

სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

შ რ ო მ ე ბ ო

XVII

*ზუსტ და საბუნებისმეტყველო  
მეცნიერებათა სერია*

სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამომცემლობა  
თბილისი – 2018

*სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომების XVII ტომში (ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სერია) წარმოდგენილია უნივერსიტეტის თანამშრომელთა სამეცნიერო გამოკვლევები მათემატიკის, ფიზიკის, ქიმიის, ბიოლოგიისა და გეოგრაფიის აქტუალურ პრობლემებზე.*

*კრებული განკუთვნილია შესაბამისი დარგების სპეციალისტებისათვის და სტუდენტებისათვის.*

**სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომების  
მთავარი სარედაქციო საბჭო:**

პოლიტიკის მეცნიერებათა დოქტორი **ზურაბ ხონელიძე** (თავმჯდომარე); ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **მალხაზ აშორდია**; ისტორიის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი **ლია ახალაძე**; სამართლის დოქტორი, პროფესორი **ვეფხვია გვარამია**; ბიოლოგიის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი **მარინა ზარქუა**; ფილოლოგიის დოქტორი, პროფესორი **მერაბ ნაჭყვიაძე**; ისტორიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ზურაბ პაპასქირი** (თავმჯდომარის მოადგილე); ფილოსოფიის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი **ელგუჯა ქავთარაძე**; ეკონომიკის დოქტორი, პროფესორი **დავით ჯალაღონია**.

**ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სერიის**

**სარედაქციო კოლეგია:** ბიოლოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ზაურ ლომთათიძე** (მთავარი რედაქტორი); ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **მალხაზ აშორდია**; გეოგრაფიის დოქტორი, პროფესორი **მელორ აღფენიძე**; ბიოლოგიურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი, საქართველოს მეცნიერებათა ეროვნული აკადემიის აკადემიკოსი **გიორგი კვეციანი**; ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ვლადიმერ კირცხალია**; ფიზიკის დოქტორი, პროფესორი **ალექსანდრე მიმინოშვილი**; ქიმიის დოქტორი, პროფესორი **ზურაბ ფაჩულია**; ბიოლოგიის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **გულნარა ქარჩავა**; ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **თემურ ჩილაჩავა**; ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი **ოთარ ჭკადუა**; ფიზიკა-მათემატიკის დოქტორი, პროფესორი **ნანა გულუა**.

**სარედაქციო კოლეგიის პასუხისმგებელი მდივანი** – ფიზიკის დოქტორი, ასოცირებული პროფესორი **როინ ბერია**

**სარედაქციო კოლეგიის მდივანი** – ბიოლოგიის დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი **ეკა ესებუა**

**SOKHUMI STATE UNIVERSITY**

**PROCEEDINGS**

**XVII**

***EXACT AND NATURAL SCIENCES  
SERIES***

Sokhumi State University Publishing House  
Tbilisi – 2018

The XVII volume of *PROCEEDINGS OF SOKHUMI STATE UNIVERSITY (Exact and Natural Sciences' Series)* represents the researches on the topical issues in mathematics, physics, biology, chemistry and geography. The authors are professors of the Sokhumi State University.

The edition is intended for the specialists, students and general readers.

### CHIEF EDITORIAL COUNCIL OF *PROCEEDINGS* *OF SOKHUMI STATE UNIVERSITY*

Doctor of Political Sciences **Zurab Khonelidze** (Head of the Council); PHD in History, Associate Professor **Lia Akhaladze**; Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor **Malkhaz Ashordia**; PhD in Law, Associate Professor **Vepkhvia Gvaramia**; PhD in Philosophy, Associate Professor **Elguja Kavtaradze**; PhD in Philology, Professor **Merab Nachkebia**; PHD in Economics, Professor **David Jalagonia**; PHD in Biologics, Associate Professor **Zurab Pachulia**; Doctor of Historical Sciences, Professor **Zurab Papaskiri** (Deputy head of Council).

### EXACT AND NATURAL SCIENCES SERIES

**Editorial Board:** Doctor of Biological Sciences, Professor **Zaur Lomtadze** (Editor-in-chief); Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor **Malkhaz Ashordia**; PhD in Geography, Professor **Melor Alpenidze**; Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of Georgian Academy of Sciences **Giorgi Kvesitadze**; Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor **Vladimer Kirtskhalia**; PhD in Physics, Professor **Alexander Miminoshvili**; PhD in chemistry, Professor **Zurab Pachulia**; Doctor of Biological Sciences, Professor **Gulnara Karchava**; Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor **Temur Chilachava**; Doctor of Physico-Mathematical Sciences, Professor **Otar Chkadua**; PhD in Physics and Mathematics, Professor **Nana Gulua**.

**Executive Secretary of the Editorial Board:** PhD in Physics, Associate Professor **Roin Beria**

**Secretary of the Editorial Board:** PhD in Biology, Assistant Professor **Eka Esebua**

INTEGRATED MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELS OF  
THE INFORMATION WARFARE

**Abstract.** In this paper, the first attempt is made to combine existing approaches of mathematical and computer modeling of information warfare. As a result, integration mathematical and computer models of information warfare were created. Until now, in the mathematical modeling of the information warfare, issues of information flows and information dissemination were considered separately. The first direction was initiated by the idea of **Professor T. Chilachava**, to study the distribution of information flows of the two opposite and third peacekeeping sides by mathematical models. The second direction was laid by **Academician A.A. Samarskiy** and **Professor A.P. Mikhailov**, who proposed a mathematical model for the dissemination of information among the population. Both these directions have been intensively developed and many scientific studies have been devoted to them. Several dozens of interesting models were created, which reflect the various nuances of the problem. But it is natural that the information and the information for which it is intended should be studied together. During the implementation of this idea, integrated mathematical and computer models of information warfare were created. Integrated common linear and nonlinear mathematical and computer models of information warfare were created. In this paper, integrated general and particular mathematical and computer models for ignoring the enemy are presented. With the help of computer research, a numerical experiment, the question of the existence of a solution to the problem of the Chilker range is studied, which is equivalent to the task of completing information warfare.

**UDC 004.94, 004.49, 517.9; [2010 Mathematics Subject Classification:](#) 00A71, 65C20, 68U20.**

**Key words and phrases:** information warfare, information flow, information adept, integration mathematical model, integration computer odel, Chilker type task.

**Introduction.** Among the diverse types of information warfare, we are attracted to the confrontation of the opponents in the information field: when the sides use, for example, mass dissemination of information and with it try to misinform the enemy, compromise them, etc. The objectives and means of information warfare in this direction are detailed in the works [1], [2]. This type of information war can be called information confrontation, but for simplicity we will use “information warfare” for this type of information warfare.

Mathematical methods of studying information warfare are quite productive and successfully implemented in different countries of the world. A number of mathematical and computer models have been developed, which takes into account the course of information war in the conditions of different regimes: Restriction of information, continuity, discretion, and more.

The models are basically two studying objects. First, the information itself, which is distributed as a stream and is intended to discredit the opposing side. Second - the number of people who have received the information disseminated by the side. It is noteworthy that the models developed so far have mostly discussed only the number of information flows or the number of people who have received the information. In the presented work, an attempt is proposed to unify these two approaches, which results in new types of mathematical and computer models.

Before representing the results of combining these two traditional methods together, let's talk about them separately.

**Mathematical and computer models of flows of information warfare.** The mathematical modeling of the streams in the information war starts from year 2009, when Georgian scientist **Temur Chilachava's** original idea was worked out and reported in the same year on the fifth congress of Georgian Mathematicians [3] and it was published in Sokhumi State University works [4], [5]. We will bring you a general linear model, as well as a nonlinear model with restrictions. Let's consider the mathematical and computer models of information warfare, in which the search size is considered as the number of provocative information spread by two antagonists and the number of peacekeeping calls made by the third, peacekeeper side. All three parties involved in the information warfare spread information of the relevant party, and any number of promotional information to achieve its goal. At the moment of time  $t \in [0; +\infty)$  the number of information disseminated by each party should be noted as  $N_1(t)$ ,  $N_2(t)$ ,  $N_3(t)$ . Quantity of information at the moment of time  $t$  is calculated as the sum of the relevant party, the number of any provocative information that is distributed by all means of mass information. At the same time, the opposing parties are distributing  $N_1(t)$  and  $N_2(t)$  numbers of information. Third, the Peaceful Party calls on the parties to stop the information war, for which the peacekeeper spreads relevant information. As the opposing side aims to influence the information impact on his rival, he tries to disseminate as much as discreditable information as possible about the opponent. At the same time, the dissemination of previously used information is allowed and new

disinformation is added. Thus, the speed of dissemination of information by the opposing party depends on the number of information already distributed:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} \propto \alpha_1 N_1(t), \quad \frac{dN_2(t)}{dt} \propto \beta_2 N_2(t) .$$

In addition, the opposing side reacts to the number of information disseminated by the rival and the peacekeeping parties. Thus, the speed of dissemination of information by the opposing party depends also on:

$$\frac{dN_1(t)}{dt} \propto (\alpha_2 N_2(t) - \alpha_3 N_3(t)), \quad \frac{dN_2(t)}{dt} \propto (\beta_1 N_1(t) - \beta_3 N_3(t)).$$

Third, the intensity of information disseminated by the Peace Party depends not only on the number of information disseminated by him, but also on how aggressively the information warfare is going on, how much number of information is disseminated by opposing sides. Taking into account these considerations, we can discuss general linear continuous mathematical model of information warfare:

$$\begin{cases} \frac{dN_1(t)}{dt} = \alpha_1 N_1(t) + \alpha_2 N_2(t) - \alpha_3 N_3(t), \\ \frac{dN_2(t)}{dt} = \beta_1 N_1(t) + \beta_2 N_2(t) - \beta_3 N_3(t), \\ \frac{dN_3(t)}{dt} = \gamma_1 N_1(t) + \gamma_2 N_2(t) + \gamma_3 N_3(t), \end{cases} \quad (1.1)$$

Initial conditions:

$$N_1(0) = N_{10}, \quad N_2(0) = N_{20}, \quad N_3(0) = N_{30} \quad (1.2)$$

Where  $\alpha_1, \alpha_3, \beta_2, \beta_3 \geq 0$ ,  $\gamma_i \geq 0 \quad i = \overline{1,3}$ ;  $\alpha_2, \beta_1$ ,-are constant sizes. Let's name these constant sizes "Model ratios". The speed of change in the number of information disseminated by the first and second parties in the general linear model (1.1) depends on the number of information disseminated by the parties and the international peace organization. Third - the speed of change of the number of calmative information released by international organizations is linearly increasing and is directly proportionate to the number of information disseminated by all three parties. In the initial (1.2) conditions,  $N_{10}, N_{20}, N_{30}$  are non-negative permanent sizes.

