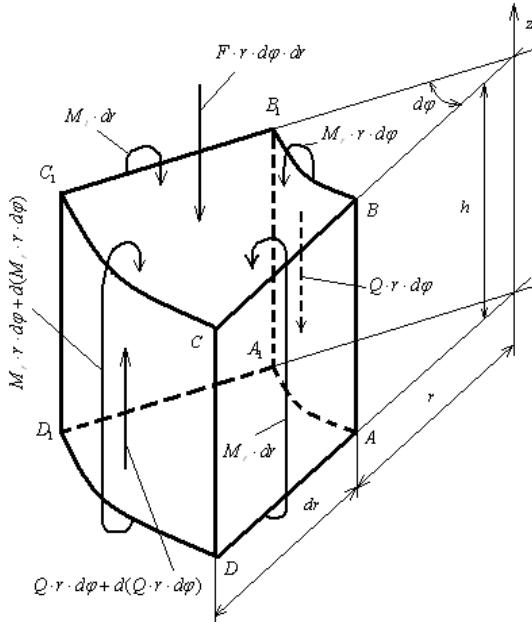
$$M_r \cdot r \cdot d\varphi = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_r \cdot r \cdot d\varphi \cdot z \cdot dz .$$

რადგან დანის სისქის მიხედვით, ინტეგრების შემთხვევაში  $r$ ,  $dr$  და  $d\varphi$  სიდიდეები მუდმივია, ამიტომ შეიძლება დაიწეროს

$$M_r = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_r \cdot z \cdot dz , \quad M_t = \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_t \cdot z \cdot dz .$$

(3) და (4) გამოსახულებების გამოყენებით გვექნება

$$M_r = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left( \theta' + \mu \cdot \frac{\theta}{r} \right) \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z^2 \cdot dz , \quad M_t = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \left( \frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' \right) \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} z^2 \cdot dz .$$



ნახ. 3. დანის შიგა მოცულობით ელემენტზე მოქმედი დატვირთვების სქემა

ამ განტოლებების ინტეგრების შედეგად მივიღებთ

$$M_r = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left( \theta' + \mu \cdot \frac{\theta}{r} \right) , \quad (6)$$

$$M_t = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \cdot \left( \frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' \right) . \quad (7)$$

თუ შემოვიდებთ აღნიშვნას

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}$$

და გურულებო მას დანის სიხისტეს ღუნვაზე, შეიძლება დავწეროთ

$$M_r = D \cdot \left( \theta' + \mu \cdot \frac{\theta}{r} \right), \quad (8)$$

$$M_t = D \cdot \left( \frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' \right). \quad (9)$$

$CDD_1C_1$  წახნაგზე მოქმედი მომენტი ტოლი იქნება

$$M_r \cdot r \cdot d\varphi + d(M_r \cdot r \cdot d\varphi).$$

დანაზე  $F$  ძალის მოქმედების შემთხვევაში გამოყოფილი ელემენტის ზედაპირზე მოსული ძალა ტოლი იქნება  $F \cdot r \cdot d\varphi \cdot dr$ -ისა. თუ ყველა ძალას დავაგეგმილებთ ვერტიკალურ დერძზე, მივიღებთ

$$Q \cdot r \cdot d\varphi + d(Q \cdot r \cdot d\varphi) - Q \cdot r \cdot d\varphi - F \cdot r \cdot d\varphi \cdot dr = 0,$$

საიდანაც გვექნება

$$d(Q \cdot r \cdot d\varphi) = F \cdot r \cdot d\varphi \cdot dr.$$

$d\varphi$  მოცემული ელემენტისათვის მუდმივ სიდიდეს წარმოადგენს, ამიტომ

$$F \cdot r = \frac{d(Q \cdot r)}{dr} = (Q \cdot r)', \quad (10)$$

სადაც  $(Q \cdot r)'$  არის  $(Q \cdot r)$  ფუნქციის წარმოებული დანის რადიუსით.

წონასწორობის შემდეგი განტოლების შედგენის მიზნით ვისარგებლოთ ელემენტზე  $y$  დერძის მიმართ მოქმედი ყველა ძალის მომენტების ჯამით, რომელიც ემთხვევა  $r$ -რადიუსიანი წრის მხების მიმართულებას. მე-3 ნახ-ზე მომენტები ნაჩვენებია ვექტორების სახით, რომლებიც სიდიდით ტოლია აღნიშნული მომენტებისა და მომენტის მოქმედების სიბრტყისადმი მართობულადაა განლაგებული იმ მიმართულებით, საიდანაც მომენტის ბრუნვა ჩანს საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგოდ. მომენტის ვექტორის პროექცია დერძზე ტოლია ამ ძალთა წყვილის მომენტისა აღნიშნული დერძის მიმართ.

$y$  დერძის მიმართ მომენტების ჯამი ტოლია

$$M_r \cdot r \cdot d\varphi + d(M_r \cdot r \cdot d\varphi) - M_r \cdot r \cdot d\varphi - F \cdot r \cdot d\varphi \cdot dr \cdot \frac{dr}{2} - 2 \cdot M_t \cdot dr \cdot \frac{d\varphi}{2} + [Q \cdot r \cdot d\varphi + d(Q \cdot r \cdot d\varphi)] \cdot dr = 0.$$

ამ ფორმულაში  $F \cdot r \cdot d\varphi \cdot dr \cdot \frac{dr}{2}$  და  $d(Q \cdot r) \cdot d\varphi \cdot dr$  ხილიდებს თუ უგულებელვალით, როგორც მაღალი რიგის მცირე სიდიდეებს, შეიძლება დავწეროთ:

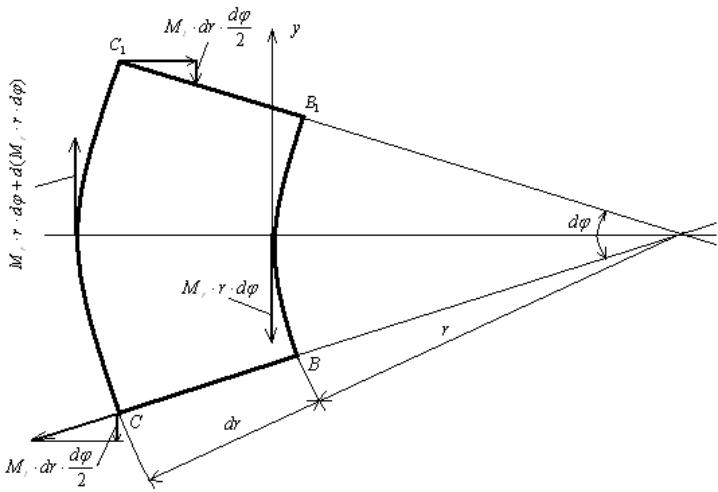
$$d(M_r \cdot r) \cdot d\varphi - M_t \cdot dr \cdot d\varphi + Q \cdot r \cdot d\varphi \cdot dr = 0,$$

საიდანაც მივიღებთ

$$M_t - (M_r \cdot r)' = Q \cdot r. \quad (11)$$

რადგან დანის სისქე მუდმივი სიდიდეა, ამიტომ მისი სიხისტე  $(D)$  მუდმივია. შესაბამისად, (11) ფორმულაში  $M_r$  და  $M_t$  სიდიდეების მნიშვნელობათა ჩასმით (8) და (9) გამოსახულებებიდან გვექნება

$$D \cdot \left( \frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' \right) - D \left[ \left( \theta' + \mu \cdot \frac{\theta}{r} \right) \cdot r \right]' = Q \cdot r.$$



ნახ. 4. დანის ელემენტზე მოქმედ მომენტთა გექტორების სახე

რადგან  $\theta$  და  $\theta'$  წარმოადგენს  $r$  სიდიდის ფუნქციებს, შეგვიძლია დაგწეროთ

$$\frac{\theta}{r} + \mu \cdot \theta' - \theta'' \cdot r - \theta' - \mu \cdot \theta' = \frac{Q \cdot r}{D},$$

ანუ

$$\theta'' + \frac{1}{r} \cdot \theta' - \frac{\theta}{r^2} = -\frac{Q}{D}.$$

ბოლო გამოსახულება შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი სახით

$$\left[ \frac{1}{r} \cdot (\theta \cdot r)' \right]' = -\frac{Q}{D}. \quad (12)$$

ნორმალის მობრუნების კუთხე განისაზღვრება (12) გამოსახულების ორჯერადი ინტეგრებით

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \cdot (\theta \cdot r)' &= c_1 - \frac{1}{D} \cdot \int Q \cdot dr, \\ (\theta \cdot r)' &= c_1 \cdot r - \frac{r}{D} \cdot \int Q \cdot dr, \\ \theta \cdot r &= \frac{c_1 \cdot r^2}{2} + c_2 - \frac{1}{D} \cdot \int r \cdot \left[ \int Q \cdot dr \right] \cdot dr, \end{aligned} \quad (13)$$

სადაც  $c_1$  და  $c_2$  ინტეგრების მუდმივებია, რომელთა განსაზღვრა მოცემული პერიოდი შემთხვევაშისათვის ხდება სასაზღვრო პირობების მიხედვით.

(13) გამოსახულების თანახმად, ნორმალის მობრუნების  $\theta$  კუთხის განსაზღვრისათვის შეგვიძლია დაგწეროთ

$$\theta = c_1 \cdot r + \frac{c_2}{r} - \frac{1}{D \cdot r} \cdot \int r \cdot \left[ \int Q \cdot dr \right] \cdot dr. \quad (14)$$

თუ  $\theta$  ფუნქცია ცნობილია, მაშინ დიფერენცირების გზით შესაძლებელია  $\theta'$ -ის განსაზღვრა. ამის შემდეგ  $\theta$  და  $\theta'$  სიდიდეების მნიშვნელობების (3) და (4) ფორმულებში ჩასმით განვსაზღვრათ  $\sigma_r$  და  $\sigma_t$  მნიშვნელობებს ან (8) და (9) ფორმულებში ჩასმით  $-M_r$  და  $M_t$  მომენტების მნიშვნელობებს.

## დასკვნა

დღევანდველ პირობებში წარმოებას ესაჭიროება მაღალი სიმტკიცის მქონე მუშადანებიანი მანქანები, რომლებიც უზრუნველყოფს ამ მანქანების ეფექტურ მუშაობას ხანგრძლივი პერიოდის

განმავლობაში. მცენარეული ნედლეულის საჭყლებ-საქუცმაცებელი მანქანის მუშა ელემენტების (დანების) სიმტკიცეზე გაანგარიშების ზემოაღნიშნული მეთოდი ყოველი კონკრეტული მექანიკურპარამეტრებიანი მანქანისათვის ზუსტი მონაცემების დადგენის საშუალებას იძლევა.

#### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. თ. რევიშვილი, ვ. დვაჩლიანი, გ. გუგულაშვილი, თ. დვაჩლიანი. ჩაის ფოთლის დამმუშავებელი დანადგარი. საპატენტო სიგელი GE P 4861 B. 12.10.2008. A 23 F 3/12.
2. ვ. დვაჩლიანი, ლ. ხარებავა, ა. გიორგაძე, გ. გუგულაშვილი. ჩაის ფოთლის დამჭელებ-დამჭუცმაცებელი მოწყობილობა. საპატენტო სიგელი GE P 1403 B. 07.03.1998. A 23 F 3/12.
3. თ. მეგრელიძე, ვ. დვაჩლიანი, გ. გუგულაშვილი, ე. სადადაშვილი, ბ. დვაჩლიანი. მცენარეული ნედლეულისაგან მრავალკომპონენტიანი საკვებ-სამკურნალო პროდუქციის მიღების გაუმჯობესების გზები//საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის შრომები, № 2 (492), თბ.: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 2014. გვ. 40-44.
4. თ. მეგრელიძე, ვ. დვაჩლიანი, გ. გუგულაშვილი, ე. სადადაშვილი, გ. პირველი. მცენარეული ნედლეულის გადამამუშავებელი დანადგარის გამოცდის შედეგები//საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის – “კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური პროცესების და მოწყობილობების პრობლემები” – შრომათა კრებული. თბ., 2015. გვ. 11-19.
5. თ. მეგრელიძე, ვ. დვაჩლიანი, გ. გუგულაშვილი, ე. სადადაშვილი, გ. პირველი. მცენარეული ნედლეულის გადამამუშავების ახალი ტექნოლოგია და ტექნოლოგიური მოწყობილობა//საერთაშორისო სამეცნიერო კონფერენციის – “კვების მრეწველობის ტექნოლოგიური პროცესების და მოწყობილობების პრობლემები” – შრომათა კრებული. თბ., 2015. გვ. 101-110.

## **MECHANICAL ENGINEERING**

### **CALCULATION METHOD OF HARDNESS WORKER KNIVES OF CRUSHING-SMASHING-ROLLING MACHINE FOR THE NUTRITION-MEDICAL VEGETABLE ROW MATERIALS LEAVES**

**T. Megrelidze, G. Pirveli, G. Gugulashvili**

(Georgian Technical University)

**Resume:** There considered the question of hardness of description the nutrition-medical vegetable row materials leaves crushing-smashing-rolling machine worker tandem knives. With envisaging results of worker tandem knives mechanical influence on vegetable row materials arising forces, there is represented the knives hardness calculation methods.

**Key words:** crushing-smashing-rolling machine; knives hardness; mechanical influence; nutrition-medical vegetable row materials; worker knives.

## **МАШИНОСТРОЕНИЕ**

### **МЕТОД РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ РАБОЧИХ НОЖЕЙ МАШИНЫ ДЛЯ МЯТИЯ-ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ-СКРУЧИВАНИЯ ЛИСТЬЕВ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ**

**Мегрелидзе Т. Я., Пирвели Г. Т., Гугулашвили Г. Л.**

(Грузинский технический университет)

**Резюме.** Рассмотрен вопрос прочности спаренных рабочих ножей машины для мятия, измельчения и скручивания листьев пищево-лечебного растительного материала. С учетом сил, возникающих при взаимодействии рабочих ножей с листьями растительного материала, разработана методика расчета прочности спаренных ножей.

**Ключевые слова:** машина для мятия-измельчения-скручивания растительного сырья; механическое воздействие; пищево-лечебное растительное сырье; прочность ножей; рабочие ножи.

შიბრობების დიუპის ხუცების დამზადების ტექნოლოგია  
დავით ნოზაძე, პაატა ეჯიბია, სლავა მებონია, გელა ოთარაშვილი  
(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)

**რეზიუმე:** განხილულია ფიბრობეტონის ხუცების დამზადების ტექნოლოგია. შემოთავაზებულია მათი ზომების განსაზღვრის მეთოდიკა. ხუცები მოქმედი დატვირთვები განისაზღვრება EN-124 სტანდარტის მიხედვით. დადგენილია, რომ აღნიშნული ტექნოლოგიით მიღებული ფიბრობეტონის ხუცები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს საგზაო მშენებლობაში, როგორც B-125 კლასის მქონე ნაკეთობა.

**საკვანძო სიტყვები:** დასაშვები მაბვა; დატვირთვა; ფიბრობეტონის ხუცი; ლიუკის ხუცის განივავეთი.

## შესავალი

საქართველოში მიმდინარე წელს გზების მშენებლობა-რეაბილიტაციაზე მნიშვნელოვანი სა- ბიუჯეტო რესურსებია გათვალისწინებული; განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა სანიაღვრე ლიუკების დეტალების, კერძოდ ხუცების, დამზადებას. ვინაიდან ადგილობრივ ბაზარზე ფიბრობეტონის ხუცებზე საკმაოდ დიდი მოთხოვნილებაა და ამ პროდუქტის მომხმარებლისთვის მიწოდება გარკვეულ პრობლემას წარმოადგენს, მეტად აქტუალურია მათი დამზადების პროგრესული ტექნოლოგიის შემუშავება და წარმოებაში დანერგვა. აღნიშნული პრობლემის გადაწყვეტა შესაძლებელია თანამედროვე მასალის – კომპოზიციური ბეტონის, ანუ ფიბრობეტონის, გამოყენებით.