At the beginning the third party does not disseminate information ( $N_{30} = 0$ ) or make preventative conciliatory statements ( $N_{30} > 0$ ). Peacekeeping side then begins to react to the provocative information spread by the parties. For the first time mathematical and computer models of information war-

fare, taking into consideration the possibilities of IT technologies, It was proposed in 2012 [6], [7], and was generalized later [8]:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt}x(t) = \alpha_1 x(t) \left(1 - \frac{x(t)}{I_1}\right) - \beta_1 z(t) \\ \frac{d}{dt}y(t) = \alpha_2 y(t) \left(1 - \frac{y(t)}{I_2}\right) - \beta_2 z(t) \\ \frac{d}{dt}z(t) = (\gamma_1 x(t) + \gamma_2 y_2(t)) \left(1 - \frac{z(t)}{I_3}\right) \end{cases} \quad (1.3)$$

$$x(0) = x_0, y(0) = y_0, z(0) = z_0 \quad (1.4)$$

Where  $x(t)$ ,  $y(t)$  is the number of disseminated information by the antagonistic sides at moment -  $t$ . Similarly, the peacekeeping - third side's disseminated amount of information  $z(t)$  at the same  $t$  time.  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  accordingly is aggressive coefficients of the first and second opposing sides,  $\beta_1, \beta_2$  - peaceful activity options for the opposing sides,  $\gamma_1, \gamma_2$  - index of peacekeeping activity of the third party towards the relevant opposing side.  $I_j$ ,  $j = 1, 2, 3$  - maximum number of technological capabilities of the first and second sides.  $x(t)$ ,  $y(t)$ ,  $z(t)$  functions are defined in the section  $[0, T]$ .

The opposing side reduces the speed of information dissemination according to how close is the number of information dissemination by him at the time to the maximum number of available of information dissemination.

Besides mentioned mathematical models of information warfare, continuous linear and discrete models of ignorance of the opponent have been developed; non-linear, continuous and linear discrete models taking into consideration authoritative organizations or institutions (Religious, non-governmental, scientific, political and other) [9],[10].

**Mathematical model of dissemination Information flow.** The mathematical model of dissemination of information discussed in the classical work of mathematical modeling by **A.A. Samarskiy** and **A.P. Mikhailov** [11]. The mathematical model of organizing advertising campaigns is offered, based on the principle of model universality, can be used in mathematical modeling of information warfare. However, this model does not directly focus on information streams, information receivers' - the number of informed personnel variability is essentially considered. In particular, the following model is discussed: let's



$N(t)$  is a number of informed potential customers about the object,  $N_0$  - the total number of potential users,  $\alpha_1(t)$ -intensity of advertising campaigns,  $\alpha_2(t)$  - advertising intensity by users, who know about the object,  $\frac{dN(t)}{dt}$  - the changing speed of users informed (adepts), which naturally depends on the number of uninformed consumers and the intensity of advertising campaigns. That's why we get the mathematical model of the following kind of **Samarskiy-Mikhailov**:

$$\frac{dN(t)}{dt} = [\alpha_1(t) + \alpha_2(t)N(t)](N_0 - N(t)). \quad (2.1)$$

Let's consider (2.1) substantiation of the model with more details. Advertising, as information is distributed in two ways: first, directly through the advertising campaign, for example via mass media, when by this way, increasing speed of the informed population is proportionate to the number of uninformed population -  $\alpha_1(t)(N_0 - N(t))$  and second, an informed person about advertising tells his acquaintances about this and thus become information spreaders, increasing speed of the informed population is proportionate to the number of uninformed population -  $\alpha_2(t)(N_0 - N(t))$ . In fact, advertising is spread by interpersonal relationships. When we combine the speed of advertising spread in these two ways, we will get the model of the whole distribution speed of advertising. In equation (2.1) starting point is, at the beginning of the time, the number of advertised individuals is equal to zero:

$$N(t)|_{t=0} = 0 \quad (2.2)$$

One of the authors, **A.P. Mikhailov**, overtime, changed the name of (2.1) and (2.2) model's. At first in cooperation with academician **A.A. Samarskiy**, the monograph published in 1997 was called model of advertising campaign; then, since 2002, it got called an information threat model [12]; since 2004 - information dissemination model [13]; since 2009, information confrontation model [14]; in 2011 - the model of information warfare [15]; in 2015 - information attack and duel model [16], [17].

With model of (2.1), (2.2), **A.P. Mikhailov** and coauthors create different models of dissemination of information, for example: model with forgetting the information, model of information duel and others.

**Integrated mathematical and computer models of information flows and information dissemination.** For the integrated mathematical models of the in-

formation warfare, let's bring the relevant indications while taking into account the existing traditions. In particular, at  $t \in [0; +\infty)$  moment, the number of information, distributed by each side is to be noted with  $N_{10}(t), N_{20}(t), N_3(t)$ . Quantity of information at moment  $t$ , it is calculated as the sum of the relevant party, the number of any provocative information, that is disseminated by all means of mass information. At the same time, the opposing parties are reporting  $N_{10}(t)$  and  $N_{20}(t)$  number of information. The third - peaceful side calls on the sides to stop the information warfare, for which it disseminates  $N_3(t)$  number of information. Let's name  $N_{10}(t), N_{20}(t), N_3(t)$  the number of "officially" disseminated information by the respective parties. Then model (1.3), (1.4) will be:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha_1 N_{10}(t) \left(1 - \frac{N_{10}(t)}{I_1}\right) - \beta_1 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha_2 N_{20}(t) \left(1 - \frac{N_{20}(t)}{I_2}\right) - \beta_2 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_3(t) = (\gamma_1 N_{10}(t) + \gamma_2 N_{20}(t)) \left(1 - \frac{N_3(t)}{I_3}\right). \end{cases} \quad (3.1)$$

With initial conditions:

$$N_{10}(0) = N_{10}, N_{20}(0) = N_{20}, N_3(0) = N_{30}. \quad (3.2)$$

Let's say, the first side represents the population, which has maximum value of  $x_p$ , in similar, the second side represents the population, which has maximum value of  $y_p$ .  $x_1(t)$  - the number of population of the first side, who at the time of  $t \in [0; +\infty)$  have "received" information officially reported by the first party, became it's adept and by interconnected relationships themselves disseminate beneficial information for the first side by quantity of  $N_{11}(t)$ .  $x_2(t)$  - the number of population of the first side, who at the time of  $t \in [0; +\infty)$  have "received" information officially reported by the second party, became it's adept and by interconnected relationships themselves disseminate beneficial information for the second side by quantity of  $N_{12}(t)$ . Similarly, we

can do this for the population of the second party as well:  $y_1(t)$  - the number of the population of the second party, which at the time of  $t \in [0; +\infty)$  has "received" information officially reported by the first party, became it's adept and by interconnected relationships themselves disseminate beneficial information for the first side by quantity of  $N_{21}(t)$ . Also,  $y_2(t)$  - the number of the population of the second party, which at the time of  $t \in [0; +\infty)$  has "received" information officially reported by the second side, became it's adept and by quantity of  $N_{22}(t)$ . Speed of  $N_{11}(t)$  information dissemination, naturally, depends on the meeting of the  $x_1(t)$  adepts and the population free of this information, particularly, on  $x_1(t)(x_p - x_1(t))$ . In addition, if the adept spreads information without interpersonal communication, let's say social network, or through the adepts own web means, then we should additionally consider the maximum capabilities of adept's  $I_4$  IT technologies. In addition, it is natural that the "official" activity of the party, whose we consider, affects the adept activity. So, we have the following ratio:

$$\frac{dN_{11}(t)}{dt} = \alpha_{11}N_{11}(t)(x_p - x_1(t))x_1(t) + \alpha_{12}N_{10}(t)(I_4 - N_{11}(t)). \quad (3.3)$$

With initial conditions:

$$N_{11}(0) = 0. \quad (3.4)$$

In the same way we can make correlations for  $N_{12}(t)$ ,  $N_{21}(t)$ ,  $N_{22}(t)$ , where we can note  $I_5, I_6, I_7$ , with maximum possibility of the information technologies of the adepts  $x_2(t)$ ,  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ .

As for adepts  $x_1(t)$ ,  $x_2(t)$ ,  $y_1(t)$ ,  $y_2(t)$ , for them correlations are derived from **Samarskiy-Mikhailov** model, where an intensive advertising campaign is presented as  $\alpha_i N_{j0}(t)$ , where  $i = 3, 5, 7$ ,  $j = 1, 2$ , and the intensity of the dissemination of information by the adept is assessed as  $\alpha_k N_{ls}(t)$ , where  $k = 4, 6, 8, 10$ ,  $l, s = 1, 2$ . As a result we get the integrated mathematical model information warfare with restrictions:

$$\left\{ \begin{array}{l}
\frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha_1 N_{10}(t) \left( 1 - \frac{N_{10}(t)}{I_1} \right) - \beta_1 N_3(t), \\
\frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha_2 N_{20}(t) \left( 1 - \frac{N_{20}(t)}{I_2} \right) - \beta_2 N_3(t), \\
\frac{d}{dt} N_3(t) = (\gamma_1 N_{10}(t) + \gamma_2 N_{20}(t)) \left( 1 - \frac{N_3(t)}{I_3} \right), \\
\frac{dx_1(t)}{dt} = (\alpha_3 N_{10}(t) + \alpha_4 N_{11}(t) x_1(t)) (x_p - x_1(t)), \\
\frac{dx_2(t)}{dt} = (\alpha_5 N_{20}(t) + \alpha_6 N_{12}(t) x_2(t)) (x_p - x_2(t)), \\
\frac{dy_1(t)}{dt} = (\alpha_7 N_{10}(t) + \alpha_8 N_{21}(t) y_1(t)) (y_p - y_1(t)), \\
\frac{dy_2(t)}{dt} = (\alpha_9 N_{20}(t) + \alpha_{10} N_{22}(t) y_2(t)) (y_p - y_2(t)), \\
\frac{dN_{11}(t)}{dt} = \alpha_{11} N_{11}(t) (x_p - x_1(t)) x_1(t) + \alpha_{12} N_{10}(t) (I_4 - N_{11}(t)), \\
\frac{dN_{12}(t)}{dt} = \alpha_{13} N_{12}(t) (x_p - x_2(t)) x_2(t) + \alpha_{14} N_{20}(t) (I_5 - N_{12}(t)), \\
\frac{dN_{21}(t)}{dt} = \alpha_{15} N_{21}(t) (y_p - y_1(t)) y_1(t) + \alpha_{16} N_{10}(t) (I_6 - N_{21}(t)), \\
\frac{dN_{22}(t)}{dt} = \alpha_{17} N_{22}(t) (y_p - y_2(t)) y_2(t) + \alpha_{18} N_{20}(t) (I_7 - N_{22}(t)).
\end{array} \right. \quad (3.5)$$