## ძირითადი ნაწილი

საქართველოში სანიაღვრე ლიუკების ხუცები მხოლოდ თუჯისა და მინაპლასტიკისაგან მზადდებოდა. უკიდურეს შემთხვევაში მათ დასამზადებლად იუნიკლენენ შედგენილ მასალას – ფოლადის გარსში ჩასხმულ ჩვეულებრივ მსხვილპენჭოვან ბეტონს, რომლის სიმტკიცე დამოკიდებულია ფოლადის გარსის სიმტკიცეზე. ანალოგიურად მზადდებოდა ხუცები ევროპის მთელ რიგ ქვეყნებში (გერმანია, ბრიტანეთი, ავსტრია, ჩეხეთი და ა.შ.). აქედან გამომდინარე, კომპოზიციური ბეტონისაგან საკანალიზაციო და სანიაღვრე ჭებისათვის ხუცების დამზადება აბსოლუტურად ახალი და განსხვავებული ხოვაციაა. მისი უნიკალურობა კი ისაა, რომ:

- მის დასამზადებლად აღარ გამოიყენება ძვირად დირებული ფოლადი და თუჯი, რომლებიც საქართველოში საკმაოდ ძვირია; ამასთან, აღარც ხუცების მოპარვის პრობლემა იქნება;
- მექანიკური თვისებებითა და აგრესიული გარემოსადმი მედეგობით არ ჩამოუვარდება თუჯს;
- ადგილად შეიძლება ნებისმიერი ფორმისა და ფერის ზედაპირის მქონე ლიუკის დამზადება, რასაც ისტორიული ქალაქისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს;
- მის შექმნაში მოხაწილე მასალების 80 % იწარმოება საქართველოში;
- ზღვრული დატვირთვების შემთხვევაში არ იმსხვრევა – იგი დრეკადია და ხანგამდევ. აღნიშნული ფაქტი ხელს შეუწყობს გზებზე ავარიების თავიდან აცილებას;
- ფოლადისა და თუჯის ლიუკთან შედარებით ბევრად უფრო იაფი ჯდება.

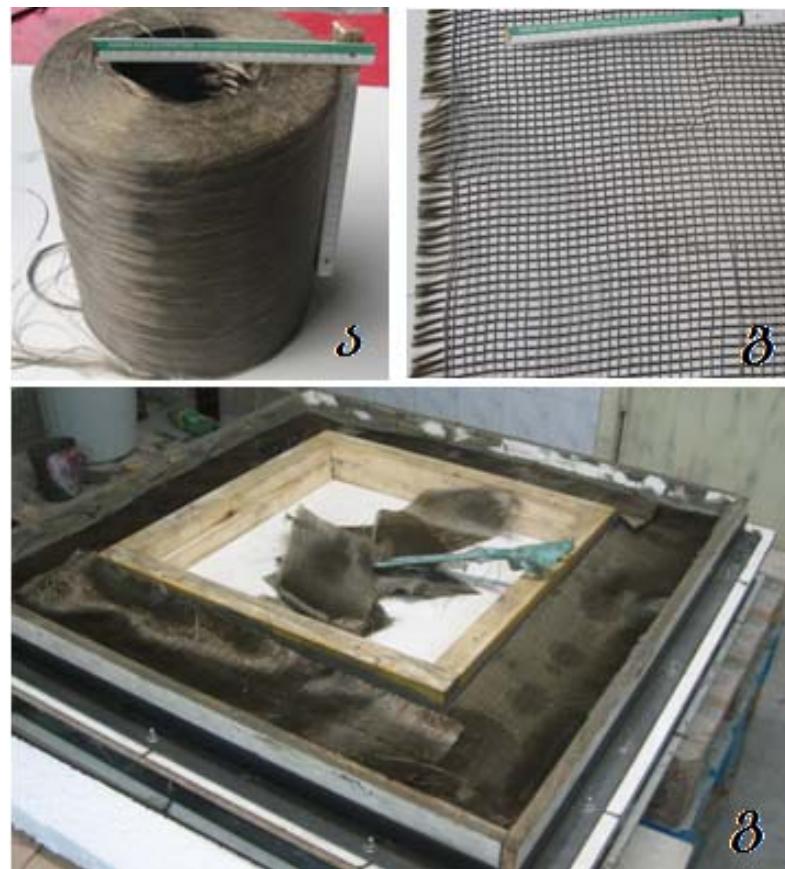
ფიბრობეტონის სანიაღვრე ლიუკების ხუცების (ნა. 1) დასამზადებლად იუნიკლენ ისეთ კომპონენტებს, როგორიცაა ქვიშა, ცემენტი, პიდროვობიზატორი, პლასტიფიკატორი. ფიბრობეტონი მი-

იღება ამ მასალების წყალთან შერევით – ჯერ ხდება წყალში გარკვეული პროპორციით ქვიშისა და ცემენტის შერევა და შემდეგ ჰიდროფობიზატორისა და პლასტიფიკატორის დამატება. მიღებულ ნარევს წვრილად დაჭრილი მინის ან ბაზალტის ბოჭკოსაც უმატებენ და უკვე მზა მასა მადალი წნევით ჩაიფრქვევა ყალიბში, რომლის შემდგომი არმირება ხორციელდება სენდვიჩის პრინციპით. არმატურისათვის გამოიყენება ბოჭკოვანი ტექსტილის სხვადასხვა სიმკვრივის ქსოვილი.



ნახ. 1. ფიბრობეტონის სანიაღვრე ლიუკები: 1 – ლიუკი; 2 – ხუფი

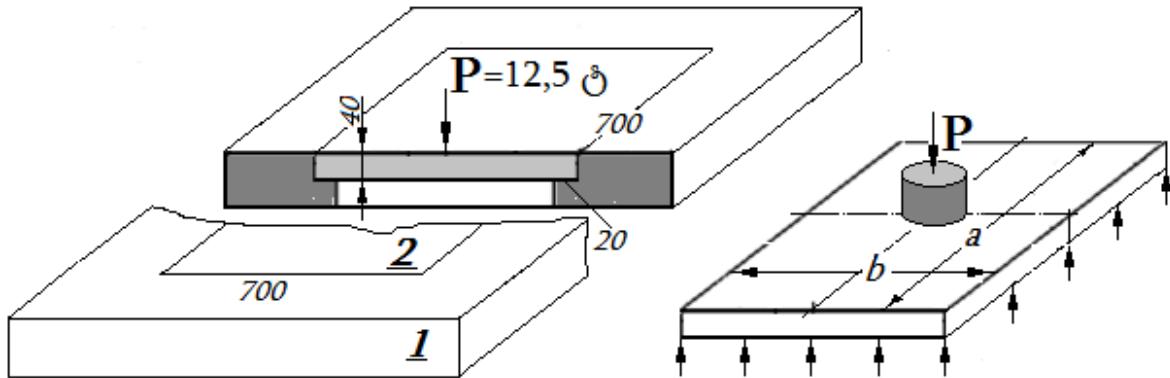
მე-2 ნახ-ზე მოცემულია ბაზალტის ბოჭკოს გორგალი, ბაზალტის ბოჭკოებისაგან დამზადებული საარმატურე ქსოვილი და მზა ყალიბი.



ნახ. 2. ხუფის დასამზადებლად საჭირო ატრიბუტები: ა – ბაზალტის ბოჭკოს გორგალი; ბ – საარმატურე ქსოვილი; გ – ყალიბი

გაშრობის შემდეგ ნაკეთობას იღებენ ყალიბიდან, ფუთავენ პოლიეთილენით და ერთი თვის განმავლობაში საბოლოო გაშრობისათვის ათავსებენ საწყობში. ეს მეთოდი შეირჩა იმისთვის, რომ შრობის პროცესში ნიმუში არ გაიძზაროს და შეინარჩუნოს სათანადო მექანიკური თვისებები. გაშრობის შემდეგ კომპოზიციური ბეტონი იღებს სასურველ საექსპლუატაციო სიმტკიცეს [1, 2].

მე-3 ნახ-ზე წარმოდგენილია ზემოთ აღწერილი ტექნოლოგიით მიღებული ფიბრობეტონის სანიაღვრე ლიუკის ხუფის საანგარიშო სქემა.



ნახ. 3. სანიაღვრე ლიუკის ხუფის საანგარიშო სქემა

განვიხილოთ ლიუკის ხუფის განვივეთის ზომების განსაზღვრის მეთოდიკა EN-124 სტანდარტის მიხედვით (ნახ. 3). როგორც ნახაზიდან ჩანს, მოცემული ზომების ლიუკის ხუფი დავს გარევეული ფართობის ბაქნის შეა ნაწილში და აწვება მას  $P$  დატვირთვით, რომელიც შეადგენს 12,5 ტ-ს, ანუ 12500 კგ-ს. დატვირთვის შედეგად ლიუკის ხუფი იღუნება, რის გამოც მის საშიშ კვეთში წარმოიქმნება ნორმალური ძაბვები, რომლებიც მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს ხუფის შეა ნაწილში.

როდესაც  $P$  დატვირთვის ძალა თანაბრადად განაწილებული გარკვეული  $r_0$  რადიუსის წრის ფართობზე მაქსიმალური ნორმალური ძაბვის მნიშვნელობის გაანგარიშება ხდება ფორმულით [3, 4]:

$$\sigma_{\max} = \frac{3P\mu}{2\pi h^2} \left[ \ln \frac{b(1+\mu)}{2r_0\mu} + \frac{1+k}{\mu} \right]; \quad k = \frac{0,914}{1+1,6\alpha^5} - 0,6,$$

სადაც  $\sigma_{\max}$  არის მაქსიმალური ნორმალური ძაბვა, კგ/სმ<sup>2</sup>;

$P$  – დატვირთვა ხუფზე, კგ;

$\mu$  – პუასონის კოეფიციენტი;

$h$  – ხუფის სისქე, სმ;

$b$  – ხუფის სიგანე, სმ;

$r_0$  – დატვირთვის განაწილების ბაქნის წრის რადიუსი;

$\alpha = \frac{b}{a}$  – სახურავის ზომების თანაფარდობა.

დუნგის სიმტკიციდან გამომდინარე, განისაზღვრება სახურავის კვეთის სისქის საორიენტაციო მნიშვნელობა:

$$h = \sqrt{\frac{3P\mu}{2\pi[\sigma]} \left[ \ln \frac{b(1+\mu)}{2r_0\mu} + \frac{1+k}{\mu} \right]}.$$

აქ  $[\sigma]$  დასაშვები ძაბვაა, რომელიც მოცემული მასალისათვის 650 კგ/სმ<sup>2</sup> -ია.

განვსაზღვრავთ სახურავის სისქეს მოცემული ზომის ლიუკის მაგალითზე, რომლის სიგრძე და სიგანე 0,7 მ-ის, ანუ 70 სმ-ის ტოლია. სახურავის სისქე გამოითვლება ზემოთ მოყვანილი ფორმულიდან. თუ დავუშვებთ, რომ პუასონის კოეფიციენტი  $\mu=0,3$ -ს, სახურავის ზომები

$a = b = 70$  სმ-ს; დატვირთვის განაწილების ბაქნის წრის რადიუსი  $r_0 = \frac{d_0}{2} = \frac{10}{2} = 5$  სმ-ს; თანაფარდობა  $\alpha = \frac{b}{a} = \frac{70}{70} = 1$ -ს მივიღებთ:

$$k = \frac{0,914}{1+1,6 \cdot 1^5} - 0,6 = 0,35 - 0,6 = -0,25;$$

$$h = \sqrt{\frac{3 \cdot 12500 \cdot 0,3}{2 \cdot 3,14 \cdot 650} \left[ \ln \frac{70(1+0,3)}{2 \cdot 5 \cdot 0,3} + \frac{1-0,25}{0,3} \right]} = 4,03 \text{ მმ.}$$

დამრგვალების შემდეგ სახურავის სისქე მიაღწევს საბოლოო მნიშვნელობას და იქნება  $h = 4$  სმ, ანუ 40 მმ.

სამუშაოს დასკვნით ეტაპზე ჩატარდა ცდები ფიბრობეტონის ხუფების მუშა უნარის დასადგენად. მექანიკური გამოცდები ჩატარდა EN-124 ეკროსტანდარტის მიხედვით (იხ. ცხრილი), რომელიც ითვალისწინებს ოთხი კატეგორიის ხუფებს [5]:

**მუშა უნარის დადგენის მიზნით ფიბრობეტონის ხუფებზე ჩატარებული  
ცდის შედეგები**

კლასი	დატვირთვა, კნ
A-15	15
B-125	125
C-250	250
D-400	400

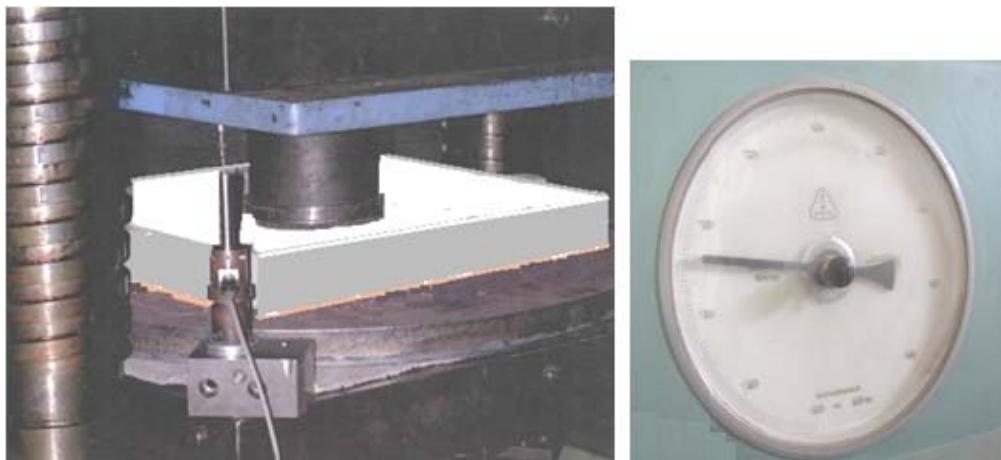
A-15 კლასი ითვალისწინებს ხუფების მაქსიმალურ დატვირთვას 15 კნ-ით. მათი განთავსება-დამონტაჟება შეიძლება ეზოებში.

B-125 კლასი, რომელთა მაქსიმალური დატვირთვის ზღვარი შეადგენს 125 კნ-ს, განკუთვნილია ტროტუარებისათვის და გზის არადატვირთული ნაწილებისათვის; მაგალითად, გზის პირისათვის, გაჩერებებისათვის და ა.შ.

C-250 კლასის ხუფების განთავსება დაშვებულია არადატვირთული გზის სავალ ნაწილზე, ასევე იქ, სადაც ამ გზის მაქსიმალური სიჩქარის ზღვარი 50 კმ/სთ-ია.

D-400 კლასის ხუფები განკუთვნილია ჩქაროსნული საქალაქო გზებისათვის.

დამზადდა სტანდარტით გათვალისწინებული საცდელი ხუფები, რომლებიც სიმტკიცის დასადგენად გამოიცადა პიდრავლიკურ წნევზე (ნახ. 4).



ნახ. 4. ფიბრობეტონის ხუფის გამოცდა პიდრავლიკურ წნევზე

საცდელი ხუფები იდება წნებზე და დატვირთვა იზრდება მათ დამტვრევამდე (ნახ. 5).



ნახ. 5. ხუფი გამოცდის შემდეგ

**გამოცდის შედეგები.** გამოცდა ჩატარდა EN-124-ის მიხედვით. გამოსაცდელ ნიმუშზე მოდგბული ტარირებული ტვირთის მასა შეადგენდა 12500 კგ-ს, შეხების ფართობი – 78,5 სმ<sup>2</sup>-ს, ხუფზე მოსული რეალური წნევა – P=160 კგ/სმ<sup>2</sup>-ს, მაქსიმალური დატვირთვა ნგრევამდე – 12,5 ტ-ს.

აქედან გამომდინარე, ბაზალტის მოკლე ბოჭკოთი და ბოჭკოვანი ტექსტილით ერთობლივი არმირებით დამზადებული ხუფები აკმაყოფილებს B-125 სტანდარტს.

## დასკვნა

რეალური დატვირთვით გამოწვეული დაძაბულობა არ აჭარბებს საანგარიშო მნიშვნელობას, რაც იმის საფუძველს იძლევა, რომ აღნიშნული ტექნოლოგიით მიღებული ფიბრობეტონის სანიაღვრე ლიუკების ხუფები (კედლის სისქე 4 სმ) შეიძლება წარმატებით იქნეს გამოყენებული საგზაო მშენებლობაში, როგორც B-125 კლასის ნაკეთობა.

## ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. Баженов Ю. М. Технология бетона. М.: АСВ, 2002. - 500 с.
2. Баженов Ю. М., Алимов А. А., Воронин В. В., Магдеев У. Х. Технология бетона, строительных изделий и конструкций. М.: АСВ, 2004. - 256 с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1967. - 552 с.
4. Динник А. А. Справочник по технической механике. М-Л.: Гостехиздат, 1949. - 734 с.
5. [http://www.standardsdirect.org/standards/standards5/StandardsCatalogue24\\_view\\_9290.html](http://www.standardsdirect.org/standards/standards5/StandardsCatalogue24_view_9290.html)

**TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF FIBROCONCRETE COVERS OF HATCHES**

**D. Nozadze , P. Ejibia, S. Mebonia, G. Otarashvili**

( Georgian Technical University)

**Resume:** There are considered the manufacturing techniques of covers for water-waste hatches from fibroconcrete. There is offered the technique of determination of their sizes. Calculation of operating loadings is executed on the example of a cover for water-waste hatches of the concrete sizes. There is established, that the products received by this technology can be used in road construction.

**Key words:** loading; possible tension; section of hatch cover; the hatch from fibroconcrete.

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФИБРОБЕТОННЫХ КРЫШЕК ЛЮКОВ**

**Нозадзе Д. А., Эджибия П. Р., Мебония С. А., Отарашвили Г. Г.**

(Грузинский технический университет)

**Резюме.** Рассмотрена технология изготовления крышек водосточных люков из фибробетона. Предложена методика определения их размеров. Расчет действующих нагрузок выполнен на примере люка конкретных размеров. Установлено, что полученные данной технологией изделия можно использовать в дорожном строительстве.

**Ключевые слова:** люк из фибробетона; нагрузка; напряжение; сечение крышки люка.

## საბუს დისკი – ორთქლის მანქანა

### გიზო ვაშაკიძე

(ივ. ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი)

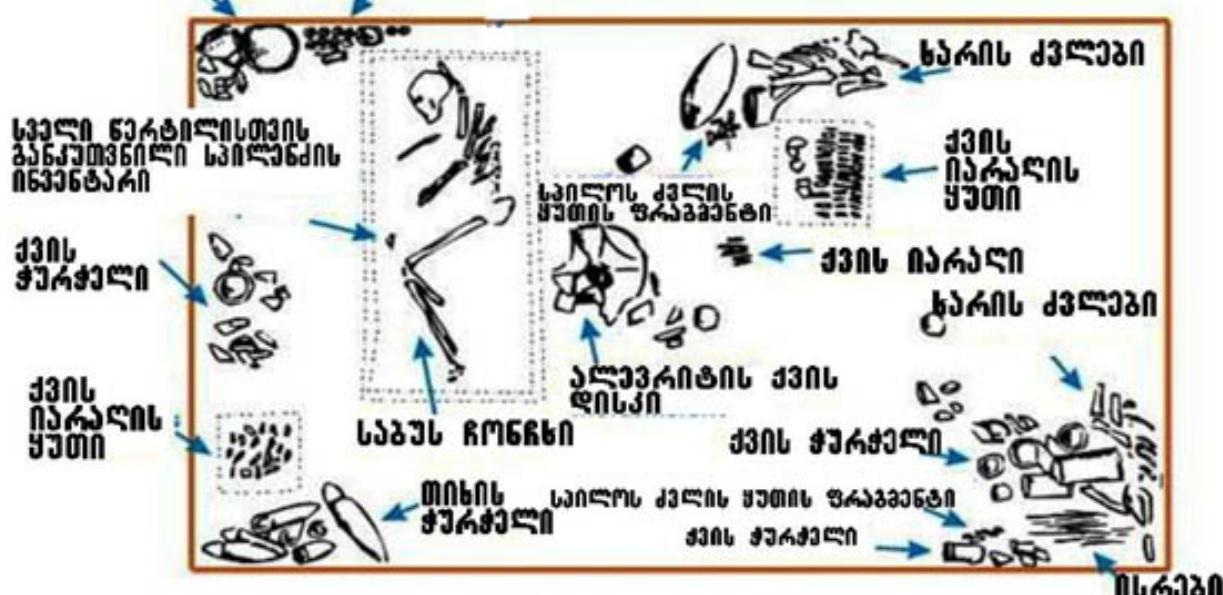
**რეზიუმე:** უძველესი არტეფაქტი, ე. წ. საბუს დისკი ეგვიპტის მუზეუმშია განთავსებული. ანალოგიური ფორმის დისკის გამოცდამ გამოავლინა მეტად საინტერესო თვისება – დისკი იძლევა ცხელი წყლისაგან ორთქლის მიღებისა და გაფრქვევის შესაძლებლობას. აღნიშნული პროცესი იმართება დისტანციურად. ფარაონის ოჯახს შეეძლო ორთქლის გამოყენება სამედიცინო საჭიროებისა და პირადი პიგინისთვის.

**საკვანძო სიტყვები:** ორთქლი; საბუს დისკი; ქაიროს მუზეუმი; ძველი ეგვიპტე.

### შესავალი

1936 წელს ინგლისელმა ეგვიპტოლოგმა ვოლტერ ბრაიანმა ეგვიპტეში მიაკვლია სამარხს (ნახ. 1), რომელშიც სხვა ნივთებთან ერთად აღმოჩნდა უცნაური ფორმის დისკი (ნახ. 2). სამარხი ეპუთებოდა ფარაონ ანეჯიბას შეილს – საბუს.

### ეპის შერჩევი თიხის შერჩევა



ნახ. 1. საბუს სამარხი



**ნახ. 2. საბუს დისკი**

ეგვიპტური წესისამებრ, სამარხში მრავლად იყო საყოფაცხოვრებო ნივთები: თიხისა და ქვის ჭურჭელი, სველი წერტილებისათვის განკუთვნილი სპილენძის ინვენტარი, ხარის ძვლები, ისრები, სპილოს ძვლის ყუთი და სხვ.

დისკი თარიღდება ჩ. წ. წელთაღრიცხვამდე 3100–3000 წლით. მეცნიერებმა შეისწავლეს იგი და დაადგინეს, რომ დისკი დამზადებულია ალევრიტის (წვრილმარცვლოვანი ფევიერი ნალექი ქანი) ქვისაგან. მისი დიამეტრია 61 სმ, სისქე – 1 სმ, ცენტრში არსებული ნახვრების დიამეტრი – 10.6 სმ. დისკი ამჟამად ინახება ქაიროს მუზეუმში (ეგვიპტე). საბუს დისკის დანიშნულების შესახებ სხვადასხვა მოსაზრება არსებობს. მკვლევართა ნაწილმა იგი ლოტოსის ფორმის ვაზას მიამსგავსა; ზოგისთვის იგი რიტუალური მიზნისთვის გამოსაყენებელი ჭურჭელია; ზოგი კი მას მანათობელი ლამფის ფეხს ამსგავსებს.

### **ძირითადი ნაწილი**

საბუს დისკის დათვალიერებისას ვივარაუდეთ, რომ ეს ნივთი ძველ ეგვიპტეში ჰაერთან და წყალთან ურთიერთობისთვის იყო შექმნილი.

ამ აზრის გადასამოწმებლად ვცადე ცდის ჩატარება. ავაწევე საბუს დისკის ანალოგიური დისკი. ავზში ვერტიკალურად დაგამონტაჟე დერძი, რომელზეც წინასწარ წამოვაცვი დისკი. თოკების მეშვეობით დისკს ვამოძრავებდი ვერტიკალურად – ზემოთ და ქვემოთ. ავზში ჩავასხი ცხელი წყალი (ნახ. 3). ცდა მეტად საინტერესოდ წარიმართა. დისკის თვისება – ცხელი წყლისაგან ორთქლის



**ნახ. 3. წყლიან ავზში ჩამონტაჟებული საბუს დისკის ანალოგიური მოდელი**

გაფრქვევა სივრცეში – გამოვლინდა მოხერხებულად, სწრაფად და დისტანციურად (ნახ. 4).



ნახ. 4

ავზში დისკის 10-ჯერ ჩაწევა-ამოწევა საკმარისი გახდა იმისათვის, რომ სივრცე ორთქლში გახვეულიყო.

როგორც აღვნიშნეთ, დისკს ცენტრში აქვს ნახვრეტი, რომლითაც წამოცმულია დერძხე და თოკების აწევ-დაწევისას თავისუფლად სრიალებს მასზე. დისკი ოდნავ ამობურცულია. სწორედ ამის გამო ის მხოლოდ ნაწილობრივ იძირება წყალში.



ნახ. 5

როგორც მე-5 ნახ-დან ჩანს, თოკები მოშვებულია და დისკს წყლის გარდა არაფერი იჭერს. დისკის ეს თვისება ძალზე მნიშვნელოვანია. საქმე ისაა, რომ, თუ დისკი ჩაიძირება, მისი წყლიდან ამოწევა ძალზე გაჭირდება, რადგან დისკს წყლის მასა დაემატება. დისკს ქვემოდან აქვს ფოთლის მსგავსი სამი წანაზარდი, რომლებიც იძირება წყალში. წანაზარდებიანი ნაწილის წყალში ჩასვლა

აუცილებელია, ვინაიდან სწორედ ამ ნაწილის მეშვეობით ხდება წყლის ამოტანა სივრცეში, გაფრქვევა და ორთქლად ქცევა.

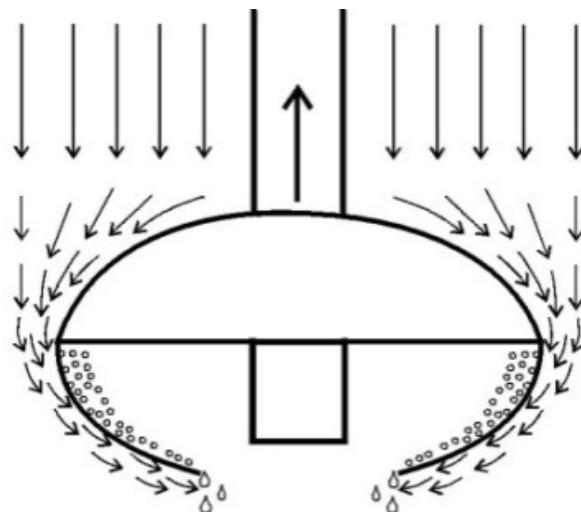
ბუნებრივად ჩნდება კითხვა: რატომ არ იძირება დისკი წყალში მთლიანად? როგორც უპყევ აღვნიშნეთ, ეს ხდება დისკის ამობურცული ცენტრის გამო და იმის გამოც, რომ დისკი წყალში ვერტიკალურად ეშვება. ამ დროს მის ცენტრსა და წყალს შორის გუბდება ჰაერი, რომელიც არ აძლევს დისკს სრულად ჩაძირვის საშუალებას. ჩემი აზრით, დისკის ეს თვისება არაა შემთხვევითი, დისკის შემქმნელმა განხრას ასეთი მოღელი.

თუ დავაკვირდებით დისკის პერიმეტრს, დავინახავთ, რომ ნაპირი მთელ პერიმეტრზე უწყვეტად არის ცენტრისკენ შეკეცილი. პერიმეტრის სწორედ ეს შეკეცილი ნაწილი იძირება წყალში და ხელს უწყობს წყლის წვეთების პაერში ატანას. ფოთლის მსგავსი სამი წანაზარდი ზრდის დისკის პერიმეტრს, რაც, თავის მხრივ, ავზიდან უფრო მეტი წყლის წვეთების ამოტანას უწყობს ხელს (ნახ. 6).



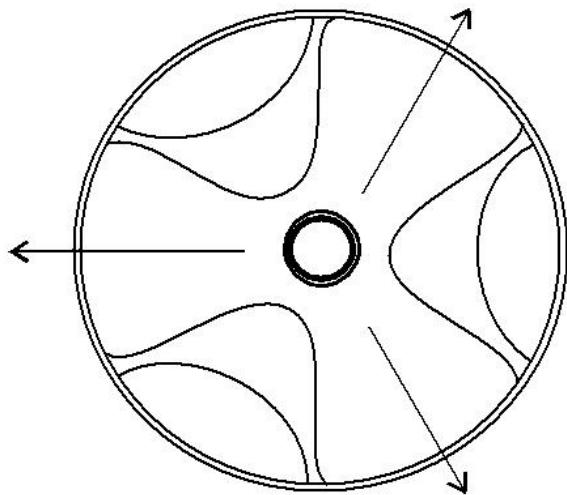
ნახ. 6

მე-7 ნახ-ზე კარგად ჩანს ფოთლის მსგავსი წანაზარდები, რომლებიც წყალში იძირება და დისკის ზემოთ აწევისას აიტაცებს წყლის წვეთებს. ამ დროს დისკის ზურგმა უნდა გაკვეთოს შემხვედრი ჰაერი. დისკის ზურგთან შეჯახებისას ჰაერი გადაინაცვლებს დისკის კიდისაკენ და იქ არსებული იდეალურად მომრგვალებული ფორმის ხელშეწყობით შეიწვება დისკის ცენტრში, სადაც ხდება „ფოთლის“ შიგა კედელზე არსებულ წყლის წვეთებთან ჰაერის შეხვედრა, ორთქლად ქცევა და გაფრქვევა.



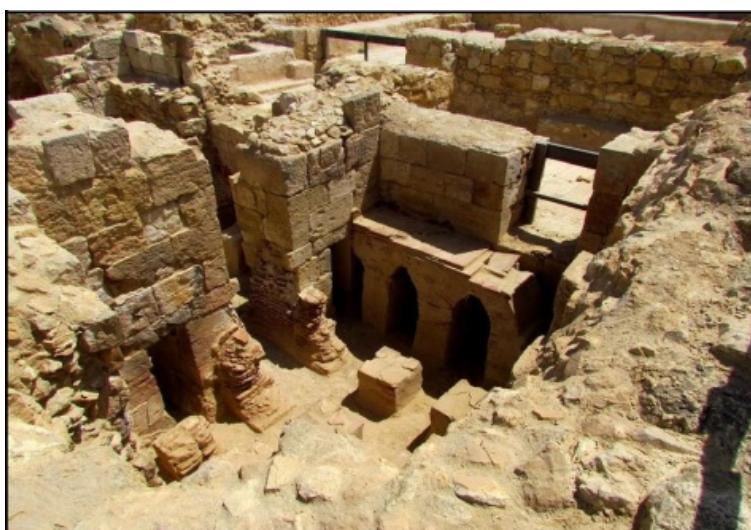
ნახ. 7

მე-8 ნახ-ზე წარმოდგენილია ე. წ. „ფოთლების“ განლაგება. მათი ცენტრები 120°-ით არის ერთმანეთისაგან დაცილებული და, შესაბამისად, ჰაერის, წყლის და ორთქლის ნაწილაკები „ფოთლებიდან“ განიდევნება საპირისპირო თავისუფალ სივრცეში. ისრებით მითითებულია „ფოთლების“ საპირისპირო თავისუფალი სივრცე.



ნახ. 8

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე, კონსტრუქცია ემსგავსება ერთგვარ ორთქლის მანქანას, რომლის დახმარებითაც ცხელი წყლისაგან შესაძლებელია ორთქლის სწრაფად, მოხერხებულად და დისტანციურად მიღება. ეს უძველესი ორთქლის ხელსაწყო შეიძლებოდა გამოვენებინათ საბუს ოჯახის წევრებს ორთქლის პროცედურების ჩასატარებლად, ჰიგიენური და სამედიცინო მიზნებისთვის. მეცნიერები საბუს სამარხს და, შესაბამისად, იქ აღმოჩნდილ ნივთებს ათარიღებენ ჩვ. წელთაღრიცხვამდე 3100–3000 წლით. არქეოლოგების აზრით, საზოგადოებრივი აბანოები ამ ეპოქისთვის ჯერ არ არსებობდა. თუმცა ეს სულაც არ ნიშნავს იმას, რომ იმ პერიოდში მცხოვრები ეგვიპტელები არ იყვნენ დაკავებული პირადი ჰიგიენით. ფარაონის ოჯახს, რა თქმა უნდა, ექნებოდა სრული შესაძლებლობა იმისა, რომ თავის სახლში მოქმედ აბაზანა. სწორედ ცალკეულ ოჯახებში პირადი ჰიგიენის შექმნის გამოცდილებას შეეძლო ჩაეყარა საფუძველი ჰიგიენური პულტურის განვითარებისათვის, რაც შემდგომ პერიოდში საზოგადოებრივი აბანოების ჩამოყალიბებას შეუწყობდა ხელს. და მართლაც, საბუს შემდგომი პერიოდით თარიღდება საზოგადოებრივი აბანოები, რომლებიც მრავლად იქნა აღმოჩნდილი ეგვიპტეში მიმდინარე გათხრებისას (ნახ. 9).