With initial conditions:

$$\left\{ \begin{array}{l}
N_{10}(0) = n_{10}, \quad N_{20}(0) = n_{20}, \quad N_3(0) = n_{30} \\
N_{11}, \quad N_{12}, \quad N_{21}, \quad N_{22} = 0, \\
x_1(0), \quad x_2(0), \quad y_1(0), \quad y_2(0) = 0.
\end{array} \right. \quad (3.6)$$

Thus, we have acquired an integrated mathematical model of information warfare with restrictions, which is described by the ordinary differential equation system (3.5), in which there are eleven functional searches and eleven initial conditions (3.6). Note that in (3.5), (3.6) – Cauchy task, right side of (3.5)

system have features and it give us the basis to conclude that this Cauchy task has the one solution for the time segment  $t \in [0; +\infty)$ .

Thus the number of useful information for the first party  $N_1(t)$  is the sum of the “official” information of the first party, information of first side’s adepts in the first party population and information spread by adepts in the second party’s population which is beneficial for the first party –

$$N_1(t) = N_{10}(t) + N_{11}(t) + N_{21}(t). \quad (3.7)$$

And the number of useful information for the second party -  $N_2(t)$ , represents the following sum:

$$N_2(t) = N_{20}(t) + N_{12}(t) + N_{22}(t). \quad (3.8)$$

Third side impacts are clearly demonstrated in  $N_{10}(t)$ ,  $N_{20}(t)$  information flows and by their means this impact is realized in  $N_{11}(t)$ ,  $N_{12}(t)$ ,  $N_{21}(t)$ ,  $N_{22}(t)$  flows. So, it is natural to raise the question – whether it is possible to put out information warfare with the activity of the third side, at any point in time, in different moments,  $N_1(t)$ ,  $N_2(t)$  to become zero:

$$N_1(t^*) = 0, \quad N_2(t^{**}) = 0. \quad (3.9)$$

Let’s call (3.5), (3.6), (3.9) boundary task the Chalker type task, because conditions for the right side are specific, in particular,  $N_1(t)$ ,  $N_2(t)$  functions cross zero generally in different conditions and also these times are not fixed. In model (3.5), (3.6), in the information flow, spread by adepts, participating in the “official” information streams of opposing sides. It not happens on the contrary, but it is possible. That’s why it’s natural, in speed correlations of information spread by the adepts  $N_{11}(t)$ ,  $N_{12}(t)$ ,  $N_{21}(t)$ ,  $N_{22}(t)$  were involved  $N_{10}(t)$ ,  $N_{20}(t)$  of information streams. This case in considered other models.

**Integrated mathematical and computer models of the Information Warfare for ignoring opponent.** Let’s consider the model task of Integrated mathematical and computer models of the Information Warfare, in other words, let’s consider the simplest case of the model. For this, for information flows we need to take the ignorance model of the enemy:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha_1 N_{10}(t) - \beta_1 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha_2 N_{20}(t) - \beta_2 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_3(t) = \gamma_1 N_{10}(t) + \gamma_2 N_{20}(t). \end{cases} \quad (4.1)$$

With (3.2) initial conditions. In the model of Samarskiy-Mikhailov, let's represent a linear form for the activity of parties and adepts. In addition we are only considering  $x_1(t), y_2(t)$  adepts, who are only involved in correlations of disseminated information by  $N_{10}(t), N_{20}(t)$ - sides. Let's say, that  $x_1(t) = x(t), y_2(t) = y(t)$ . As a result we will get an integrated mathematical model of information warfare, which was formed at Sokhumi State University, faculty of Mathematics and Computer Sciences, after discussion with Professor **T. Chilachava** in spring 2017 and which has the form:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha_1 N_{10}(t) + \nu_1 x(t) - \beta_1 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha_2 N_{20}(t) + \nu_2 y(t) - \beta_2 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_3(t) = \gamma_1 N_{10}(t) + \gamma_2 N_{20}(t), \\ \frac{dx(t)}{dt} = (\alpha_3 + \gamma_3 x(t))(x_p - x(t)), \\ \frac{dy(t)}{dt} = (\alpha_4 + \gamma_4 y(t))(y_p - y(t)). \end{cases} \quad (4.2)$$

With initial conditions:

$$\begin{cases} N_{10}(0) = n_{10}, & N_{20}(0) = n_{20}, & N_3(0) = n_{30}, \\ x(0) = y(0) = 0. \end{cases} \quad (4.3)$$

If we say that,  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$ ,  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ ,  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$ ,  $\alpha_3 = \alpha_4 = \delta$ ,

$$\nu_1 = \nu_2 = \nu.$$

Then (4.2) will get the form:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha N_{10}(t) + \nu x(t) - \beta N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha N_{20}(t) + \nu y(t) - \beta N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_3(t) = \gamma N_{10}(t) + \gamma N_{20}(t), \\ \frac{dx(t)}{dt} = (\delta + \mu x(t))(x_p - x(t)), \\ \frac{dy(t)}{dt} = (\delta + \mu y(t))(y_p - y(t)). \end{array} \right. \quad (4.4)$$

Initial conditions are given in (4.3). There are five unknown functions in the system (4.4), but the last two equations of this system, which results from **Samarskiy-Mikhailov** model, will be analytically solved, when the equation in the second string of (4.3) is completed for the initial conditions, as a result we have:

$$x(t) = \frac{\delta x_p \left[ \exp\left((\delta + \mu x_p)t\right) - 1 \right]}{\delta \exp\left((\delta + \mu x_p)t\right) + \mu x_p}, \quad (4.5)$$

$$y(t) = \frac{\delta y_p \left[ \exp\left((\delta + \mu y_p)t\right) - 1 \right]}{\delta \exp\left((\delta + \mu y_p)t\right) + \mu y_p}, \quad (4.6)$$

By adding (4.4) into two equations, (4.5) and (4.6), we get a system with three equations:

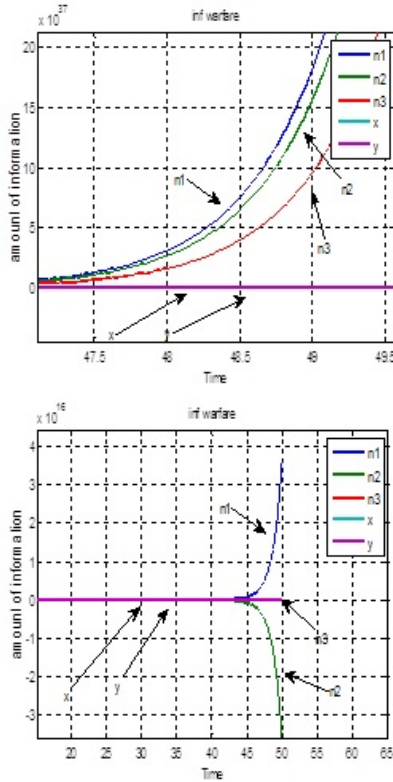
$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha N_{10}(t) + \nu x(t) - \beta N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha N_{20}(t) + \nu y(t) - \beta N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_3(t) = \gamma N_{10}(t) + \gamma N_{20}(t). \end{array} \right. \quad (4.7)$$

with initial conditions:

$$N_{10}(0) = n_{10}, \quad N_{20}(0) = n_{20}, \quad N_3(0) = n_{30}, \quad (4.8)$$

Notice, that it is possible to find analytical solutions of the **Cauchy** task, because with transformations in (4.7) we will get a linear no homogeneous ordinary differential equation of the second order with constant coefficients to-

wards  $N_3(t)$ , and placing the solution system (4.7) - homogeneous ordinary differential equation of first order with constant coefficient towards  $N_{10}(t)$ ,  $N_{20}(t)$ . But after adding the **Cauchy** task (4.7), (4.8) conditions to the right end:



**Fig.1** The parties involved in the information warfare, when  $D > 0$  (a) and when  $D = 0$  (b)

$$N_{10}(t^*) = 0, N_{20}(t^{**}) = 0. \quad (4.9)$$

Where  $t^*$ ,  $t^{**}$  are non-fixed, in general, different time moments on time  $[0, T > 0]$  period, we will get a **Chilker** type task, which we will investigate via computer modeling and we will conduct a computer experiments. Let's say that we have initial conditions:

$$\begin{cases} N_{10}(0) = 0.1, & N_{20}(0) = 0.001, & N_3(0) = 3, \\ x(0) = y(0) = 0. \end{cases} \quad (4.10)$$



Possibility of solving **Chilker** type (4.7)-(4.7) task, according to computer experiments, depends on the aggressiveness of sides, in particular on  $D = \alpha^2 - 8\beta\gamma$ . For example, if the aggression of antagonistic sides is large, which cause  $D$  to be nonnegative:  $D \geq 0$ , then there is no solution to the **Chilker** type problem, which means that the third side cannot stop the information warfare by its actions. For example, if  $\alpha = 1,8$ ;  $\beta = 0,05$ ;  $\nu = 0,05$ ;  $\gamma = 0,05$ ;  $\delta = 0,3$ ;  $\mu = 0,2$ ;  $x_p = 155$ ;  $y_p = 150$ ; which means that  $D = 3,04$ , as we see on Fig.1\_a, both antagonist forces strengthen the information warfare and third party's impact on them is unsuccessful. In the conditions of high aggression by the parties, if  $D = 0$ , what happens for this meaning of parameters:  $\alpha = 0,08$ ;  $\beta = 0,08$ ;  $\nu = 0,05$ ;  $\gamma = 1$ ;  $\delta = 0,3$ ;  $\mu = 0,2$ ;  $x_p = 155$ ;  $y_p = 150$ ; then it is possible for one side to go to zero and third party can influence one of the antagonistic sides. See Fig. 1\_b. As for the case of low aggression, when  $D < 0$ , in particular for parameters:  $\alpha = 0,08$ ;  $\beta = 0,5$ ;  $\nu = 0,05$ ;  $\gamma = 1$ ;  $\delta = 0,3$ ;  $\mu = 0,2$ ;  $x_p = 155$ ;  $y_p = 150$ ; then third party impacts are effective on antagonistic sides, they go to zero, which means that the Chilker type problem has a solution.

Based on analysis of results of computer experiments, we can conclude, that solution behavior of integrated mathematical model of ignoring the enemy is similar to relevant non integrated mathematical model solutions [5], [17], in particular, dependence of solutions on  $D$  -on the level of aggressiveness of parties. At the same time, it should be noted that the number of adepts in the model has made some corrections, for example, under conditions of low aggression,  $D$  is negative and increases in module, then for little time value the antagonistic side for parameters  $\alpha = 0,08$ ;  $\beta = 15$ ;  $\nu = 0,05$ ;  $\gamma = 3,5$ ;  $\delta = 0,3$ ;  $\mu = 0,2$ ;  $x_p = 155$ ;  $y_p = 150$ ,  $D = -419,9$ , go to zero, see Fig. 2\_a. but, for big  $t$ , one of the antagonistic sides (depends on correlations of the initial values of the parties) doesn't go to zero, see Fig. 2\_b.

The computer experiment was also conducted (4.7)-(4.7) in the general case of the **Chilker** type problem. In particular, when the antagonistic parties have different aggressiveness  $(\alpha_1, \alpha_2)$  and peace readiness  $(\beta_1, \beta_2)$  indicators, also different values of peacekeeping activity towards the parties  $(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ , in the equations of adept's quantity the number of information streams of relevant opposing parties is included:

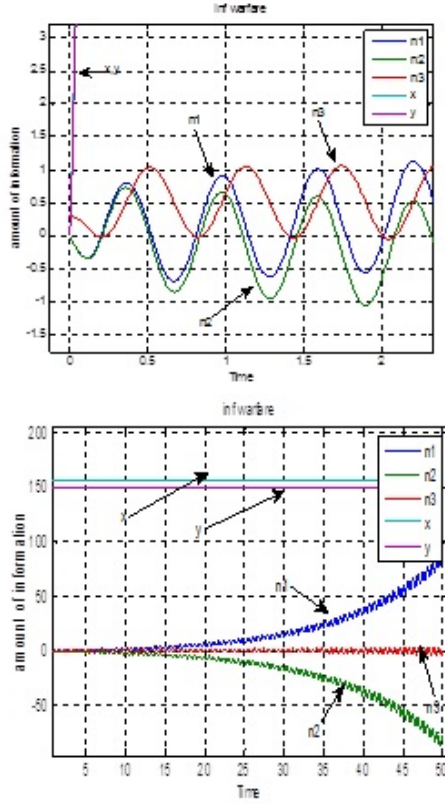


Fig.2 The parties involved in the information warfare, when  $D < 0$ , for a small (a) and larger (b) Time for values

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} N_{10}(t) = \alpha_1 N_{10}(t) + v_1 x(t) - \beta_1 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_{20}(t) = \alpha_2 N_{20}(t) + v_2 y(t) - \beta_2 N_3(t), \\ \frac{d}{dt} N_3(t) = \gamma_1 N_{10}(t) + \gamma_2 N_{20}(t) + \gamma_3 N_3(t), \\ \frac{dx(t)}{dt} = (\alpha_3 N_{10}(t) + \gamma_4 x(t))(x_p - x(t)), \\ \frac{dy(t)}{dt} = (\alpha_4 N_{20}(t) + \gamma_5 y(t))(y_p - y(t)). \end{array} \right. \quad (4.11)$$

The computer experiment was conducted for the system (4.11) with different initial conditions (4.10) and parameters. We can conclude from the results obtained, that the relevant Chalker type task - (4.11), (4.6), (4.9) has a solu-

tion, in case of high peace readiness and activity. In particular, if we have the data of parameters, where aggressiveness prevails over peace readiness and activity:  $\alpha_1 = 4,8$ ;  $\beta_1 = ,5$ ;  $\nu_1 = 1,5$ ;  $\alpha_2 = 5,6$ ;  $\beta_2 = ,7$ ;  $\gamma_1 = ,05$ ;  $\gamma_2 = ,3$ ;  $\gamma_3 = ,07$ ;  $x_p = 155$ ;  $y_p = 150$ ;  $\alpha_3 = 2,3$ ;  $\alpha_4 = 2,2$ ;  $\gamma_4 = ,2$ ;  $\gamma_5 = ,3$ , then the antagonistic parties develop information warfare and the third party's impact is unsuccessful, see Fig. 3\_a, which is derived for initial conditions -

$$\begin{cases} N_{10}(0) = 0.2, & N_{20}(0) = 0.01, & N_3(0) = .03, \\ x(0) = y(0) = 0. \end{cases} \quad (4.12)$$

The **Chilker** type problem (4.11), (4.6), (4.9) has a solution when the aggressiveness of opposing parties is relatively low, for example, for parameters:  $\alpha_1 = ,08$ ;  $\beta_1 = 1,5$ ;  $\nu_1 = ,05$ ;  $\alpha_2 = ,06$ ;  $\beta_2 = 1,7$ ;  $\gamma_1 = ,05$ ;  $\gamma_2 = ,03$ ;  $\gamma_3 = ,07$ ;  $x_p = 155$ ;  $y_p = 150$ ;  $\alpha_3 = ,3$ ;  $\alpha_4 = ,2$ ;  $\gamma_4 = ,2$ ;  $\gamma_5 = ,3$ , see Fig. 3\_b.

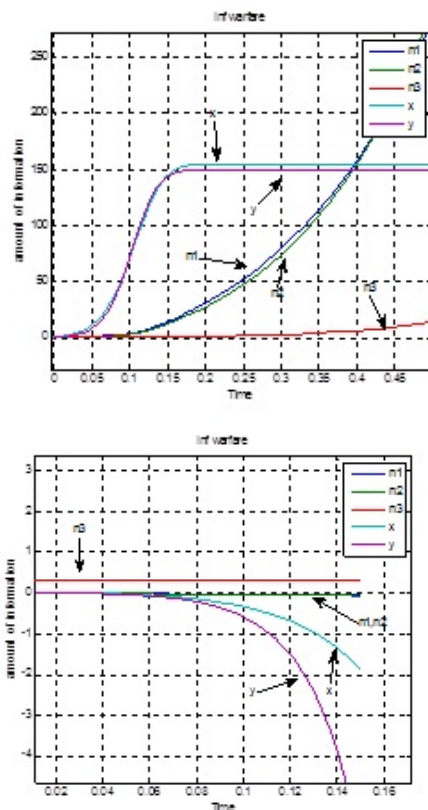


Fig.3 The parties involved in the information warfare for Chilker type task - (4.11), (4.12), (4.9), with high (a) and low (b) aggression

Computer experiments were conducted in the Mat Lab environment, m-file were created, one of the code is presented in Listing.

Listing. sawy\_gae1.m-file

```
%integrirebuli_ignorir_uSvebs povnas
[T,Y]=ode15s(@GAE1,[0,0.15],[0.002 .001 .3 0 0]);
plot(T,Y,'linewidth',2)
title('inf warfare')
xlabel('Time')
ylabel('amount of information')
legend('n1','n2','n3','x','y')
grid on
%Integrirebuli MMIW_ode-s marjvena mxareebi
function dxdt=GAE1(t,x)
dxdt=zeros(5,1); a1=.08; a2=.05; b1=1.5; a21=.06; a22=.03; b2=1.7;
p4=155; p5=150; g1=.05; g2=.03; g3=.07; a3=.3; m1=.2; a4=.2; m2=.3;
dxdt(1)=a1*x(1)+a2*x(4)-b1*x(3);
dxdt(2)=a21*x(2)+a22*x(5)-b2*x(3);
dxdt(3)=g1*x(1)+g2*x(2)+g3*x(3);
dxdt(4)=(a3*x(1)+m1*x(4))*(p4-x(4));
dxdt(5)=(a4*x(2)+m2*x(5))*(p5-x(5));
end
```

**Conclusion.** In the present work there is offered integrated mathematical and computer models of information warfare in which independently expressed approaches till now are reflected. In particular, academician **A.A. Samarskiy** and his coauthor's, Professor **A.P. Mikhailov's** advertising campaign and professor **T. Chilachava's** tree sides information stream (flow) models are united. It provides new general linear model of information warfare; model with restrictions on information technologies, private and advanced integrated mathematical and computer models of ignore enemy. For last two models, computer experiments have been conducted, which helped to identify solving possibility of **Chilker** type task for information warfare.

**Gratitude.** I would to thank the Vice-President of the Academy of Sciences of Tskhum-Abkhazia, Sukhumi State university's faculty of applied mathematics and computer science, Professor in direction of mathematical modeling T. Chilachava, for held discussion about information warfare's integrated models and useful advices, which significantly helped research in the direction. I would like to thank the Caucasian mathematicians' second (22-24.08.2017) and Georgian mathematician union's eighth (04-08.09.2017) international scientific

conference organizing team members, who gave me the possibility to present to these scientific forums some results of the scientific work.