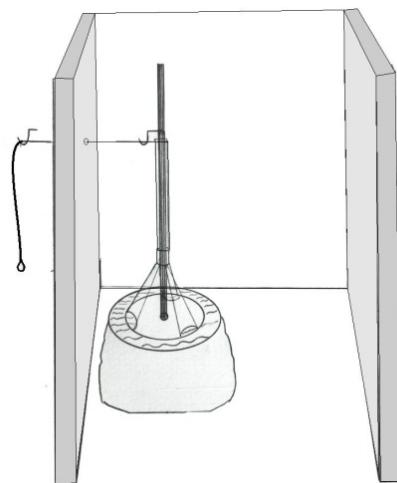


ნახ. 9

ისტორიულთა ცნობით, სხეულის პიგიქნას უდიდეს ყურადღებას აქცევდნენ ძველი ეგვიპტელები. ამასთან, წყლის გამოყენებით მკურნალობდნენ სხვადასხვა დაავადებას. თბილი ორთქლის საშუალებით იკეთებდნენ სახის ნიღბებს და ინპალაციებს. ეგვიპტელი ქურუმები დღეში ოთხჯერ იბანდნენ ტანს და ამას სხიდნენ არა მარტო სხეულიდან ჭუჭყის მოშორებით, არამედ წყალთან ასეთი ხშირი შეხება მიაჩნდათ განწმენდის რიტუალით. მეცნიერთა აზრით, სწორედ ეგვიპტეში დაედო საფუძველი განბანვის რიტუალს, რომელიც შემდგომ გავრცელდა რომსა და საბერძნეთში.

ეგვიპტელთა რამდენიმე სამარხში არქეოლოგებმა აბაზანის ნიჟარასაც მიაკვლიეს. ასე რომ, გასაკვირი არაა პირადი პიგიქნისთვის საჭირო აქსესუარი, კერძოდ, წარმოდგენილი დისკი სამარხში ჩაეტანებინათ ფარაონის შვილისათვის. მით უმეტეს, რომ ტუალეტისთვის საჭირო სხვა სპილენძის აქსესუარიც არის დაფიქსირებული საბუს სამარხში (ნახ. 1).

წარმოვიდგინოთ, თუ როგორ ექნებოდათ მოწყობილი აბაზანის ოთახი ფარაონის სახლში (ნახ. 10).



ნახ. 10

მე-10 ნახ-ზე მოცემულია ცხელი წყლის მცირე ზომის ავზი და მასზე მოწყობილი კონსტრუქცია. თოკის ერთი ბოლო გაყვანილია აბაზანის გარეთ, რათა აბაზანის ვიზიტორი ცალკე ყოფილიყო მომსახურე პერსონალისაგან. აბაზანის ოთახში მყოფ ვიზიტორს ხმოვანი სიგნალით შეეძლო მოსამსახურისათვის ორთქლის მომატება ებრძანებინა. ფარაონის მოსამსახურე თოკის მოზიდვით და მოშვებით შეძლებდა დავალების შესრულებას. ღერძის წყალობით გარანტირებული იქნებოდა, რომ დისკი არ ასცდენდა წყლით საფსე ავზს, ხოლო, რადგან დისკი სრულად არ იძირებოდა, მოსამსახურე ადვილად მიხვდებოდა, თუ როდის უნდა მოეზიდა თოკი თავისკენ. აბაზანისათვის შეშისა და წყლის მოტანა, ცეცხლის დანოება და ხანგრძლივი დროით საჭირო ტემპერატურით უზრუნველყოფა საკმაოდ მიმდევად საქმე იყო. ამიტომ ამ საქმით ძირითადად მამაკაცები უნდა ყოფილიყნენ დაკავებული. შესაბამისად, სწორედ მათი დისტანცირება იყო საჭირო აბაზანაში მყოფი საპირისპირო სქესის ვიზიტორებისაგან. შესაძლოა მეორე ვარიანტის განხილვაც, როდესაც თოკის ბოლო იმავე ოთახში დარჩებოდა და ვიზიტორი თავად მოემსახურებოდა თავის თავს.

## დასკვნა

არსებული ისტორიული და არქეოლოგიური ფაქტები, აგრეთვე ჩატარებული ექსპერიმენტები ამყარებს მოსაზრებას იმის თაობაზე, რომ აღნიშნული დისკი შექმნილი იყო წყალთან და პაერთან სპეციფიკური ურთიერთობისათვის, რაც მდუღარე წყლისაგან დისტანცირებულად ორთქლის მიღების საშუალებას იძლეოდა.

**DISK OF SABU – STEAM-ENGINE**

**G. Vashakidze**

(I. Javakhishvili Tbilisi State University)

**Resume:** An ancient artifact, the so-called Sabu Disc is placed in the museum of Egypt. Its appearance gives a very interesting experience. A disk of similar form has shown remarkable feature – generation of vapor from hot water remotely. The Pharaoh's family could use the vapor for spa purposes and for personal hygiene.

**Key words:** disc of Sabu; old Egypt; steam; the Cairo Museum.

**АРХЕОЛОГИЯ**

**ДИСК САБУ – ПАРОВАЯ МАШИНА**

**Вашакидзе Г. А.**

(Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили)

**Резюме.** Древнейший артефакт, т.н. «диск Сабу» находится в музее Египта. Его внешний вид производит очень интересное впечатление. Диск аналогичной формы проявил замечательное свойство – получение пара из горячей воды дистанционно. Семья фараона могла использовать пар для оздоровительных целей и личной гигиены.

**Ключевые слова:** диск Сабу; Каирский музей; пар; старый Египет.

**მაბნიტურ-რეზონანსული (მ-რ) სპეციალისტობის გამოყენება თავის ფვინის  
ინფილტრაციული პროცესების პიოლოგიური ხასიათის დასაღმინად**

**ფრიდონ თოლუა, მერაბ ბერაია, მიხეილ ოკუჯავა**

(კლინიკური მედიცინის ინსტიტუტი)

**რეზიუმე:** სტანდარტული მაგნიტური რეზონანსის (მ-რ) დროს რადიოლოგიური გამოსახულება წყალბადის ბირთვებზეა დამოკიდებული. მათი კონცენტრაცია წყალში ძალიან მაღალია, ხოლო ლიპიდებში – ნაკლები. წყალბადის შემცველი სხვა მეტაბოლიტების კონცენტრაციის სიმცირე აისხება იმით, რომ გამოსახულების ხარისხე გავლენა იქონიოს მაშინ, როცა წყლის სიგნალი ჩახშობილია. მ-რ სპექტროსკოპის დროს ეს მიიღწევა ქიმიურ-შერჩევითი რადიოსისტირული პულსით. რადგან პროტონები დაეკრანებულია ვალეტრური ელექტრონებით, თითოეული პროტონული ჯგუფი დაფარულია განსაკუთრებული მაგნიტური ველით და რეზონირებს განსხვავებულ სისტირეზე, რაც ისევე აღინიშნება, როგორც ქიმიური გადანაცვლება და იზომება ეტალონური სისტირის მემილიონებით ნაწილით. განსხვავება შესაძლოა გამოვლინდეს მ-რ სპექტროსკოპით, სადაც სიგნალის ყოველ პიკს შეესაბამება კონკრეტული მეტაბოლიტი. ინფორმაცია მეტაბოლიტების თაობაზე მნიშვნელოვანია ნევროლოგიური დაავადებების დიაგნოსტიკაში.

**საჭვანეო სიტყვები:** მაგნიტური რეზონანსი; მ-რ სპექტროსკოპია; ნევროლოგიური დაავადებების დიაგნოსტიკა; რადიოლოგიური გამოსახულება.

## შესავალი

მრ-ის გამოყენება კლინიკურ მედიცინაში უფრო ინტენსიური და საიმედო ხდება, რადგან ნორმასა და პათოლოგიაში იგი იძლევა ინფორმაციას არა მარტო სტრუქტურული დარღვევების, არამედ ბიოქიმიური და მეტაბოლური ცვლილებების შესახებაც [1].

კლინიკური და ექსპერიმენტული მედიცინის ინსტიტუტში მ-რ სპექტროსკოპით 2014 წლიდან დღემდე შესწავლილია 2000-მდე ჟაციენტი, რომელთაც აღენიშნებოდათ თავის ტვინის ინფილტრაციული პროცესები. წინამდებარე სტატიაში მოცემულია აღნიშნულ ჰაციენტთა კლინიკური და რადიოლოგიური მონაცემები და მათი ანალიზი.

ანთებითი/ინფილტრაციული ცვლილებები დამახასიათებელია თავის ტვინის მრავალი პათოლოგისათვის, თუმცა ბიოლოგიური პროცესის ხასიათის დიფერენცირება სტანდარტული სპინ-ექტომპულსური მიმდევრობით (T2se, flair) საქმაოდ რთულია. ამ მხრივ მნიშვნელოვანია მ-რ სპექტროსკოპია, დიფუზურ-შეწონილი კვლევა და პერფუზია. ინფორმაცია მ-რ სპექტროსკოპის დროს უნიკალურია და არ არის დამოკიდებული სხვა მ-რ ტომოგრაფიული კვლევის მეთოდებზე [2].

გარდა სტანდარტული იმპულსური მიმდევრობისა, კლინიკურ პრაქტიკაში წარმატებით გამოიყენება სხვადასხვა უახლესი მ-რ მეთოდი, რომელიც პროცესის მორფოლოგიური მახასიათებლების, ფიზიოლოგიისა და ქიმიური სტრუქტურების შესახებ ფართო ინფორმაციის მოპოვების საშუალებას იძლევა. ამ მეთოდებიდან გამოირჩევა პერფუზიულ-შეწონილი მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია (მ-რტ). განსაკუთრებით აღსანიშნავია მ-რ სპექტროსკოპია: როგორც ნებისმიერ მ-რ სურათზე, ექტო-დრო გავლენას ახდენს მ-რტ-ით მიღებულ ინფორმაციაზე. მოკლე ექტო-დროის (30 მწმ) საშუალებით ინფორმაციას ვიღებთ გრძელი და მოკლე T2 რელაქსაციური მრუდების მქონე მეტაბოლიტებისაგან, მაშინ როცა გრძელი ექტო-დრო (270 მწმ)

ინფორმაციას იძლევა მხოლოდ მეტაბოლიტებისაგან გრძელი T2 რელაქსაციური დროით (ANN, Cr, Cho) [3].

ატომბირთვის რეზონანსული სპექტრი რადიოტალღის დაბალ სიხშირეს შეესაბამება. წყალბადის პროტონების პრეცესიის სიხშირე 0.3 ტლ-ა. მაგნიტური ველის დაძაბულობის შემთხვევაში 10 მჰც-ია, ხოლო 7 ტლ დაძაბულობის დროს – 300 მჰც. უფრო მეტი დაძაბულობის მაგნიტური ველის უპირატესობა სიგნალ-ხმაურის მაღალი შეფარდება და მეტაბოლიტური პიკების მაღალი გარჩვადობაა. 1.5 ტ მაგნიტური ველის დაძაბულობის პირობებში მეტაბოლიტები განაწილებულია სიხშირულ სპექტრში 63 – 64 მჰც-ს შორის.

პრაქტიკული თვალსაზრისით, უფრო მოსახერხებულია რეზონანსული სიხშირების მემოლიონედი ნაწილით – ppm-ით სარგებლობა. ამ დროს ტეტრამეთოლსილანს ნულოვანი მახასიათებელი აქვს, ხოლო N-აცეტილასპარტატს შეესაბამება 2 ppm. ამასთან, სიხშირული სპექტრი იკითხება მარცხნიდან მარჯვნივ.

სპექტროსკოპიული კვლევის პროგრამა მოითხოვს დამატებით მონაცემთა მიღებას, რომელთა შორისაა:

1. სხვადასხვა სიგრცულ დერმებზე მაგნიტური ველების გასწორება, რაც, როგორც წესი, ავტომატიზებულია, მაგრამ შესაძლებელია შესრულდეს ხელითაც;

2. წყლიდან მომავალი სიგნალის დათრგუნვა. ეს განპირობებულია იმით, რომ წყალი შეიცავს წყალბადს და წყლის კონცენტრაციის შეფარდება მეტაბოლიტთან დაახლოებით 10000:1-ზეა. თუმცა ბოლო თაობის ტექნოლოგიების საშუალებით შესაძლებელია სიგნალის მიღება წყლის დათრგუნვის გარეშე;

3. სპექტროსკოპიის მეთოდის შერჩევა. ეს მეთოდებია:

ა. ერთვოქსელიანი სპექტროსკოპია, რომლის სივრცული დასაშვები ზომაა 1 – 8 სმ<sup>3</sup>. იგი სწრაფი კვლევის მეთოდია და მონაცემები შესაძლებელია დამუშავდეს რაოდენობრივად. ერთვოქსელიანი კვლევის უპირატესობად კვლევის მოკლე დრო ითვლება, მაგრამ მეტაბოლიზმის რეგიონული დარღვევების გამოსავლენად სივრცობრივი პარამეტრები ჰქებეროგენულ პათოლოგიაში არასრულია. ამასთან, კვლევის ხარისხის გაუარესებამ შესაძლოა გამოიწვიოს მეზობელი ჯანმრთელი ზონიდან მონაცემთა გადაფარვა;

ბ. ქიმიური გადანაცვლების მეთოდი საშუალებას იძლევა გამოვიყელიოთ ქსოვილთა ფართო უბნები, რომლებიც დაყოფილია მცირე ზომის ვოქსელებად. მ-რ სპექტროსკოპია ორგანზომილებიანი ქიმიური გადანაცვლებაა და საჭიროებს უფრო მეტ დროს ინფორმაციის მიღებისა და დამუშავებისათვის.

სპექტროსკოპიულ კვლევებში დომინირებს ექო-დრო 144 და 270 მწმ, როდესაც მიიღება მეტაბოლიტური პიკები აცეტილასპარტატის, ქოლინის, ლაქტატისა და ლიპიდებისაგან.

**N-აცეტილასპარტი ნარკოზი**. პიკი – 2.0 ppm. ამინტენსიური გვხვდება ნეირონებსა და აქსონებში. ფუნქცია სრულად გარკვეული არ არის. ნორმალური დონე ნეირონულ და აქსონალურ სრულყოფაზე მიუთითებს. ამის გამოვლენა შესაძლებელია 16 კვირის ნაყოფში. ნორმალურ მიელინიზაციასთან ერთად აცეტილასპარტატის დონე სწრაფად მატულობს, რაც დენდრიტების პროლიფერაციასა და სინაფსების სიმკრივის მატებაზე მიუთითებს. დაქვეითებული პიკი კი ნერვული ქსოვილის დაზიანებაზე მიანიშნებს.

**ქოლინი ჩო.** პიკი – 3.2 ppm. გვხვდება ნეიროგლიასა და ნეირონებში. იგი ყველა უჯრედული მემბრანისა და მიელინის სტრუქტურული კომპონენტია. მისი დონე მემბრანული სტრუქტურის განახლებისა და/ან მიტოზური ცვლილების აღმნიშვნელია. ქოლინის მომატებული რაოდენობა უჯრედების მომატებული მიტოზური ცვლილებების და/ან მემბრანის დაზიანების მაუწყებელია დემიელინიზაციური ან ავთვისებიანი სიმსიგნის დროს. Cho/Cr კოუფიციენტი სწრაფად იკლებს ახალ შობილებში სიცოცხლის პირველ თვეებში.

**კრეატინი კრ.** პიკი – 3.0 ppm. გვხვდება გლიასა და ნეირონებში. მონაწილეობს უჯრედული ატფ-ის მეტაბოლიზმში. მისი დონე სწრაფად მატულობს ნეონატალურ პერიოდში. მისი კონცენტრაცია უფრო მაღალია მამაკაცებში. იგი წარმოადგენს ყველაზე სტაბილურ მეტაბოლიტურ მარკერს. ორგანიზმში კრეატინის მნიშვნელოვანი კლება სხვა მეტაბოლიტურ დაზიანებებთან ერთად უჯრედულ ნეკროზსა და სისხლის მიმოქცევის დარღვევაზე მეტყველებს. კრეატინის პიკის

მატება ახასიათებს კრანიოცერებრულ ტრაგმას. კრეატინის არარსებობა იშვიათი თანდაყოლილი დაავადების ნიშანია.

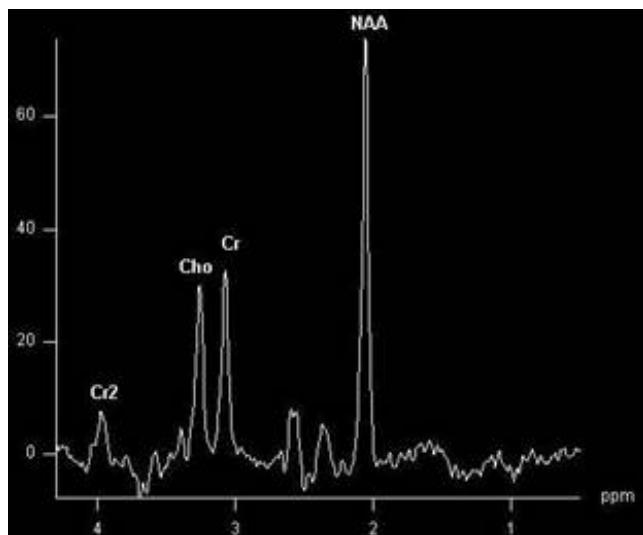
**მიოინოზიტოლი მI.** პიკი – 3.5 ppm. უპირატესად ასტროციტებშია. იგი არ გვხვდება ნეირონებში. წარმოადგენს მნიშვნელოვან „ოსმოლიტს“ და განსაზღვრავს უჯრედის მოცულობას. ამასთან, იგი გლიოზის და რეაქტიული ასტროციტოზის მარკერია. დომინანტური პიკია ახალშობილებში და მნიშვნელოვნად კლებულობს 6 თვის ასაკის ბავშვებში. მრ უკეთესად ჩანს მოკლე ექო-დროის შემთხვევაში. მატება აღინიშნება პაციენტებში ალცენიზმის დაავადებისა და იმუნოდეფიციტური ვირუსის არსებობისას.

**გლუტამატი და გლუტამინი GLx.** პიკი – 2.1–2.5 ppm. გლუტამატი ნეიროტრანსმიტერია. იგი გარდაიქმნება გლუტამინად და უპირატესად გვხვდება ასტროციტებში. გარდაქმნის სისტემა შესაძლოა გადატვირთული იყოს დვიძლის დაავადებისას. უკეთესად ჩანს მრ მოკლე ექო-დროის შემთხვევაში. მატება აღინიშნება პიპერამონიემისა და ღვიძლისმიერი ენცეფალოპათიის დროს.

**ლიპიდები.** პიკი 0.9–1.5 ppm. მომატებულია უჯრედის ნეკროზის შემთხვევაში. მაგრამ ლიპიდური სპექტრი ხშირად „უსუფთაოა“, რადგან იგი დიდი ოაოდენობითა არა მარტო თავის ტვინში, არამედ მიმდებარე ქსოვილებშიც – კანქვეშა ცხიმსა და ბიოლოგიურ სიგრცეში თავის ტვინსა და ცხიმოვან გარსს შორის. ლიპიდებმა შესაძლოა გადაფაროს ლაქტატის პიკი.

**ლაქტატი.** პიკი – 1.33 ppm. წარმოადგენს გლიკოლიზის საბოლოო პროდუქტს. მიანიშნებს ანაერობულ მეტაბოლიზმზე. ნორმალურ მდგრმარეობაში არ ვლინდება. მისი გამოვლენა მიუთითებს გლიკოლიზის არსებობაზე ისეთ ჟანგბადდეფიციტურ გარემოში, როგორიცაა იშემია, პიპოქსია, მიტოქონდრიული დარღვევები, ანთება, დემიელინიზაცია, ინფექციური დაავადება და ზოგიერთი ტიპის სიმსივნე. ლაქტატის პიკი ძირითადად გაორმაგებულია და განიცდის ინვერსიას მაშინ, როცა ექო-დრო 135 მწმ-ია [4].

პრაქტიკული თვალსაზრისით, სპექტროსკოპიული კვლევა დიფუზიასა და პერფუზიასთან ერთად განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია თავის ტვინის სიმსივნეების, დემიელინიზაციური და ინფექციური დაავადებების დიაგნოსტიკის, კლასიფიკაციის, მკურნალობის ტაქტიკის შერჩევისა და მკურნალობის შემდგომი დაკვირვებისათვის.



ნახ. 1. ჯანმრთელი თავის ტვინის სპექტროსკოპიული სურათი  
(ელინდება NAA, Cho, Cr ნორმალური თანაფარდობა)

**სიმსივნეთა დიფერენცირება.** მ-რტ მეთოდები ზრდის სიმსივნეთა კლასიფიკაციის სიზუსტეს. მორფოლოგიური მასალის შესწავლის საფუძველზე ინტრააქსიალური მოცულობითი წარმონაქმნები წარმოდგენილია შემდეგი პათოლოგიებით: მაღალი ხარისხის პირველადი სიმსივნეები – 36 %, დაბალი ხარისხის პირველადი სიმსივნეები – 33 %, მეტასტაზები – 8 %, ლიმფომა – 5 %, დემიელინიზაციური/ანთებითი კერები – 3 %, ინფარქტი – 2 %, აბსცესი – 1 %.

**პირველადი სიმსიგნები.** თავის ტვინის პირველადი სიმსიგნები უპირატესად გლიური წარმოშობისაა. დაბალი ხარისხის გლიომები უფრო ხშირად 20–40 წლის ასაკში ვითარდება, მაშინ როცა მაღალი ხარისხის გლიომები ხანდაზმული პაციენტების ხვედრია და ხანმოკლე სიცოცხლის პერიოდით ხასიათდება. პისტოლოგიურ სურათში ვლინდება ატიპური უჯრედოვნება, ბირთვის პლეომორფიზმი, ნეოფასკულარიზაცია და ნეკროზი.

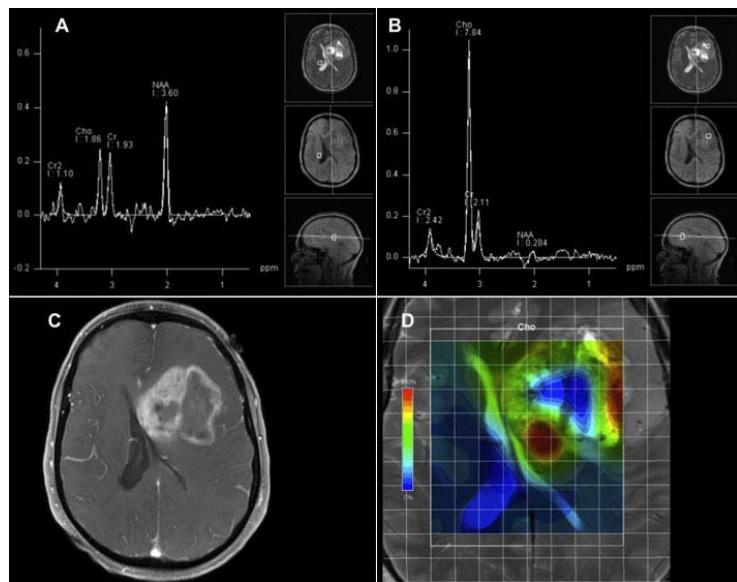
პირველადი ნეოფლაზისათვის დამახასიათებელია ლიპიდების, ლაქტატის, ქოლინის და მიოინოზის მომატებული პიკი, მაშინ როცა NAA-აცეტილასპარტატის პიკი შემცირებულია.

აცეტილასპარტატზე პასუხისმგებელი მეტაბოლიტები ძირითადად ნეირონებშია და მათი შემცირება ნორმალური უჯრედების კლებაზე მიუთითებს. არსებობს მოსაზრება, რომ ქოლინის პიკის მატება სიმსიგნური ზრდის პერიოდში უჯრედულ-მემბრანული ცვლილების სუროგატული მარკერია, თუმცა ქოლინის პიკი შესაძლოა ნაწილობრივ განპირობებული იყოს ფოსპოლიპაზის გაძლიერებული რეგულაციით.

მრავალი მიკრორგანიზმის ანაერობული გარემო და გლუკოზის მეტაბოლიზმის დარღვევა, როგორც ჩანს, განაპირობებს ლაქტატის მაღალ სიგნალს.

არ არსებობს ერთგვაროვანი დამოკიდებულება მეტაბოლიზმსა და სიგნალის ინტენსიურობას შორის, რაც სიმსიგნური პროცესების განსხვავების საშუალებას მოგვცემდა. არსებული მ-რ სპექტროსკოპიული მონაცემებით Cho/NAA კოეფიციენტის მგრძნობელობა 79 %-ია, სპეციფიკურობა – 77 %. ლიტერატურული მონაცემების თანახმად, არ არსებობს მეტაბოლიტი კრიტერიუმები სიმსიგნური და არასიმსიგნური პროცესების დიფერენცირებისათვის. მიუხედავად ამისა, შეიძლება ითქვას, რომ თუ Cho/NAA მეტია 2.2-ზე, მაშინ მაღალი ხარისხის სიმსიგნური პროცესის არსებობა უმჭველია.

პირველადი სიმსიგნების კლასიფიკაციაში ასევე გვეხმარება სხვა მეტაბოლიტური პიკების ანალიზი: მაგალითად, მაღალი ხარისხის გლიომები, როგორც წესი, ხასიათდება ლიპიდების მაღალი ამპლიტუდით, ხოლო მიოინოზის პიკი დამახასიათებელია დაბალი ხარისხის გლიომებისათვის.



**ნახ. 2. მ-რ სპექტროსკოპიული სურათი (CSI) გლიობლასტომის დროს:** ქოლინის პიკის მატება სიმსიგნით დაზიანებულ უბანში (A); ქოლინის პიკის მატება სიმსიგნით დაზიანებულ უბანში (B); მ-რტ (C); ქოლინის განაწილება თავის ტვინის ქსოვილში (D)

**მეორეული (მეტასტაზური) სიმსიგნები.** ასეთი სიმსიგნებისათვის დამახასიათებელია ლიპიდების, ლაქტატის, ქოლინის მომატებული პიკი და NAA სიგნალის მნიშვნელოვანი კლება.

მაღალი ხარისხის პირველადი სიმსიგნის მეტასტაზური დაზიანება სიმსიგნის კონტრასტი-რებადი უბინდან, მ-რ სპექტროგრაფიული მონაცემებით, ნაკლებად სარწმუნოა, თუმცა მეტასტაზურ კერაში მაღალი ლიპიდების უანგვის ხარისხი აღინიშნება. მეორეული სიმსიგნისაგან განსხვავებით,

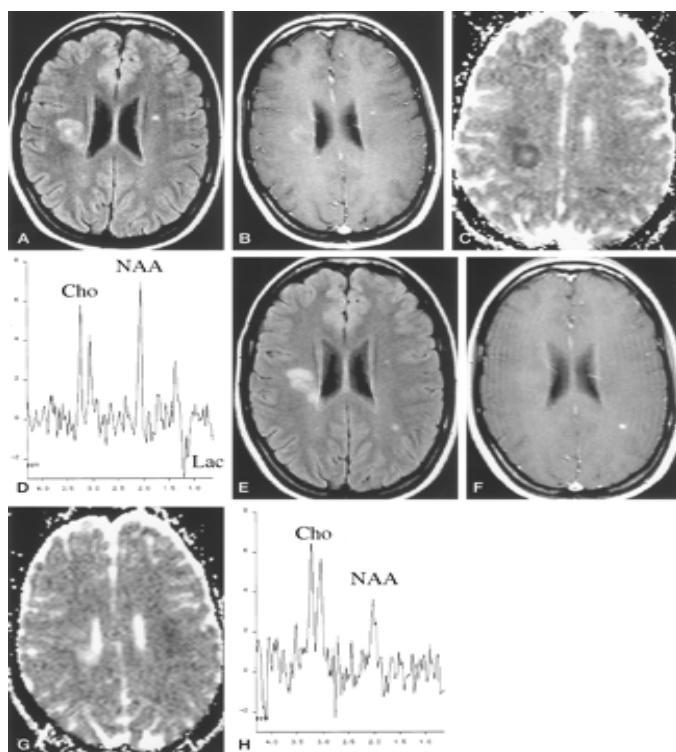
პირველადი სიმსიგნისათვის დამახასიათებელია ინგაზია თავის ტვინის მეზობელ უბნებში და აღნიშნული არაკონტრასტირებადი ზონების შესწავლა უფრო ინფორმაციულია. ამ მიზნით შემუშავებულია მეტაბოლიტური შეფარდებითი კოეფიციენტები. ერთ-ერთი კვლევისას Cho/NAA- თან შეფარდებისას მგრძნობელობა 100 % იყო.

**ლიმფომა.** ცენტრალური ნერვული სისტემის (ცნს) პირველადი ლიმფომა უქსტრანოდულური ლიმფომების 2 %-ს შეადგენს. დაავადების პიკი 5-წლიან ასაკობრივ ჯგუფშია. იგი ჩვეულებრივ დაკავშირებულია იმუნოდეფიციტურ მდგომარეობასთან, მათ შორის შიდა-თან.

ლიმფომებისათვის დამახასიათებელი მ-რ სპექტროსკოპიული სურათი წარმოდგენილია ლიპიდების, ლაქტატის, ქოლინის ამპლიტუდის მატებით და აცეტილასპარტატის კრეატინის, მიოინოზიტოლფოსფატის სიგნალის კლებით. ეს მონაცემები შესაძლოა დაგვეხმაროს ლიმფომის და ტოქსოპლაზმოზის დიფერენცირებაში, რომელიც ხასიათდება მომატებული სიგნალით ლაქტატისა და ლიპიდებისაგან, მაგრამ არ არის სხვა მეტაბოლიტური დარღვევა.

**დემიელინიზაციური დაზიანება.** ეს დაავადება ხასიათდება ნევროლოგიური დეფიციტის ეპიზოდებით, რომელიც განვიზნილია დროსა და სივრცეში. დაავადების სიმპტომები, როგორც წესი, ახალგაზრდა ასაკში იწყება. მწვავე მონოფაზური სიმპტომები მოიცავს მარბურგის ვარიანტს, ბალოს კონცენტრულ სკლეროზს და სხვა დემიელინიზაციურ დაზიანებებს, რომლებიც კლინიკურად სიმსიგნური დაავადების მსგავსია. დაავადების ადრეულ დიაგნოსტიკას დიდი პროგნოზული და სამკურნალო მნიშვნელობა აქვს.

მ-რ სპექტროსკოპისათვის დამახასიათებელია: მომატებული ქოლინის პიკი და NAA შემცირებული სიგნალის ამპლიტუდა, ასევე ლაქტატის არსებობა. მ-რ სპექტროსკოპით ხშირად ძნელია სიმსიგნური და დემიელინიზაციური პროცესების მკაფიო დიფერენცირება. გაფანტული სკლეროზის შემთხვევაში სპექტროსკოპიული დარღვევები არ შემოიფარგლება მხოლოდ რადიოლოგიურად ხილვადი დაზიანებული უბნით და ნორმალურ მ-რ სურათში შესაძლოა გამოვლინდეს NAA დაქვეითებული პიკი. დაავადების ადრეულ სტადიაზე მიოინოზიტოლის მომატებული პიკი, შესაძლოა, ჭარბობდეს NAA სიგნალის კლების ინტენსიურობას.