## REFERENCES:

1. Kereselidze N. Mathematical modeling of information warfare. Monogram. (In Georgian). National Parliamentary Library of Georgia ISBN: 978-9941-0-4892-0. 2012 year 176 p.  
<http://kereseli.besaba.com/monografia%20formatizaziiT.pdf>.
2. Chilachava T., Kereselidze N. Mathematical Model of Information Warfare. (In Georgian). Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and Telecommunications. 2010, no. 1 (24). p. 78-105.
3. Chilachava T., Kereselidze N. About one mathematical model of the information warfare. Fifth congress of mathematicians of Georgia. Abstracts of contributed talks. Batumi/Kutaisi, 9-12 October. 2009. p. 85.
4. Chilachava T., Kereselidze N. Non-preventive continuous linear mathematical model of information warfare. Sokhumi State University Proceedings, Mathematics and Computer Sciences vol. 7. 2009, № 7. p.91-112.
5. Chilachava T., Kereselidze N. Continuous linear mathematical model of preventive information warfare. Sokhumi State University Proceedings, Mathematics and Computer Sciences vol. 7. 2009, № 7. p. 113-141.
6. Kereselidze N. Mathematical model of information warfare taking into account the capabilities of the information technologies of the opposing sides. (In Russian). Transactions II The International Technical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Georgian Technical University "Basic Paradigms in Science and Technology", 21st Century, Tbilisi, Georgia, September 19-21, 2012. Publishing House "Technical University", Tbilisi, 2012, p. 188-190.
7. Kereselidze N. Mathematical model of information confrontation taking into account the possibilities of Information Technologies of the parties. (In Russian). // Proceedings of the XX International Conference Problems of Security Management of Complex Systems. Moscow, December 2012, art.175-178.
8. Kereselidze N. Mathematical and computer models of information warfare. Monograph. (In Georgian). ISBN 978-9941-0-9617-4 (PDF). 2017. [http://kereseli.besaba.com/Math\\_and\\_comp\\_models\\_IW\\_monograph\\_2017.pdf](http://kereseli.besaba.com/Math_and_comp_models_IW_monograph_2017.pdf)
9. Chilachava T., Chakhvadze A. Continuous Nonlinear mathematical and computer model of information warfare with participation of interstate authorit-

- ative institutes. Georgian Electronic Scientific Journal: Computer Science and Telecommunications 2014| No. 4(44), p.53-74.
10. Chilachava T., Chakhvadze A. Non linear Mathematical and Computer Models of Information Warfare with Participation of Autoritative Interstate Institutes. Book of abstracts V Annual International Conference of the Georgian Mathematical Union, Batumi, September 8-12, 2014. p.76.
  11. Samarskiy AA, Mikhailov AP Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples. 2nd ed. Correction. - M. FIZMATLIT. 2005. p.320.
  12. Marevtseva N.A. Mathematical models of information attack and information confrontation. Jour. Sociology. No. 3. 2011 p.26-35.
  13. Mikhailov A.P., Izmodenova K.V. On optimal control in the mathematical model of information dissemination. (In Russian). Proceedings of the seminar "Mathematical modeling of social processes", compilation, issue. 6. Moscow: MAX Press, 2004.
  14. Marevtseva N.A. The simplest mathematical models of information confrontation. (In Russian). / Series "Mathematical Modeling and Modern Information Technologies", no. 8. // Collection of works of All-Russian scientific youth schools. Rostov-on-Don, the publishing house of the Southern Federal University. 2009. p.354-363.
  15. Mikhailov A.P., Marevtseva N.A. Models of information struggle. (In Russian). // Math modeling. 2011. p.23. № 10. p.19-32.
  16. Mikhailov A.P., Petrov A.P., Proncheva O.G., Marevtseva N.A. Mathematical modeling of information confrontation in society. (In Russian). International Economic Symposium 2015. Materials of the International scientific conferences devoted to the 75th anniversary of the Faculty of Economics of the St. Petersburg State University: a collection of articles. Sheaf Ed. S.A. Belozеров, ООО "Scythia-print", St. Petersburg, 2015. S. 293-303. URL: [http://econ-conf.spbu.ru/files/Symposium\\_Sbornik\\_Statey.pdf](http://econ-conf.spbu.ru/files/Symposium_Sbornik_Statey.pdf).
  17. Mikhailov A.P., Petrov A.P., Proncheva O.G., Marevtseva N.A. Mathematical Modeling of Information Warfare in a Society // Mediterranean Journal of Social Sciences. Vol.6. No.5. S2. pp.27–35. doi:10.5901/mjss.2015.v6n5s2p27.

## ნუზხარ კერძეული

### ინფორმაციული ომის გაერთიანებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელები

**ანოტაცია.** წინამდებარე ნაშრომში განხილულია ინფორმაციული ომის დღემდე არსებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელები, მოყვანილია მათი კლასიფიკაცია. კერძოდ ინფორმაციული ომის მოდელებში ხდება ან ინფორმაციის გავრცელების შესწავლა - ანუ გავრცელებული ინფორმაციის მიმდებთა (ადეპტების) რაოდენობა, ანაც გავრცელებული ინფორმაციული ნაკადების რაოდენობის შესწავლა. პირველი მიმართულება - ადეპტების მოდელების მიმართულება სათავეს იღებს **აკადემიკოს ა.ა. სამარსკისა და პროფესორ ა.პ. მიხაილოვის** ნაშრომიდან (1997 წ.) და ამ მოდელებს **სამარსკი-მიხაილოვის მოდელები** ვუწოდეთ. მეორე მიმართულება - ინფორმაციული ნაკადების მოდელები, ეფუძნება **პროფესორ თ. ჩილაჩავას** იდეას, რომლის თანახმადაც ორ დაპირისპირებულ მხარეებთან ერთად, რომლებიც ურთიერთსაწინააღმდეგო ინფორმაციას ავრცელებენ, განიხილება მესამე - მშვიდობისმყოფელი მხარე, რომელიც დაპირისპირებულ მხარეებს მოუწოდებს ინფორმაციული ომის შეწყვეტისაკენ. ინფორმაციული ნაკადების მოდელირებაში პირველი ნაშრომები **პროფესორ თ. ჩილაჩავას** და **ნ. კერესელიძის** თანაავტორობით 2009 წელს გამოქვეყნდნენ.

წარმოდგენილ ნაშრომში აღნიშნულია, რომ ინფორმაციულ ომის დღემდე არსებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელები ცალმხრივად აღწერენ ინფორმაციული ომის პროცესს. კერძოდ **სამარსკი-მიხაილოვის** ტიპის მოდელებში აღიწერება ადეპტების რაოდენობა, მაგრამ არაა ცხადი სახით ჩართული ინფორმაციული ნაკადები, რომლის გავრცელების შედეგად წარმოიქმნებიან ადეპტები. ინფორმაციული ნაკადების მოდელებში კი არაა აღწერილი ადეპტები, რომლის წარმოშობის მიზანსაც წარმოადგენს ინფორმაციული ნაკადების გავრცელება.

წინამდებარე ნაშრომში შემოთავაზებულია იდეთი ტიპის ინფორმაციული ომის გაერთიანებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელები, რომლებშიც დაძლეულია ზემოთ აღნიშნული ცალმხრივობა. შემოთავაზებულია ინფორმაციული ომის რამდენიმე გაერთიანებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელი, რომელშიც თანაბრად აღწერილი რგორც ინფორმაციული ნაკადები, ასევე ინფორმაციული ადეპტები. დასმულია **ჩილაჩავასის** ტიპის ამო-

ცანა. შესწავლილია ინფორმაციული ომის გაერთიანებული მათემატიკური და კომპიუტერული სამოდულო ამოცანა. დადგენილია მოდელების ამოხსნადობის პირობები. შედგენილია პროგრამული კოდი **Matlab**-ის გარემოში, ჩატარებულია კომპიუტერული ექსპერიმენტი, მოცემულია შედეგების ვიზუალიზაცია და მოყვანილია ამ შედეგების ანალიზი.



## ინება ბაბისონია

### ფურიეს მწკრივების ჰარდის მეთოდით შეჯამებადობის საკითხის შესახებ

ვთქვათ,  $f(x)$  ფუნქცია  $2\pi$ -პერიოდული ჯამებადი ფუნქციაა, ხოლო  $S_n(f; x)$ - მისი ფურიეს მწკრივის  $n$ -ე კერძო ჯამია.  $f(x)$  ფუნქციის ფურიე მწკრივს ეწოდება  $(H, q)$ - შეჯამებადს ანუ შეჯამებადს ჰარდის მეთოდით  $x$  წერტილში  $f(x)$ -საკენ, თუ სრულდება შემდეგი ტოლობა

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_{\nu=0}^n |S_\nu(f; x) - f(x)|^q = 0, \quad (q > 0) \quad (1)$$

ეს განმარტება შემოტანილ იქნა ჰარდი და ლიტლეუდის მიერ [1]. (გვ. 1307-1309).

$(H, 1)$ - შეჯამებადობას აგრეთვე უწოდებენ ძლიერ შეჯამებადობას, ხოლო  $(H, q)$ - შეჯამებადობას - ძლიერ შეჯამებადობას  $q$  მანვენებით.

ვთქვათ,  $L^p$  ( $p \geq 1$ ) - აღნიშნავს  $f(x)$  ფუნქციათა კლასს, რომელთათვისაც  $|f(t)|^p$  ჯამებადია;  $x$  წერტილს უწოდებენ  $p$ -ური რიგის ლებეგის წერტილს  $f(t)$  ფუნქციისათვის, თუ სრულდება ტოლობა:

$$\int_0^h |f(x \pm t) - f(x)|^p dt = o(h) \quad (2)$$

თუ (2) ტოლობა სრულდება, როცა  $p=1$ , მაშინ  $x$  წერტილს უწოდებენ ლებეგის წერტილს. ცნობილია [2] (გვ. 893), რომ თუ  $f(t) \in L^p$  ( $p \geq 1$ ), მაშინ  $[0, 2\pi]$  სეგმენტის თითქმის ყველა წერტილი  $p$ -ური რიგის ლებეგის წერტილი იქნება.

ჰარდიმ და ლიტლეუდმა [2] (გვ. 488), [3] (გვ.273), აჩვენეს, რომ თუ  $f(t) \in L^p$  ( $p > 1$ ) მაშინ ადგილი აქვს  $(H, q)$ -შეჯამებადობას ყოველი  $q$  ( $q > 0$ )-თვის  $p$ -ური რიგის ყველა ლებეგის წერტილში, ე.ი. თითქმის ყველგან. მათ აგრეთვე აჩვენეს, რომ არსებობს ლებეგის წერტილში ჯამებადი  $f(t)$  ფუნქცია, რომლის ფურიეს

ჯამი შეიძლება არ იყოს  $(H, q)$  შეჯამებადი არც ერთი  $q$  ( $q > 0$ ) -თვის [4] (გვ.162-189).