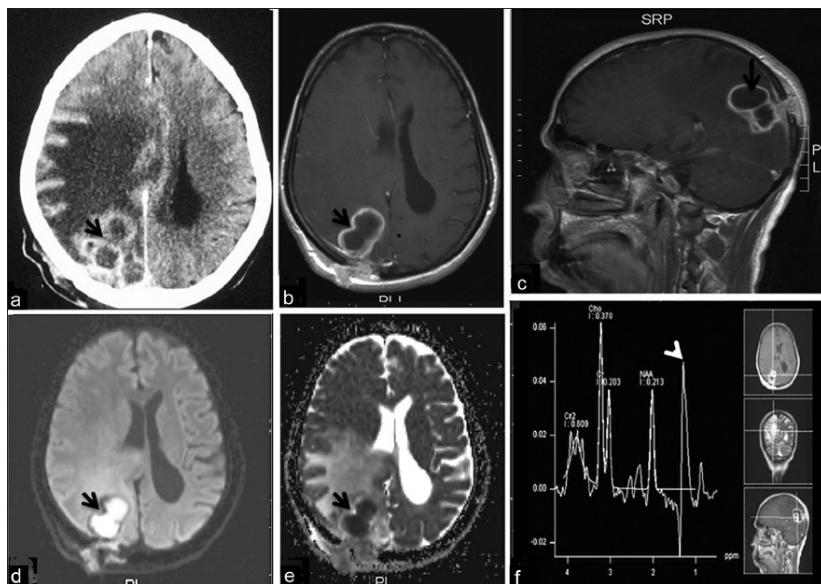
ნახ. 3. თავის ტვინის დემიელინიზაციური დაავადების დროს მ-რ ტომოგრამაზე ვლინდება დემიელინიზაციური ფართო უბნები ღრმა თეთრ ნივთიერებასა და პერივენტრიკულურ სიგრცეებში (A-C.E-G). მ-რ სპექტროგრამაზე ვლინდება აცეტილასპარტატის პიკის კლება და ლაქტატის პიკის მატება (D.H)

თავის ტვინის აბსცესი. ეს დაავადება იმუნოკომპეტენტურ პაციენტებში იშვიათია. ზრდასრულ პირებში აბსცესის უხშირესი მიზეზი პარანაზალური წიაღების ინფექციებია. თუმცა აბსცესი ასევე შეიძლება გავრცელდეს დისტანციურად, პემატოგენური გზით, კერძოდ, ფილტვის ჩირქოვანი პროცესების დროს.

სპექტროსკოპიულ სურათზე გამოვლენილია ამინმევების ლაქტატის, ალანინის, აცეტატის, პირუვატის და სუქცინატის მომატებული პიკი, რაც მიანიშნებს NAA-ს, კრეატინისა და ქოლინისაგან სიგნალის არარსებობას.

აბსცესს აქვს განსხვავებული სპექტროსკოპიული სურათი, რაც სხვა პათოლოგიებისაგან დიფერენცირების საშუალებას იძლევა. მაგალითად, ქოლინის მომატებული პიკი და ამინმევების – აცეტატისა და სუქცინატისაგან სიგნალის არარსებობა სიმსივნისთვისაა დამახასიათებელი, ხოლო ალანინის, აცეტატისა და პირუვატის პიკი აბსცესისთვისაა ნიშანდობლივი.

მ-რ სპექტროსკოპიის მონაცემებმა შესაძლოა ეტიოლოგიურ ფაქტორზეც მიგვანიშნოს, რადგან ანაერობული ბაქტერიული პროცესი ხასიათდება აცეტატისა და სუქცინატის მომატებული პიკით, მაშინ როცა აცეტატისა და სუქცინატისაგან სიგნალის არარსებობა დამახასიათებელია ობლიგატური აერობული ან ფაკულტატიური ანაერობებისათვის.



ნახ. 4. თავის ტვინის აბსცესი: a – კომპიუტერული ტომოგრაფია; b–e – მაგნიტურ-რეზონანსული ტომოგრაფია. ცისტური, პერიფერიული კონტრასტირებადი უბანი მარჯვენა თხემ-კეფის მიდამოში; f – სპექტროგრამაზე კარგად ჩანს ლაქტატის პიკის მატება

ტუბერკულოზური აბსცესისათვის დამახასიათებელია ლაქტატის მაღალი დონე. ასეთ შემთხვევაში არ აღინიშნება ამინმევების პიკი (ლეიცინი, იზოლეიცინი და ვალინი – 0.9 ppm, acetate – 1.92 ppm, alanine – 1.48 ppm), განსხვავებით პიოგენური აბსცესებისაგან, რომელთაც აქვთ პიკები ყველა ზემოთ ჩამოთვლილ მეტაბოლიტებთან.

**ენცეფალიტი.** ამ დაავადებისათვის დამახასიათებელია ლაქტატის, ქოლინისა და მიო-ინოზიტოლის მომატებული პიკი NAA ამპლიტუდის დაქვეითების ფონზე. ენცეფალიტის სპექტროგრაფიული სურათი დაბალი ხარისხის გლიომების მსგავსია. მწვავე ფაზის შემდეგ ერთი წლის განმავლობაში მ-რ სპექტროსკოპიული სურათი ნორმალიზდება.

გარდა სიმსივნური და ნეიროინფექციური პათოლოგიებისა, მ-რ სპექტროსკოპია მნიშვნელოვანია პედიატრიული დაავადებების – ლეიკოდისტროფიების, პიპოქსიურ-იშემიური ენცეფალოპათიის და ნეიროდეგენერაციული პროცესების კვლევისას. ამასთან, საყურადღებოა შეტაბლილიტების როგორც აბსოლიტური, ისე ფარდობითი ცვლილებები. მაგალითად, პიპოქსიურიშემიური ენცეფალოპათიების შემთხვევაში აღინიშნება NAA/lac, Cr/lac და Cho/lac კოეფიციენტის კლება; პიპოქამპური გლიოზის დროს NAA/Cho+Cr კოეფიციენტი 0.71-ზე ნაკლებია; სხივური

თერაპიის შემდგომ პერიოდში Cho/Cr კოეფიციენტის 3-ჯერ და უფრო მეტად მატება კი სიმსივნის განგრძლებით ზრდაზე მიუთითებს.

მ-რ სპექტროსკოპია რთული კვლევის მეთოდია და მისი მონაცემები შეჯერებული უნდა იყოს კლინიკურ სურათთან. მეთოდი სენსიტიურია მაგნიტური ველის არაპომოგენურობაზე, მოითხოვს მაგნიტური კვლების მუდმივ კონტროლს. იგი ასევე მგრძნობიარეა საკვლევი ობიექტის მოძრაობაზე და აუცილებელია მ-რ კვლევების ჩატარება მოძრაობის არტეფაქტების კორექციით.

#### **ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА**

1. Robert R. Edelman, John R. Hesselink, Michael B. Zlatkin and John V. Crues III. Clinical Magnetic Resonance Imaging 3rd ed., vol. 3. PA: Saunders, 1, Philadelphia, 2006.- 282 p.
2. **Alena Horská, Peter B. Barker, D. Phil.** Imaging of Brain Tumors: MR Spectroscopy and Metabolic Imaging. Neuroimaging Clin N Am. Aug; 20(3), 2010, p.293-310.
3. Lara A. Brandão, Romeu C. Domingues. MR spectroscopy of the brain: Lippincott Williams & Wilkins, 2004. - 194 p.
4. Blüml, Stefan, Panigrahy, Ashok. MR Spectroscopy of Pediatric Brain Disorders. Springer, 2013.

**DIAGNOSIS OF THE BIOLOGICAL FEATURES OF THE BRAIN INFILTRATIVE LESIONS BY THE MAGNETIC RESONANCE SPECTROSCOPY****F. Todua, M. Beraia, M. Okujava**

(Institute of Clinical Medicine)

**Resume:** Standard radiological images in magnetic resonance (MR) dependent on the hydrogen nuclei, which are presented in very high concentrations in water and to a certain extent lesser in lipids. The concentration of other hydrogen-containing metabolites are too small to make a significant contribution to the MR signal, if the water signal is suppressed. In MR spectroscopy this is achieved by chemical-selective radiofrequency pulse saturation. Since protons are shielded by the valence electrons, each proton group covered by a special magnetic field and resonate at different frequencies, measured as a chemical shift in the millionth part of the reference standard. These variations may be demonstrated by MRI spectroscopy, where peaks can be attributed to specific metabolites. Metabolic information obtained by the MR spectroscopy can be useful in the diagnosis of neurological diseases.

In the institute of clinical medicine in 2014 about 2000 patients with MR spectroscopy there has been studied. Showing MR spectroscopic features of the brain tumors, demyelinating and infectious diseases. There shown the additional possibilities in the differential diagnosis of the biological nature of the tumors and aetiology of brain abscess.

**Key words:** diagnosis of neurological diseases; magnetic resonance; MR spectroscopy; radiological image.**МЕДИЦИНА****ДИАГНОСТИКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИНФИЛЬТРАТИВНЫХ ПОРАЖЕНИЙ МОЗГА С ПОМОЩЬЮ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ****Тодуа Ф. И., Берая М. В., Окуджава М. В.**

(Институт клинической медицины)

**Резюме.** Стандартные радиологические изображения сигналов магнитного резонанса (MR) зависят от ядер водорода, которые присутствуют в очень высоких концентрациях в воде и в меньшей степени в липидах. Концентрация других водородсодержащих метаболитов слишком мала, чтобы внести существенный вклад в MR сигнал, если сигнал от воды подавляется. При MR-спектроскопии это достигается путем химико-селективного радиочастотного насыщения импульса. Поскольку протоны экранированы валентными электронами, каждая группа протонов охвачена особым магнитным полем и резонирует на разных частотах, измеряемая как химический сдвиг в миллионной части от эталонного стандарта. Эти различия могут быть продемонстрированы с помощью MR-спектроскопии, где пики приурочены к конкретным метаболитам. Метаболическая информация, полученная при MR-спектроскопии может быть полезной при диагностике неврологических заболеваний.

В Институте клинической медицины с 2014 года было изучено около 2000 пациентов при помощи MR-спектроскопии. Показаны MR-спектроскопические особенности опухолей, демиелинизирующих и инфекционных заболеваний головного мозга. Показаны дополнительные возможности дифференциальной диагностики биологического характера опухолей и этиологического фактора абсцессов головного мозга.

**Ключевые слова:** диагностика неврологических заболеваний; магнитный резонанс; MR-спектроскопия; радиология.

პიდევ ერთხელ სახელგანთქმული ქართველი მეცნიერის შესახებ

(რატომ არ ითვლება ბიორგი ნიკოლაძე კომპიუტერული ტექნიკის ერთ-ერთ პიონერად?)

### ნუგზარ იაშვილი

(საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი)



„თითქმის არ დარჩა არც ერთი დარგი მუშაობისა, სადაც გიორგი ნიკოლაძეს, საქმით გატაცებულს, ნაყოფიერი შრომითი კვალი არ დაფტოვებინოს. საინჟინრო ხელოვნების მოტრფიალე, ინჟინერ-მეტალურგი, ქარხანასთან უშუალოდ დაკავშირებული, მისი მშენებელი, მეცნიერი-მათემატიკოსი, ცნობილი ჩვენში და უცხოეთში თავისი გამოკვლევებით, იშვიათი სპეციალისტი უმაღლესი გეომეტრიისა, პედაგოგი-აღმზრდელი, ფიზიკური კულტურის სიამაყე, გამოჩენილი სპორტსმენი, მამაცი ალპინისტი, მტერი ყოველნაირი კაბინეტური ჩხირკედელაობისა, მუდამ ცოცხალ საქმეში ჩაბმული – ერთი სიტყვით, დაუშრებული წეარო შემოქმედებისა...

არჩილ ხარაძე

**რეზიუმე:** სტატიაში განხილულია ქართველი მეცნიერის მოღვაწეობის ერთი საინტერესო მხარე. მათემატიკის ბრწყინვალე ცოდნამ და ტექნიკური სიახლეებისადმი მუდმივმა სწრაფვამ იგი მიიყვანა ელექტრული გამომთვლელი მანქანის შექმნის იდეამდე დამზადებულ იქნა შემოთავაზებული მანქანის მაკეტი. საფრანგეთში გ. ნიკოლაძემ შეადგინა პატენტისათვის მოწყობილობის აღწერა, მაგრამ ფინანსების არქონის გამო ვერ შეძლო თავისი იდეის განხორციელება.

**საკვანძო სიტყვები:** არითმომეტრი; გამომთვლელი მანქანა; საანგარიშო მოწყობილობა.

### შესავალი

გიორგი ნიკოლაძე დაიბადა 1888 წელს ცნობილი ქართველი საზოგადო მოღვაწისა და პუბლიცისტის ნიკო ნიკოლაძისა და ოლდა გურამიშვილის ოჯახში. გიორგი პატარაობიდანვე გამოირჩეოდა დიდი ნებისყოფითა და სწავლისადმი ლტოლვით, იყო ცნობისმოყვარე და მეტად სერიოზული ბავშვი. კითხვა მან ძალზე აღრე ისწავლა. რვა წლის გიორგის საათი აჩუქეს, რომელიც მაშინვე გახსნა, დაშალა და ისევ ააწყო. პატარა გიორგი თბილისის პირველ გიმნაზიაში შეიყვანეს. იგი განსაკუთრებული ინტერესით სწავლობდა ფიზიკასა და მათემატიკას. ეუფლებოდა რუსულ და

ფრანგულ ენებს. შემდეგ, როგორც თვითონ იხსენებდა, იმდენად იყო დაინტერესებული მათემატიკისა და ფიზიკის საკითხებით, რომ ნაწილობრივ დამოუკიდებლად და ნაწილობრივ ერთი ნაცნობის საშუალებით პირველ კლასში შესვლამდე შეძლო გაერკვია ელემენტარული ფიზიკის კანონები, ორთქლის მანქანის მოწყობილობა. იგი აღვიდა და ითვისებდა ალგებრასა და გეომეტრიას, „ჩემთვის მათემატიკა უბრალოდ აუცილებლობას წარმოადგენდა“ – წერდა გიორგი ნიკოლაძე. გიმნაზიის დამთავრების შემდეგ მან სწავლა პეტერბურგის ტექნოლოგიურ ინსტიტუტში გააგრძელა. ამ სასწავლებლის არჩევა მამის გავლენით მოხდა, რომელსაც მიაჩნდა, რომ საქართველოს უფრო მეტად ინჟინრები ესაჭიროებოდა და არა მათემატიკოსები. სწავლის პერიოდში გიორგისთან ერთად პეტერბურგში ცხოვრობდნენ დედა – ოლდა და დები: რუსუდანი და თამარი.

1913 წელს გიორგი ნიკოლაძემ ინსტიტუტი დაამთავრა და მიენიჭა ინჟინერ-ტექნოლოგის კვალიფიკაცია. აქედან დაიწყო მისი შრომითი საქმიანობა – ჯერ მუშაობდა იუზოვკის (უკრაინა) მეტალურგიული ქარხნის ტექნიკურ განყოფილებაში, შემდეგ კი იმავე ქარხნის საბრძმელე სამუშაოში ცვლის ინჟინრად.

„გიორგი ნიკოლოზის ძე ინჟინერთა შორის გამოირჩეოდა თავისი ცოდნით, მაღალი კულტურით, თავის თავისადმი მომთხოვნელობითა და დიდი წესიერებით“ – ასე იხსენებდა მას ცნობილი რუსი მეტალურგი, აკადემიკოსი ი. ბარდინი და შემდეგ განაგრძობდა: „გ. ნიკოლაძე გახლდათ ახალი ტიპის ადამიანი, მრავალმხრივ ერუდირებული. განსაკუთრებით დრმად იცნობდა მათემატიკას. გიორგი ნიკოლაძე განუმეორებელი იყო. არავის ბაძავდა არც მუშაობის ხერხებით და არც ცხოვრების წესით. ჩვენ, ახალგაზრდა ინჟინრებს, რომლებიც ის-ის იყო ვიწყებდით ცხოვრებას, ყოველთვის და ყველაფერში აშკარად გვეტყობოდა სხვისი გავლენა. ჩვენ გვჭირდებოდა გმირები, რომლებისთვისაც უნდა მიგვებადა. წავაგავდით ვიღაც ნიკოლაი როსტოვის მსგავსს „ომსა და მშვიდობაში“, გიორგი ნიკოლაძე კი არავის პგავდა ცოცხალ გმირთაგან, იგი თვით თავისი თავი იყო, ხოლო თუ პგავდა ვინმეს, პგავდა ანდრეი ბალკონსკის იმავე დიდი მწერლის დიდი რომანიდან. ვერაფერი გამოიყვანდა მოთმინებიდან. მუდამ დინჯი, პირდაპირი, შეუპოვარი იყო...“



გიორგი ნიკოლაძე ვარჯიშის დროს

გიორგი ნიკოლაძე ცხოვრებაში ყველაზე მაღლა აყენებდა შრომას. იყო მეტისმეტად ორგანიზებული ადამიანი. თავისუფალ დროს იგი ახმარდა ფიზიულტურასა და მათემატიკას. სპორტს გიორგი ნიკოლაძე უყურებდა არა როგორც პირად ახილებას, არამედ როგორც აღმზრდელობით ღონისძიებას.

1918 წელს გიორგი ნიკოლაძე თბილისის უნივერსიტეტში მიიწვიეს და გამოჩენილ ქართველ მათემატიკოსებთან – ანდრია რაზმაძესთან, არჩილ ხარაძესა და ნიკოლოზ მუსხელიშვილთან ერთად საფუძველი ჩაუყარა ქართულ კვლევას გეომეტრიაში. 1919–1920 წლებში გიორგი ნიკოლაძე აბარებს საღოქტორო გამოცდებს სხვადასხვა მათემატიკურ საგანში (მათემატიკური ანალიზი, უმაღლესი გეომეტრია, დიფერენციალური განტოლებები, რიცხვთა თეორია და სხვ.). 1920 წელს მას

დოცენტის წოდება მიენიჭა. 1923 წელს გიორგი ნიკოლაძემ საქართველოს პოლიტექნიკურ ინსტიტუტში ჩამოაყალიბა ელექტრომეტრულგიის კათედრა, რომელსაც თავად ხელმძღვანელობდა.

1926 წელს გიორგი ნიკოლაძე ერთი წლით მიავლინეს დასავლეთ ევროპაში – გერმანიაში, ინგლისში, საფრანგეთსა და იტალიაში „მათემატიკურ მეცნიერებაში დასახელოვნებლად და ელექტროქიმიის დარგში ზოგიერთი საკითხის შესასწავლად“, როგორც ეს აღნიშნული იყო მის სამივლინებო ბარათში. ევროპაში გიორგი მამასთან ერთად გაემზავრა. გერმანიაში იგი გაეცნო სიმენსის ელექტრომანქანათსაშენ ქარხანას. ლონდონში ყოფნისას გეოგრაფიული საზოგადოების სხდომაზე გიორგი ნიკოლაძემ წაიკითხა მოხსენება საქართველოში გეოგრაფიული საზოგადოების დაარსებისა და ალპინიზმის მდგომარეობის შესახებ. მათემატიკაში მუშაობა მან პარიზში, ერთ-ერთ უძველეს უნივერსიტეტში, სორბონაში განაგრძო.

ევროპაში გ. ნიკოლაძე მეტად ნაყოფიერად მუშაობდა. ეს შეუმჩნეველი არ დარჩენიათ ცნობილ ფრანგ მათემატიკოსებს. აკადემიკოსი ელი კარტანი ასე ახასიათებდა გიორგი ნიკოლაძის საქმიანობას: „არ შემიძლია აუდელვებლად გავისხვნო ეს ჯან-ლონით სავსე ახალგაზრდა, მეცნიერებას ასე უდროოდ გამოკლებული მკალევარი, მისი მართალი თვალების პირდაპირი გამოხედვით. აქ ახლა მინდა ვილაპარაკო არა ადამიანზე, არამედ მათემატიკოსზე. გ. ნიკოლაძე ბუნებით იყო გეომეტრი. თავისი დისერტაციის თემად მან აირჩია გეომეტრიულ ნაკვთთა უწყვეტი სისტემები, რომლის დამუშავებასაც მე სისტემატურად ვესწრებოდი, ზოგჯერ რჩევასაც ვაძლევდი, რაც ხელს არ უშლიდა გაპყოლოდა საკუთარ გზას და ეს გზა ერთხელაც არ ასცდენია გეომეტრიულ სინამდვილეს. წირთა ალგებრული სისტემის შესახებ გ. ნიკოლაძემ მიიღო დიდი საზოგადოებრივი მნიშვნელობის ახალი შედეგები“.

გ. ნიკოლაძემ სადოქტორო დისერტაცია სორბონაში 1928 წლის ზაფხულში წარმატებით დაიცვა და მოიპოვა მათემატიკურ მეცნიერებათა დოქტორის ხარისხი უმაღლესი შეფასებით.



ნიკოლაძეების სახლი სოფ. დიდ ჯიხაიშვილი (სამტრედიის რაიონი)

აღსანიშნავია, რომ მალე მისი დისერტაცია ცალკე წიგნად გამოიცა პარიზში, ხოლო დისერტაციაში შემავალი საკითხების ირგვლივ პარიზის აკადემიის შრომებში მისი ოთხი სამეცნიერო სტატია გამოქვეყნდა. ამავე საკითხებზე წაიკითხა მან მოხსენება მათემატიკოსთა საერთაშორისო კონგრესზე იტალიაში (ბოლონია, 1927 წ.). კონგრესს გ. ნიკოლაძე ესწრებოდა, როგორც თბილისის უნივერსიტეტის წარმომადგენელი. იგი თავმჯდომარეობდა კონგრესის ერთ-ერთ სხდომას, ხოლო მისი მოხსენების შინაარსი კონგრესის მასალებში დაიბეჭდა.

## ძირითადი ნაწილი

გიორგი ნიკოლაძე სწორედ პარიზში აგრძელებს მუშაობას გამომთვლელი მანქანის შექმნაზე, რომლის შესახებ აზრი მას გაცილებით აღრე დაებადა.

საანგარიშო-გამომთვლელი მოწყობილობები და მანქანები XX საუკუნის დასაწყისში უკვე ადარ იყო სიახლე. როგორც ცნობილია, პირველი მექანიკური სათვლელი მოწყობილობა ჯერ კიდევ 1623 წელს გერმანიაში, ტიუბიგენის უნივერსიტეტში შექმნა მათემატიკის პროფესორმა ვ. შიკარდმა. მისი მოწყობილობა განკუთვნილი იყო ოთხი არითმეტიკული მოქმედების შესასრულებლად. შემდგომში, 1642 წელს ფრანგმა ბლეჭ პასკალმა ააგო უფრო სრულყოფილი გამომთვლელი მანქანა. ინგლისელი ჩარლზ ბებიჯი თითქმის ორმოცი წლის განმავლობაში მუშაობდა არითმეტიკული მანქანების შექმნაზე და მეტად მნიშვნელოვან შედეგებს მიაღწია.

გიორგი ნიკოლაძე, რა თქმა უნდა, კარგად იცნობდა მანამდე არსებულ გამომთვლელ მოწყობილობებს, წინამორბედ მეცნიერთა შრომებს. მისი განსაკუთრებული დაინტერესება გამოიწვია ფრანგი მათემატიკოსისა და ინჟინრის მორის დოკანის ნაშრომა „გამარტივებულმა ანგარიშმა“, რომელიც ქხებოდა გამოთვლით მანქანებს. ნაშრომში კონკრეტული ტექნიკური ამოცანების ამოსახსნელად და გრაფიკების (ნომოგრამების) ასაგებად მორის დოკანმა შემოიტანა ახალი გამოთვლითი საშუალება – „ნომოგრაფი“.

1928 წლის 16 იანვარს სწორედ ამ ფრანგმა მეცნიერმა პარიზში, საფრანგეთის აკადემიაში შეკრებილ მეცნიერებს წარუდგინა ახალგაზრდა ქართველი მეცნიერის გიორგი ნიკოლაძის გამოგონება. „მანქანა, რომლის აგებასაც მე ვვარაუდობ, სავსებით ავტომატურია: მოქმედების შედეგი უმაღვე მიიღება ორი ციფრის მოცემის შემდეგ, კონკრეტულ უბრალო დაჭერის მეშვეობით“ – წერდა გიორგი ნიკოლაძე.

გ. ნიკოლაძის გამომთვლელი მოწყობილობის შესახებ ფრანგმა მეცნიერმა დოკანმა წაიკითხა მოხსენება პარიზის მეცნიერებათა აკადემიის სხდომაზე; ამასთან, გამოთქვა შემდეგი შენიშვნა: „ელექტრობა გამომთვლელი მანქანის ამძრავში უკვე იყო გამოყენებული ჩვენი სწავლული თანამეგობრის ტორეს კევადოს მიერ თავის ელექტრომექანიკურ არითმომეტრში; მაგრამ უნდა აღინიშნოს, რომ ბ-ნ ნიკოლაძის მიერ გამოგონებული ამოსნა სრულიად სხვაგვარია. უფრო მეტიც, ამ ახალ ამოსნაში ჩვენ განსაკუთრებით დირსეულად წარმოგვიდგება ის, რომ ამოსნა შეიცავს წმინდა ელექტრულ მოწყობილობას, რომელიც აქ უაღრესად გონებამახვილურადაა გამოყენებული და დაფუძნებულია ქენაილის მიერ მის გასამრავლებელ სახაზავებში გრაფიკული ფორმით მოცემულ პრინციპზე“. შემდეგ დოკანმა უფრო დაწვრილებით ისაუბრა ნიკოლაძის გამოგონების მნიშვნელობაზე და მიუთითა, რომ „მეტისმეტად საინტერესო პრინციპი, რომელსაც ქენაილმა გრაფიკული ფორმა მისცა, ბ-ნ ნიკოლაძის მანქანაში ხორცშესხმულია ყველაზე გონებამახვილური ხერხით. რამდენადაც მე ვიცი, ეს პირველი ასეთი სახის გამოგონებაა და გულით ვისურვებდი, რომ მონახულიყო კონსტრუქტორი, რომელიც განახორციელებდა ბ-ნ ნიკოლაძის შესანიშნავ პროექტს“. შეკითხვას, დააჩქარებს თუ არა მანქანა ოპერაციების წარმოებას, დოკანმა უპასუხა: „დიახ, მე მიმართია, რომ ის დააჩქარებს ოპერაციების წარმოებას, რომ შედარებით იაფი ედირება, გაცვეთით კი გაცილებით გვიან გაცვება“. იმ დროის ცნობილი მეცნიერის მიერ გამოთქმული ასეთი შეფასება მეტად მნიშვნელოვანი იყო.

გ. ნიკოლაძეს სავსებით სწორად მიაჩნდა, რომ არსებული მანქანები შედარებით რთული აგებულების იყო, შეიცავდა დეტალებს, რომლებიც სწრაფად ცვოტება და ძვირიც ჯდება. გ. ნიკოლაძის გამომთვლელი მოწყობილობა არ შეიცავდა კბილანებიან თვლებს, ძრავას და სხვა, ცოტად თუ ბევრად რთულ და ძვირად დირებულ მექანიკურ ნაწილებს.

როგორც თვით გიორგი ნიკოლაძე წერდა, მისი გამომთვლელი მანქანა მუშაობდა „... რამდენიმე კომუტატორის სისტემაზე მოქმედი ელექტრომაგნიტის დახმარებით; კომუტატორები განსაზღვრავს წყვეტილობასა და აუცილებელ წრედებს“. მანქანა ორი ნაწილისაგან შედგებოდა. ერთი მათგანი გათვალისწინებული იყო შეკრებისა და გამოკლების, მეორე კი გამრავლება-გაყოფის ოპერაციების შესასრულებლად.

აი, როგორ აღწერდა თავის გამოგონებას გიორგი ნიკოლაძე: „მანქანა შედეგება ორი ნაწილისაგან. პირველი განკუთვნილია შეკრებისა და გამოკლების ოპერაციების შესასრულებლად. თვითმწერი წარმოადგენს სვეტების სასურველ რიცხვს; ყოველ სვეტში 10-10 კნოპია 0-დან 9-მდე

გადანომრილი. პირველი დაჭერა ერთ-ერთი სვეტის რომელიმე კნოპზე აღნიშნავს შესაბამის ციფრს ინდიკატორზე. ელექტრომაგნიტების ჯგუფი ერთდროულად აწარმოებს კონტაქტების ისეთ გარდაქმნას, რომ კნოპზე მეორე დაჭერა ინდიკატორზე აღნიშნავს ამ მეორე დაჭერის შესაბამისი ციფრის შეკრების (ან გამოკლების) შედეგს პირველი აღნიშნის ციფრთან.“

შემდეგ გ. ნიკოლაძე განმარტავს მისი გამოგონების მეორე ნაწილს: „მანქანის მეორე, გამრავლებისა და გაყოფისათვის განკუთვნილი ნაწილი უფრო მარტივია. აქ მე გამოვიყენ ფრანგი ინჟინრის – უენაილის ჩეირების იდეა. ცილინდრზე სამრავლის აღნიშნის შემდეგ საქმარისი იქნება მამრავლი აღნიშნოთ კნოპების უბრალო მიმდევრობითი დაჭერით მამრავლის ციფრების შესაბამისად, იმავე, 10 კნოპის მქონე სვეტზე. ნამრავლი დაუყოვნებლივ ჩნდება მაჩვენებელზე. აღწერილის ანალოგიურად სრულდება გაყოფაც“.

გიორგი ნიკოლაძე 1928 წლის მარტში უფროსი დისადმი გაგზავნილ წერილში აღნიშნავდა: „...ჩემ მიერ გამოგონებული არითმომეტრი მჭიდროდაა დაკავშირებული ავტომატურ ტელეფონთან და ამიტომაც გაგეცანი ამ გამოგონების ყველა სისტემას, რომ მათგან ყველაზე შესაფერისი აგარჩიო ჩემი „ელექტრომთვლელისათვის“. სწორედ ამ დროს თვით ბედმა შემახვედრა ერთ შესანიშნავ გამომგონებელთან. მე მგონია, მან საბოლოოდ გადაჭრა ავტომატური მექანიზმების პრობლემა, რომელთა შორის ჩემს არითმომეტრს პირველი ადგილი უჭირავს“...

შემდეგ კი წერდა, რომ „უკანასკნელი არითმეტიკული მანქანების უმრავლესობა წარმოადგენს მანქანებს მხოლოდ მიმდევრობითი შეკრებისა და გამოკლებისათვის. ყველა ეს მანქანა, მათ რიცხვში შედის აგრეთვე გამრავლებისათვის განკუთვნილი რამდენიმე მანქანა, შედარებით რთულია და შეიცავს დეტალებს, რომლებიც ადვილად ცვოტბა; ეს მანქანები მაღალი დირექტულებისაცა; მანქანა, რომლის აგებასაც მე ვვარაუდობ, სავსებით ავტომატურია: მოქმედების შედეგი უმაღვე მიიღება ორი ციფრის მოცემის შემდეგ, კნოპზე უბრალო დაჭერის მეშვეობით. გარდა ამისა, მანქანას არა აქვს არც ძრავა, არც კბილანებიანი თვლები, არც სხვა, ცოტად თუ ბევრად რთული და ძვირად დირექტული მექანიკური დეტალები. ის მუშაობს რამდენიმე, კომუტატორის სისტემაზე მოქმედი ელექტრომაგნიტის დახმარებით; კომუტატორები განსაზღვრავს წყვეტილობასა და აუცილებელ წრედებს“.