ჰარდი და ლიტლვუდმა დასვეს ამოცანა [4] (გვ.162-189), შესრულება თუ არა (1) ტოლობა თითქმის ყველგან, როცა  $f \in L^1$  ეს ამოცანა, როცა  $q = 2$ , დადებითად გადაწყვიტა მარცინკევიჩმა [3] (გვ.489). უფრო გვიან, ზიგმუნდმა [4] (გვ. 275-281) ეს პრობლემა გადაწყვიტა ნებისმიერი  $q > 0$  -თვის. მაგრამ ფურიეს მწკრივების  $(H, q)$  -შეჯამებადობის წერტილების აღწერის საკითხი, როცა  $f \in L^1$  ღიად რჩებოდა. 1973 წელს ო. გაბისონიას მიერ იქნა მოცემული ფურიეს მწკრივების  $(H, 2)$  - შეჯამებადობის წერტილების დახასიათების საკითხი, როცა  $f \in L^1$  [5] (გვ.615-626); კერძოდ მის მიერ იყო ნაჩვენები, რომ ყოველი ჯამებადი  $f(t)$  ფუნქციისათვის ფურიეს მწკრივის  $(H, 2)$  - შეჯამებადობას ადგილი აქვს ყველა  $x$  წერტილში, სადაც სრულდება ტოლობა:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{\nu=1}^{[2m]} \left\{ \frac{n}{\nu} \int_{(\nu-1)n^{-1}}^{m^{-1}} (|f(x+t) - f(x)| + |f(x-t) - f(x)|) dt \right\}^\gamma = 0 \quad (\gamma = 2) \quad (3)$$

სადაც  $[z]$  - აღნიშნავს  $z$  რიცხვის მთელ ნაწილს.

ამავე ნაშრომში იყო დადგენილი, რომ (3) ტოლობა სრულდება თითქმის ყველგან ყოველი  $f(t)$  - ჯამებადი ფუნქციისათვის, როცა  $\gamma > 1$ .

უფრო გვიან ი. ნოვიკოვა და ვ. როდინმა აჩვენეს ([6], გვ. 58-62), რომ  $(H, q)$  - შეჯამებადობას ადგილი აქვს  $x$  წერტილებში, სადაც (3) სრულდება, როცა  $1 < \gamma = p < 2$  ( $p + q = pq$ ).

(3) ტოლობა შეიძლება გადავწეროთ ექვივალენტური ფორმით

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{\nu=1}^{[2m]} \left\{ \frac{n}{\nu} \int_{(\nu-1)n^{-1}}^{m^{-1}} |f(x \pm t) - f(x)| dt \right\}^\gamma = 0 \quad (4)$$

აწ

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{|\nu| < 2m} \left\{ \frac{n}{|\nu| + 1} \int_{(\nu-1)n^{-1}}^{m^{-1}} |f(x+t) - f(x)| dt \right\}^\gamma = 0 \quad (5)$$

ფორმით. ცნობილია [3] (გვ. 488), რომ  $(H, q)$  - შეჯამებადობიდან გამომდინარეობს  $(H, q')$  - შეჯამებადობა, როცა  $0 < q' < q$ , ამიტომ საკმარისია გამოვიკვლიოთ  $(H, q)$  დიდი  $q$ -თვის.

მოცემულ ნაშრომში ზემოთ მოყვანილი შედეგები გაძლიერებულია ფურიეს ჯამების  $f(x)$  ჯამებადი ფუნქციისაგან გარკვეული აზრით გადახრის შეფასებით, ანუ იმ ჯამების შეფასებით, რომლებიც  $(H, q)$  - შეჯამებადობის განსაზღვრებაში მონაწილეობენ.

შემდგომში, ჩვენ ყოველთვის ჩავთვლით, რომ  $f(t)$  ფუნქცია  $2\pi$ -პერიოდულია. აღვნიშნოთ,

$$\Gamma_n(f; x, p) = \left\{ \sum_k \left( \frac{n+1}{|k|+1} \int_{\Delta_k^{(n)}} |f(x+t) - f(x)| dt \right)^p \right\}^{\frac{1}{p}}, \quad (6)$$

სადაც

$$\Delta_k^{(n)} = \left[ \frac{\pi k}{n+1}, \frac{\pi(k+1)}{n+1} \right] \cap [-\pi, \pi].$$

ცხადია,  $\Delta_k^{(n)} \neq \emptyset$  მხოლოდ, როცა  $-(n+1) \leq k \leq n$ , ამიტომ ქვემოთ

მოყვანილ ჯამებში  $k$  ყოველთვის მოექცევა ამ საზღვრებში.

მოვიყვანოთ (6) გამოსახულების ზოგიერთი თვისება.

თვისება 1. თუ  $f(t)$  - ჯამებადი ფუნქციაა, მაშინ

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \Gamma_n(f; x, p) = 0 \quad (p > 1) \quad (7)$$

თითქმის ყველგან  $[-\pi, \pi]$ -ზე.

ამ თვისების დამტკიცება მოყვანილია [5] (გვ. 616-622) ნაშრომში.

თვისება 2. თუ  $f(t)$  - უწყვეტი ფუნქციაა  $\omega(f; \delta)$  უწყვეტობის მოდულით, მაშინ

$$\Gamma_n(f; x, p) \leq 2\pi c_p \omega \left( f; \frac{1}{\sqrt[n]{n+1}} \right), \quad \left( c_p = \left\{ \sum_k \frac{1}{(|k|+1)^p} \right\}^{\frac{1}{p}}, p+q = pq, p > 1 \right). \quad (8)$$

თვისება 3. თუ  $f(x) \in Lip_M \alpha \left( 0 \leq \alpha < \frac{1}{q} \right)$ , მაშინ

$$\Gamma_n(f; x, p) < \frac{MC_{(1-\alpha)p}}{(n+1)^\alpha} = O\left(\frac{1}{(n+1)^\alpha}\right). \quad (9)$$

თვისება 4. თუ  $f(t) \in L^p (p > 1)$  ფუნქციაა, მაშინ (7) ტოლობა სრულდება  $p$ -ური რიგის ლებეგის ყველა წერტილში.

თეორემა 1. ყოველი  $\Delta = [-\pi, \pi]$  -ზე ჯამებადი  $2\pi$ -პერიოდული ფუნქციისათვის გვაქვს:

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n |f(x) - s_k(f; x)|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \leq 4e^\pi \Gamma_n(f; x, p), \quad (q \geq 2, p+q = pq) \quad (10)$$

ვთქვათ,

$$\tilde{f}_{\frac{1}{n}}(x) = -\frac{1}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{n+1}}^{\pi} \frac{f(x+t) - f(x-t)}{tg \frac{t}{2}} dt, \quad \tilde{f}_0(x) = \tilde{f}(x).$$

ხოლო  $\tilde{s}_n(f; x) - f(x)$  ფუნქციის ფურიეს მწკრივის ტრიგონომეტრიულად შეუღლებული მწკრივის კერძო ჯამია. ცნობილია, რომ  $\tilde{f}(x)$  ფუნქცია არსებობს თითქმის ყველგან ყოველი ჯამებადი  $f(x)$  ფუნქციისათვის.

თეორემა 2. თუ  $f(x)$  - ჯამებადი ფუნქციაა, მაშინ როცა  $q \geq 2$ , გვაქვს

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{k=1}^n \left| \tilde{f}_{\frac{1}{n}}(x) - \tilde{s}_k(f; x) \right|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \leq 12e^\pi \Gamma_n(f; x, p), \quad (p+q = pq) \quad (11)$$

თეორემა 1, თეორემა 2 და  $\Gamma_n(f; x, p)$  სიდიდის ზემოთ მოყვანილი თვისებებიდან მივიღებთ:

შედეგი 1. თუ  $f(x)$  - ჯამებადი ფუნქციაა, მაშინ, როცა  $p > 1$   $p+q = pq, q \geq p$  ადგილი აქვთ ტოლობებს:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n |f(x) - s_k(f; x)|^q = 0, \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left| \tilde{f}_{\frac{1}{n}}(x) - \tilde{s}_k(f; x) \right|^q = 0 \quad (12)$$

ყველა წერტილში, სადაც სრულდება (7); ე.ი. თითქმის ყველგან.

შედეგი 2. ყოველი  $f(x)$  ჯამებადი ფუნქციისათვის, როცა  $p > 1$

$$p + q = pq, \quad q \geq p \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n |\tilde{f}(x) - \tilde{s}_k(f; x)|^q = 0 \quad \text{ყველა } x \text{ წერტილში,}$$

სადაც არსებობს  $\tilde{f}(x)$  და სრულდება (7), ე.ი. თითქმის ყველგან [6] (გვ.663).

შედეგი 3. თუ  $f(t)$  უწყვეტი ფუნქციაა  $L^p (p > 1)$  კლასიდან, მაშინ, როცა  $p + q = pq, q \geq p$ , ადგილი აქვს (51) ტოლობებს  $p$ -ური რიგის ლებეგის ყველა წერტილში.

შედეგი 4. თუ  $f(t)$  უწყვეტი ფუნქციაა  $\omega(f, \delta)$  უწყვეტობის მოდულით, მაშინ როცა  $p + q = pq, p > 1 < q \geq p$ , გვაქვს:

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n |f(x) - s_k(f; x)|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \leq 8\pi e^\pi c_p \omega\left(f; \frac{1}{\sqrt[n]{n+1}}\right),$$

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{k=1}^n \left| \tilde{f}_{\frac{1}{n}}(x) - \tilde{s}_k(f; x) \right|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \leq 24\pi e^\pi c_p \omega\left(f; \frac{1}{\sqrt[n]{n+1}}\right).$$

შედეგი 5. თუ  $f(x) \in Lip_M \alpha \left(0 \leq \alpha < \frac{1}{q}\right)$ , მაშინ, როცა  $p > 1$ ,

$p + q = pq, q \geq p$ , გვაქვს

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{k=0}^n |f(x) - s_k(f; x)|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \leq 4e^\pi c_{(1-\alpha)p} \frac{M}{(n+1)^\alpha},$$

$$\left\{ \frac{1}{n+1} \sum_{k=1}^n \left| \tilde{f}_{\frac{1}{n}}(x) - \tilde{s}_k(f; x) \right|^q \right\}^{\frac{1}{q}} \leq \frac{12M e^\pi c_{(1-\alpha)p}}{(n+1)^\alpha}.$$

### გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Hardy G.H, Littlewood I.E., Sur la se'rie de Fourier d'une fonction a carre' sommable. C.R.Acad. Sci. Paris. 153(1913)
2. Бари Н.К., Тригонометрические ряды. Москва. Физматгиз (1961).
3. Зигмунд А. Тригонометрические ряды. т. II Москва. Изд. «Мир» (1965)

4. Hardy G.H. Littlewood I.E., The strong summability of Fourier series, FM. 25(1935).
5. Габисония О.Д., О точках сильной суммируемости рядов Фурье. Математические заметки, т. 14, вып. 5, Москва, изд. АН СССР (1973).
6. Новиков И.Я., Родин В.А., Характеризация точек  $p$  - сильной суммируемости тригонометрических рядов,  $p \geq 2$ . Изв.высших учебных заведений. N 9 (1988).
7. Зигмунд А., Тригонометрические ряды, т. I . Москва. Изд. «Мир» (1965)
8. Габисония О.Д., Точки сильной суммируемости рядов, сопряженных с рядами Фурье. т. 36, N 5 (1984).

**INGA GABISONIA**

**FOURIER ROV OF HARDY EMBODIES METHOD  
SEGMENTS THE ISSUE**

In this paper we introduce a new structural characteristic for periodic functions. In terms of this characteristic, a procedure has been established for estimating the deviation by means of strong summability for trigonometric Fourier series.

**Темур Гоголадзе, Александр Миминошвили**

**Динамика изменения электролитного обмена  
плазмы крови и электровозбудимости миокарда  
при остром сепсисе**

Известно, что при сепсисе наблюдаются расстройства системной гемодинамики. В результате возникших функциональных и структурных изменений пораженных органов, нарушается метаболизм клеток, в частности водно-солевой обмен.

Изменение электролитного состава клеток и плазмы крови является следствием нарушений в механизме транспорта ионов через клеточные мембраны. Однако изменения ионов проводимости мембран, как правило, не является первичными событиями в механизме развития патологии. В начальной стадии патологические изменения затрагивают внутриклеточные биохимические системы и лишь позднее начинают проявляться нарушения функции биомембран. В этой связи большой теоретический и практический интерес представляют данные о влиянии патологических изменений состояния клеток на внутриклеточные регуляторные системы и последующие воздействия их на механизм ионного транспорта и электровозбудимости ткани.

Задачей нашего исследования было изучение ионной проницаемости биомембран и нарушение электролитного обмена при сепсисе с целью установления тяжести нарушений метаболизма при сепсисе.

**Методы исследования.** Опыты проводились на кроликах породы Шиншлина. Острый сепсис вызывали методом, разработанным в отделе иммунологии ЦНИЛ ТГМУ: кровь и образцы миокарда брали в разные дни после введения микробов.

Электролитный состав плазмы и сердца исследовали методом пламенной фотометрии. Выделение плазмы крови достигалось центрифугированием в течение 15 мин при 300 об./мин: плазму разводили для K–1:100, для Na–1:500, для Ca–1:100. Для определения концентрации электролитов в миокарде 100 мг ткани минерализовали в концентрированной HNO<sub>3</sub> до полного растворения и разводили дистиллированной водой в соотношении 1:100. Концентрация электролитов измерялась в мэкв/л.

Электрофизиологические исследования проводили на полосках из стенки правого желудочка сердца кроликов. Полоску помещали эндокард-

ом вверх в камеру для перфузии. Перфузировали раствором Тироде в mM:  $NaCl$ –137;  $KCl$ –4;  $CaCl_2$ –2,7;  $MgCl_2$ –1;  $NaHCO_3$ –11, 5;  $NaH_2PO_4$ –1,8; глюкоза 10;  $pH$ –7,4;  $t = 37^{\circ}C$ . Раствор оксигенировали карбогеном (95%  $O_2$ , 5%  $CO_2$ ). Скорость протока 6–8 мл/мин, объём камеры 6 мл. Препараты стимулировали с периодом 500мс прямоугольными импульсами двухпоровой амплитуды длительностью 2мс, подаваемыми от стимулятора ЭСУ–2 через поверхностный коаксиальный электрод. Потенциалы действия регистрировали с помощью ”плавающих“ стеклянных микроэлектродов сопротивлением 10–30 Мом и наблюдали на экране осциллографа С1–18. Для определения величины рефрактерного периода плавно в течение нескольких десятков секунд увеличивали частоту стимулирования. В качестве величины рефрактерного периода принимали минимальный период стимулирования, когда в ответ на каждый стимул возникала распространяющаяся волна возбуждения

В работе использовали ликодаин (*Xylocaine*) фирмы “Astra” Швеция, дифенин (в порошке) и этмозин (ампулах) отечественного производства. Для каждой концентрации препарата значения рефрактерного периода измеряли через 15 мин после подачи вещества.

**Результаты исследований и обсуждение.** Изучение электролитного состава плазмы крови и миокарда показал, что через 24 часа после заражения содержание  $Na$ ,  $K$  и  $Ca$  в плазме крови и миокарде не изменялось. Однако на 3 сутки происходит падение содержания  $Na$ , увеличение  $K$  и некоторый рост  $Ca$  в плазме крови. В миокарде происходит накопление  $Na$  и  $Ca$ , концентрация  $K$  падает. На 5–7 сутки эти изменения выражены наиболее резко. Содержание  $Na$  в плазме падает до 90, 2 мэкв/л, концентрация  $K$  и  $Ca$  резко увеличивается. Происходит значительное накопление содержания внутриклеточного  $Na$  в миокарде и вымывание  $K$  из клетки. Несколько увеличена концентрация внутриклеточного  $Ca$ . Если к этому времени клиническое состояние зараженных кроликов было удовлетворительным, то наблюдаются незначительные колебания содержания электролитов в плазме крови и в миокарде. Если же животные находились в терминальной стадии (парез задних конечностей, лихорадка) то содержание  $Na$  в плазме крови снижена на 50%,  $K$  увеличена на 100%, а  $Ca$  увеличивается на 15%. В миокарде содержание  $Na$  увеличивается на 100%, а калия падает на 60% и  $Ca$  увеличивается вдвое (таблица 1,2)



**Таблица1 Изменения электролитного состава плазмы крови**

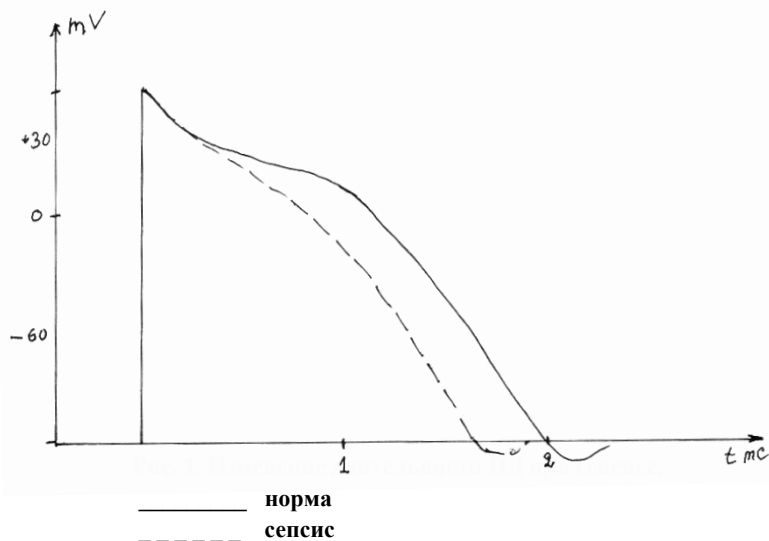
Дни наблюдений		Плазма					
		Na мэкв/л		K мэкв /л		Ca мэкв/л	
		Норма	Сепсис	Норма	Сепсис	Норма	Сепсис
		140± 1, 8		4,7±0,2		5,5±0,4	
1 сутки		135± 1,2		4,3±0,3		5,2±0,3	
3 сутки		108±2		6±0,5		5,9±0,4	
5 сутки		90,2±1,4		7,02±0,3		6,5±0,5	
12 сутки		102±1,2		7,5±0,4		6,2±0,4	
ерминальная Стадия		76,4±14		8,8±0,6		8,0±0,4	

**Таблица2 Изменения электролитного состава миокарда**

Дни наблюдений		Миокард					
		Na мэкв/л		K мэкв /л		Ca мэкв/л	
		Норма	Сепсис	Норма	Сепсис	Норма	Сепсис
		32±0,3		47,8±0,8		3,9±0,2	
1 сутки		33±0,5		46±0,3		4,1±0,3	
3 сутки		40±0,5		30,2±0,7		4,3±0,2	
5 сутки		54,8±0,2		22,7±0,5		5,4±0,4	
12 сутки		52±0,5		25±0,4		5,0±0,4	
Терминальная Стадия		68±1,2		7,7±0,5		6,3±0,3	

В экспериментах на изолированном желудочке сердца на разных стадиях развития сепсиса не наблюдается каких – либо изменений ни по длительности потенциала действия (ПД), ни по рефрактерному периоду. Только у животных, забитых в терминальной стадии, длительность ПД падала на 12%, рефрактерный период увеличивался с 80,2±2мс до 120±

5мс. Эти параметры не восстанавливались, несмотря на длительное (до 1,5 часов) омывание изолированного органа оксиге раствором Рингера (рис 1).



При воздействии лидокаина, этмозина и дифенина на изолированные желудочки сердца с ростом концентрации наблюдается увеличение рефрактерного периода (лидокаин на 6-20%, этмозин 2-36%, дифенин 10-20%). В присутствии указанных препаратов длительность ПД падает на 12%, а рефрактерный период миокарда кроликов, находящихся в терминальной стадии увеличивается (таблица 3).

Как показали эксперименты по изучению свободнорадикальных процессов, в процессе развития сепсиса происходят значительные падения энергетики клеток [1,2,3]. Это приводит к накоплению  $Na$  и  $Ca$  и уменьшению  $K$  внутри клеток за счет нарушения энергетикти  $Na$ ,  $K$   $Ca$  насосов. Сдвиг градиентов концентраций электролитов приводит к изменению электрической возбудимости миокарда.