გიორგი ნიკოლაძე აღიარებს, რომ მოდელის ასაგებად საჭირო თანხის თდენობა არასწორად განსაზღვრა: „...მაგრამ იმისათვის, რომ ჩემი გამოგონების თეორიიდან საქმეზე – მოდელის აგებაზე გადავიდე, საჭიროა გაცილებით მეტი ფული, ვიღრე წინათ გამოუცდელობით განგარიშობდი. ჯერ ერთი, გამოირკვა, რომ ცოტა ფულით ასეთი ტიპის მანქანის მოდელის აგებას ვერც კი დაიწყებ: ეს დიდ ტექნიკურ (ელექტროტექნიკურ) სიძნელეებს აწყდება; მეორე, რომც ააგო, შეიძლება მაინც უპატენტოდ დარჩე, რადგან პატენტის მიღების ვადა (მოდელის წარდგენის მერე) მხოლოდ ერთი წლია განაცხადის აღების დღიდან (განაცხადი ამა წლის იანვარში ავიდე). თანაც პატენტი ყველა ქვეყანაში უნდა აიღო – ყველგან ამ წლის განმავლობაში. უიმისოდ ყველას შეუძლია ისარგებლოს ამ გამოგონებით... ამასობაში კი, როგორც ირკვევა, მარტო პატენტი მთავარ ქვეყანაში 137 000 ფრანკი, კ. ი. 10 000 მანეთი დაჯდება! ...ახლავე დაუყოვნებლივ უნდა რაიმე გადაეწყვიტოთ და ვიდონოთ, ამასთანავე მოდელის აგებას ერთ-ერთ აქაურ ელექტროტექნიკურ სახელოსნოში შეიძლება შევუძგა, თუ 10000–15000 მანეთზე ნაკლები თანხა არ მექნება; ამ გამომგონებელს კი, ასეთი აგებების საუკეთესო სპეცის, მიაჩნია, რომ 24000 მანეთია საჭირო. ჩვენ მთავრობას რომ ახლა ამ საქმისათვის აღმოაჩნდებოდეს ეს თანხა (პლუს, რაც პატენტები დაჯდება), მაშინ აქაურ კაპიტალისტებთან დაკავშირება არ მომიწვდიდა...“

აქვე გ. ნიკოლაძე ხაზგასმით აღნიშნავს, რომ: „საქმე ძალიან საშურია, ვინაიდან პატენტის ასაღები ვადა 1929 წლის 21 იანვარს იწურება... მანამდე მოდელი უნდა იყოს მზად, ეს კი ორი-სამი კვირის საქმე როდია!

ამიტომაც მოუმტენდად მოველი პასუხება... დიდი შეცდომა იქნება ამ საქმის ჩვენი ხელიდან გაშვება და ფრანგებისათვის ბოძება, ასე კი გამოვა, თუ არც მე, არც მთავრობა პატენტს არ ავიღებთ ამ გამოგონებაზე“...

გიორგი ნიკოლაძე მოულოდნელად სრულიად ახალგაზრდა გარდაიცვალა. 1931 წლის იანვარში დიდუბეში მდებარე საცდელ ქარხანაში იწყებოდა ფერომანგანუმის დნობის კიდევ ერთი სერია. დუმელი უნდა ჩართულიყო დამის პირველ საათზე. 1931 წლის 20 იანვარს თბილისის

ოპერისა და ბალეტის თეატრში დანიშნული იყო „ქარმენის“ პრემიერა და გიორგი ნიკოლაძე, როგორც წესი, ასეთ ღონისძიებას არ გამოაკლდებოდა. მთელი ოჯახი მონაწილეობდა მის ჩაცმაში, რომ თეატრშიც ლაზათიანად ყოფილიყო გამოწყობილი და არც ქარხანაში შესცივნოდა ოცდაორსაათიანი მორიგეობისას.

პრემიერის დასრულების შემდეგ გიორგი დიდუბისკენ გაეშურა. მანქანამაც რატომდაც არ მოაკითხა და იმ დღეს ჯოჯოხეთურ, ენვა-ქარბუქიან დამეში სირბილით გაიარა ოთხ კილომეტრზე მეტი. მერე დაღლილი და გაოფლილი დიდხანს იდგა ქარიშხლისგან სახურავაგლეჯილ საამქროში გავარვარებულ დუმელთან. შენობაში კი ორპირი ქარი უბერავდა. გიორგი ნიკოლაძე გაცივდა, მეგობართა დაუინებული თხოვნით სახლში დაბრუნდა, მაგრამ მესამე დღეს კვლავ ქარხანაში მივიდა. 27 იანვარს გიორგის ფილტვების ანთება დაუდგინეს. მაშინ ეს ძალზე სერიოზული, თოთქმის განუქურნებელი ავადმყოფობა იყო, სამწუხაროდ მისი გადარჩენა ვერ მოხერხდა და 3 თებერვალს გიორგი ნიკოლაძე გარდაიცვალა.

მან მხოლოდ ორმოცდასამი წელი იცოცხლა.

გიორგის მამა, დიდი საზოგადო მოღვაწე ნიკო ნიკოლაძე მოკლედ ასე ახასიათებდა თავის შვილს: „ჩემი შვილი გიორგი ჰეშმარიტი მამულიშვილია და თავისი ქვეყნის პატრიოტი“, ხოლო აკადემიკოსი ნიკო კეცხოველი წერდა: „მე რომ მკითხონ, – როგორი გინდა ქართველი კაცი იყოს, დაუყოვნებლივ ვუპასუხებდი, – ისეთი, როგორიც გიორგი ნიკოლაძე იყო“.

ალბათ, ძნელია ამაზე უფრო ზუსტად შეაფასო გიორგი ნიკოლაძე – დიდი ინჟინერი და მეცნიერი.

## დასკვნა

გიორგი ნიკოლაძეს პარიზშივე შეუდგენია პატენტისათვის თავისი გამოგონების აღწერა, სადაც მოცემულია გამომთვლელი მოწყობილობის შედარებით ვრცელი დახასიათება, მუშაობის პრინციპი და ნახაზები.



**მათემატიკოსთა დიდი ოთხეული: ანდრია რაზმაძე, არჩილ ხარაძე,  
გიორგი ნიკოლაძე და ნიკოლოზ მუსხელიშვილი**

სამწუხაროდ, გ. ნიკოლაძემ უსახსრობის გამო ვერ შეძლო პატენტის გაფორმება და მანქანის მოდელის საფრანგეთში დამზადება. მხოლოდ მისი საქართველოში დაბრუნების შემდეგ იქნა აგებული გ. ნიკოლაძის გამოთვლითი მოწყობილობის მოდელი, რომელიც გამოიყინა მოსკოვის პოლიტექნიკურ მუზეუმში. ამ მუზეუმიდან ეს მოდელი დაიკარგა და დღემდე ვერ მიაკვლიერ. არც აღნიშნული მოდელის ნახაზები და აღწერილობაა შემორჩენილი. ასე გაქრა ნიჭიერი ქართველი

მეცნიერის არაორდინალური გამოგონება და დღეს გამოთვლითი ტექნიკის ისტორიაში გ. ნიკოლაძის სახელი ნახსენებიც კი არ არის.

გ. ნიკოლაძის საფრანგეთიდან სამშობლოში დაბრუნების შემდეგ (1928 წ.) ამიერკავკასიის სახელმწიფო კომიტეტმა განიხილა მისი გამოგონება და მატერიალური დახმარების აღმოჩენის საკითხის გადაწყვეტა დროებით (ანუ ფაქტობრივად სამუდამოდ!) გადადო. ოუმცა აღნიშნულ იქნა, რომ გ. ნიკოლაძის მიერ გამოგონებული ელექტრომოვლელი დიდ მეცნიერულ ინტერესს იწვევდა.

გამოთვლითი ტექნიკის სათავეებთან იდგნენ ცნობილი მეცნიერები, მათემატიკოსები და ინჟინერები ლეონარდო და ვინჩი, ბლეზ პასკალი, ვილჰელმ ლაიბნიცი, ჩარლზ ბებიჯი, ალან ტიურინგი, ჯონ ფონ ნეიმანი და სხვები, რომლებსაც განსაკუთრებული წვლილი მიუძღვით გამოთვლითი მანქანების შექმნაში.

გამოთვლითი ტექნიკის ისტორიით დაინტერესებული ადამიანი სხვადასხვა წიგნში, ცნობარსა თუ ინტერნეტის საძიებო სისტემაში, გარდა ზემოთ ჩამოთვლილებისა, წაიკითხავს აგრეთვე ჯ. ბულის, პ. ხოლერიტის, ს. მორლანდის, ი. ლეოპოლდის, პ. ჩებიშევის, ვ. ოდნერის, უ. ბაროუზის, ლ. კრომბის, ვ. შიკარდის და სხვათა სახელებს. ყოველმა მათგანმა გარებეული წვლილი შეიტანა გამოთვლითი მანქანების განვითარებაში, დახვეწასა და სრულყოფაში.

ლოგიკურად ჩნდება კითხვა: რატომ არ მოიხსენიება მათ გვერდით ქართველი მეცნიერი და ინჟინერი გიორგი ნიკოლაძეც?

ნუთუ არ შეიძლება მივმართოთ მსოფლიოს სხვადასხვა ქვეყანაში არსებულ საზოგადოებებს, კავშირებსა თუ ასოციაციებს, რომლებიც იყვლევენ მეცნიერებისა და ტექნიკის, კერძოდ გამოთვლითი მანქანების, ისტორიას, რათა განიხილონ გ. ნიკოლაძის მიერ გამომოვლელი მანქანის შექმნაში შეტანილი წვლილი და მიუჩინონ მას ღირსეული ადგილი გამოთვლითი ტექნიკის განვითარების ისტორიაში?

#### ლიტერატურა – REFERENCES – ЛИТЕРАТУРА

1. ა. ნ. ბოგოლიუბოვი. გიორგი ნიკოლაძე. თბ.: საბჭოთა საქართველო, 1978.
2. ა. სიგუა. უდმერთო იყო შენი სიკვდილი. თბ.: ტექნიკური უნივერსიტეტი, 1996.
3. ა. ბაქრაძე. ნიკო ნიკოლაძე. თბ.: ნაკადული, 1989.
4. თ. ებანოიძე. პირველი ქართული არითმომეტრი //მეცნიერება და ტექნიკა, №7, 1978.
5. დ. გამეზარდაშვილი. ნიკო ნიკოლაძე. თბ.: საბჭოთა საქართველო, 1983.
6. ა. სიგუა. მეცნიერი და მოქალაქე. თბ.: ნაკადული, 1975.
7. ქართული მეცნიერებისა და ტექნიკის სიამაყე (გიორგი ნიკოლაძე). საიუბილეო კრებული. თბ., 1999.

**ONCE MORE ABOUT FAMOUS GEORGIAN SCIENTIST (WHY IS NOT GEORGE NIKOLADZE CONSIDERED AS ONE OF THE PIONEERS OF COMPUTER TECHNOLOGY?)**

**N. Iashvili**

(Georgian Technical University)

The paper deals with one of the interesting aspects of G. Nikoladze's activity.

Brilliant knowledge of mathematics and eternal aspiration for technical novelties led him to the idea of designing a computing machine based on electric devices. The model was made. In France G. Nikoladze drew up the description of this device for receiving patent, but failed to realize the idea because of lack of finances.

**Key words:** arithmometer; computing device; computing machine.

**ИСТОРИЯ ТЕХНИКИ**

**ЕЩЕ РАЗ О ЗНАМЕНИТНОМ ГРУЗИНСКОМ УЧЕНОМ (ПОЧЕМУ НЕ СЧИТАЕТСЯ ГЕОРГИЙ НИКОЛАДЗЕ ОДНИМ ИЗ ПИОНЕРОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНИКИ?)**

**Иашвили Н. Г.**

(Грузинский технический университет)

В статье рассмотрена одна из интересных сторон деятельности Г. Николадзе. Блестящее знание математики и вечное стремление к техническим новшествам привело его к идеи создания вычислительного устройства на основе электрических цепей. Был изготовлен макет предлагаемой машины. Во Франции Г. Николадзе составил описание устройства для получения патента, но из-за отсутствия финансов он не смог осуществить свою идею.

**Ключевые слова:** арифмометр; вычислительная машина; вычислительное устройство.

## ავტორთა საზურადლებოდ

ქართულენოვანი მრავალდარგობრივი სამეცნიერო რეფერირებადი ჟურნალი “შეცნიერება და ტექნოლოგიები” არის პერიოდული გამოცემა და გამოდის წელიწადში სამჯერ.

1. ავტორის/ავტორთა მიერ სტატია წარმოდგენილი უნდა იყოს მთავარი რედაქტორის სახელზე ქართულ ენაზე და თან ახლდეს:

- აკადემიის წევრის, წევრ-კორესპონდენტის ან კოლეგიის წევრის წარდგინება ან დარგის სპეციალისტის რეცენზია (ორი მაინც);
- რეზიუმე ქართულ, ინგლისურ და რუსულ ენებზე;
- ცნობები ავტორის/ავტორების (მათი რაოდენობა არ უნდა აღემატებოდეს ხუთს) შესახებ; მითითებული უნდა იყოს ავტორის/ავტორების გვარი, სახელი, მამის სახელი (სრულად, დაბადების თარიღი, საცხოვრებელი ბინისა და სამსახურის მისამართები, E-mail, სამეცნიერო წოდება და საკონტაქტო ტელეფონები (ბინის, სამსახურის), მობილური;
- შაპ (უნივერსალური ათობითი კლასიფიკაცია) კოდი.

2. სტატია ამობგჭდილი უნდა იყოს A4 ფორმატის ფურცელზე. მოცულობა ფორმულების, ცხრილებისა და ნახატების (ფოტოების) ჩათვლით არ უნდა იყოს ხუთ გვერდზე ნაკლები და არ უნდა აღემატებოდეს 15 ნაბეჭდ გვერდს; სტატია შესრულებული უნდა იყოს doc და docx ფაილის სახით (MS Word) და ჩაწერილი ნებისმიერ მაგნიტურ მატარებელზე. ინტერვალი – 1,5; არები – 2 სმ; ქართული ტექსტი აკრეფილი უნდა იყოს Acadnusx შრიფტით, ინგლისური და რუსული ტექსტი – Times New Roman-ით, ზომა – 12.

3. სტატია გაფორმებული უნდა იყოს შემდეგნაირად:

- რეპრიკა (მეცნიერების დარგი);
- სტატიის სათაური;
- ავტორის/ავტორების სახელი და გვარი (სრულად);
- სად დამუშავდა სტატია;
- ქართული რეზიუმე და საკვანძო სიტყვები უნდა განთავსდეს სტატიის დასაწყისში, ინგლისური და რუსული რეზიუმეები საკვანძო სიტყვებთან ერთად – სტატიის ბოლოში. საკვანძო სიტყვები სამივე ენაზე დალაგებული უნდა იყოს ალფაბეტის მიხედვით. რეზიუმე შედგენილი უნდა იყოს 100 – 150 სიტყვისაგან; უნდა ასახავდეს სტატიის მირითად შინაარსსა და კვლევის შედეგებს (არ უნდა შეიცავდეს ზოგად სიტყვებსა და ფრაზებს); უცხო ენებზე თარგმანი უნდა იყოს ხარისხიანი, თარგმანი უნდა ეყრდნობოდეს სპეციალურ დარგობრივ ტერმინოლოგიებს;
- საერთაშორისო სამეცნიერო ჟურნალების მონაცემთა ბაზების რეკომენდაციით დამოწმებული ლიტერატურის რაოდენობა სასურველია იყოს ათი და მეტი. ლიტერატურა ტექსტში უნდა დალაგდეს ციტირების თანმიმდევრობის მიხედვით და აღინიშნოს ციფრებით კვადრატულ ფრჩხილებში, ხოლო ლიტერატურის სია უნდა ითარგმნოს ინგლისურ ენაზე და დაერთოს სტატიას ბოლოში; თან მიეთითოს რომელ ენაზე იყო გამოქვეყნებული სტატია.
- ნახატები (ფოტოები) და ცხრილები თავის წარწერებიანად უნდა განთავსდეს ტექსტში. მათი კომპიუტერული ვარიანტი უნდა შესრულდეს ნებისმიერი გრაფიკული ფორმატით;

- რედაქტირებული და კორექტირებული მასალის გამოქვეყნებაზე თანხმობა ავტორმა უნდა დაადასტუროს ხელმოწერით (რედაქტირებული ვერსია ან სარედაქციო კოლეგიის მიერ დაწუნებული სტატია ავტორს არ უბრუნდება).

დამატებითი ცნობებისათვის მიმართეთ შემდეგ მისამართზე: 0108 თბილისი, რუსთაველის გამზირი 52, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემია. IV სართული, ოთახი 434, ტელ.: 299-58-27.

ელ.ფოსტა: metsn.technol@gmail.com

რედაქტორები: ლ. გიორგობიანი, ე. იოსებიძე, დ. ქურიძე, მ. პრეობრაჟენსკაია  
კომპიუტერული უზრუნველყოფა ქ. ფხავაძის

გადაეცა წარმოებას 15.09.2016, ხელმოწერილია დასაბუჭიდად 02.12.2016. ქაღალდის  
ზომა 60X84 1/8. პირობითი ნაბეჭდი თაბახი 8. ტირაჟი 102 ეგზ.

საგამომცემლო სახლი „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, თბილისი, კოსტავას 77