Однако эти изменения, очевидно, носят обратимый характер т. к. мы не замечали изменений на длительности ПД и рефрактерного периода на изолированных препаратах сердца кроликов, клиническое состояние которых было удовлетвори-тельным, омываемых Рингером обогащенный карбогеном (95%  $O_2$  и 5%  $CO_2$ ). И только в случаях, когда животные находились в терминальной стадии, эти процессы были необратимы – наблюдалось укорочение ПД и увеличение рефрактерного периода [4,5,6]. .

**Увеличение рефрактерного периода сердечной ткани  
под действием препаратов – блокаторов *Na* – тока**

**Таблица 3**

препарат	Концентрация препарата в м/л	Увеличение рефрактерного периода сердечной ткани в %	
		Нормальная ткань	Сепсисная ткань
лидокаин	0,5	6±2	16±3
	1,0	20±4	42±5
этмозин	0,05	-2±3	8±4
	0,1	36±8	58±10
дифенин	2	10±2	18±3
	4	20±3	32±4

Таким образом, как показали исследования, максимальная реакция организма на введение микробов происходит в первые же сутки. Кризис наступает на 5-7 сутки после введения микробов. Если к этому времени животные находятся терминальной стадии исследованные параметры сильно сдвинуты по сравнению с нормой. Если же животные переживали этот период, то острота процесса снижалась и вскоре исследованные параметры были близки к норме.

**გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. სეფსისის მოქმედება ბოცვერების მიოკარდიუმის ბიოენერგეტიკულ მაჩვენებლებზე. თსსუ. სამეცნიერო შრომათა კრებული, ტ.X. გვ.143-148, 2003.
2. Характеристика нормального и патологического состояния возбудимых мембран мышцы сердца крыс. “Georgian Medical News” № 3. (168) 11-15. 2004 г.
3. მიოკარდიუმის მიტოქონდრიების ელექტრონული ტრანსპორტის მდგომარეობა ექსპერიმენტული სეფსისის დროს. თსსუ სამეცნიერო შრომათა კრებული ტ. XLVI გვ.122-125, 2012.

4. კალიუმის დენის ბლოკირების გავლენა რეფრაქტურული პერიოდის ხანგრძლივობაზე. თსსუ სამეცნიერო შრომათა კრებული ტ. XLVI გვ.133-136, 2012.
5. მიოკარდის ზოგიერთი ელექტროფიზიოლოგიური მახასიათებლის ცვლილება ექსპერიმენტული სეფსისის დროს. თსსუ სამეცნიერო შრომათა კრებული ტ. XLVII გვ.105-108, 2013.
6. ნატრიუმის დენის ბლოკატორების გავლენა მიოკარდზე ექსპერიმენტული სეფსისის დროს. თსსუ სამეცნიერო შრომათა კრებული ტ. XLVIII გვ.75-78, 2014.

### **თეზურ ბოგოლაკე, ალექსანდრე მიხინოშვილი**

#### **მიოკარდის ელექტრობუნებადობის და სისხლის პლასმის ელექტროლიტური ბალანსის დარღვევის დინამიკის შესწავლა მწვავე ექსპერიმენტალური სეფსისის დროს**

ექსპერიმენტალური სეფსისის დროს უჯრედშიდა ზოგიერთი რეგულატორული სისტემების დარღვევათა სიმძიმის დადგენის მიზნით შესწავლილი იყო მემბრანების იონური გამტარობა და ელექტროლიტური ბალანსის დარღვევა. სისხლისა და მიოკარდის ელექტროლიტური შემადგენლობა შესწავლილ იქნა ალიანი ფოტომეტრის საშუალებით.

ელექტროფიზიოლოგიური კვლევები ჩატარებულ იქნა ბოცვერის გულის მარჯვენა პარკუჭის კედლის ზოლზე. მოქმედების პოტენციალის რეგისტრაცია ხდებოდა „მცურავი“ მინის ელექტროდების მეშვეობით.

როგორც კვლევებმა გვიჩვენა მიკრობის შეყვანაზე ორგანიზმის მაქსიმალური რეაქცია ხდებოდა პირველივე დღეებში, ხოლო კრიზისი აღინიშნებოდა მე-5-7 დღეს. თუ ამ დროისთვის ცხოველები იმყოფებოდნენ თერმინალურ სტადიაში. შესწავლილი პარამეტრები ძალზედ შეცვლილი იყო ნორმასთან შედარებით. თუ ცხოველები გადაურჩნენ ამ პერიოდს პროცესის სიმწვავე მცირდებოდა და მალე საკვლევი პარამეტრები უახლოვდებოდა ნორმას.

## ტონ ბერია, ნატო თოლორაია

### დროით არეში სასრული სხვაობებისა და კირხოვის კომბინირებული მეთოდი ელექტროდინამიკის ამოცანებში

**შესავალი.** თანამედროვე პირობებში აუცილებელი გახდა ელექტრონულ მოწყობილობათა (ანტენა, მობილური ტელეფონი და სხვ.) ელექტრომაგნიტური გამოსხივების მოდელირება მათ მიერ შორ ზონაში გამოსხივებული ველების დიაგრამის პოვნის მიზნით. აღნიშნული ამოცანის გადასაწყვეტად ელექტროდინამიკაში გამოიყენება ისეთი ცნობილი მეთოდები, როგორებიცაა მომენტების მეთოდი დროით და სისშირულ არეში, დამხმარე გამომსხივებლების მეთოდი, სასრული სხვაობების მეთოდი და სხვ.

მოცემულ ნაშრომში ელექტროდინამიკის ამოცანების ამოსახსნელად ჩვენს მიერ შექმნილია ახალი კომბინირებული მეთოდი. ეს მეთოდი წარმოადგენს დროით არეში სასრული სხვაობებისა (FDTD) და კირხოვის მეთოდის (KM) კომბინირებულ ვარიანტს, რომელთა კომბინირებული გამოყენება განპირობებულია ცალკე აღებული თითოეული მეთოდისათვის არსებული რიგი ნაკლოვანებით.

კერძოდ, (FDTD) მეთოდის გამოყენება შესაძლებელია მხოლოდ სივრცის და დროის შეზღუდულ არეში, რაც არ იძლევა გამოთვლების საკმაოდ დიდ არეში ჩატარების საშუალებას. შესაბამისად შეუძლებელია სისტემის მიერ გამოსხივებული ელექტრომაგნიტური ველის დიაგრამის პოვნა შორ ზონაში. დიაგრამის პოვნა შეიძლება კირხოვის მეთოდის (KM) გამოყენებით, რომელიც ჰიუგენს-ფრენელის პრინციპის მათემატიკურ განზოგადობას წარმოადგენს. მოკლედ აღვწეროთ ჩვენს მიერ გამოყენებული სასრული სხვაობების მეთოდი, კირხოვის მეთოდი და სასრული სხვაობებისა და კირხოვის კომბინირებული მეთოდი (FDTD+ KM).

**სასრული სხვაობების მეთოდი დროით არეში.** სამგანზომილებიანი ამოცანების შემთხვევაში ეს მეთოდი შემდეგში მდგომარეობს: კავშირი ელექტრული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების ვექტორებსა და მათ შემქმნელ წყაროებს შორის აისახება მაქსველის განტოლებებში:

$$\left. \begin{aligned}
 \operatorname{rot} \vec{H}^{sc} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{E}^{sc}}{\partial t}, \\
 \operatorname{rot} \vec{E}^{sc} &= -\frac{\partial \vec{B}^{sc}}{\partial t}, \\
 \operatorname{div} \vec{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon_0}, \quad \operatorname{div} \vec{H} = 0, \quad \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}, \\
 \vec{B} &= \mu_0 \vec{H}, \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \vec{J} = 0,
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

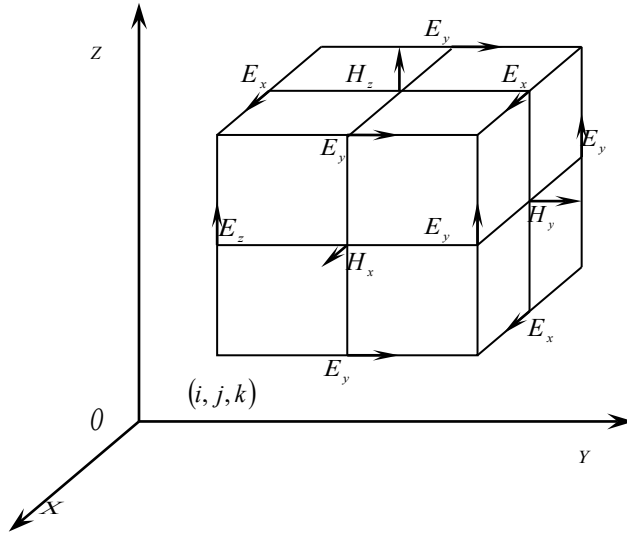
სადაც,  $\vec{H}^{sc}$  და  $\vec{B}^{sc}$  გაბნეული მაგნიტური ველის დაძაბულობისა და მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორებია შესაბამისად,  $\vec{E}^{sc}$  და  $\vec{D}^{sc}$  გაბნეული ელექტრული ველის დაძაბულობისა და ელექტრული ველის ინდუქციის ვექტორებია, ხოლო  $\vec{J}$  და  $\rho$  ელექტრული დენის სიმკვრივე და ელექტრული მუხტის სიმკვრივეა. მაქსველის (1) განტოლებებიდან გამომდინარე გაბნეული ველის მოსაძებნად ჩაიწერება მაქსველის განტოლებათა სისტემა:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{\partial H_x}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_y}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial y} - \rho' H_x \right), \quad \frac{\partial E_x}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_z}{\partial y} - \frac{\partial H_y}{\partial z} - \sigma E_x \right) \\
 \frac{\partial H_y}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_z}{\partial x} - \frac{\partial E_x}{\partial z} - \rho' H_y \right), \quad \frac{\partial E_y}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_x}{\partial z} - \frac{\partial H_z}{\partial x} - \sigma E_y \right) \\
 \frac{\partial H_z}{\partial t} &= \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial E_x}{\partial y} - \frac{\partial E_y}{\partial x} - \rho' H_z \right), \quad \frac{\partial E_z}{\partial t} = \frac{1}{\varepsilon} \left( \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} - \sigma E_z \right)
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

სადაც  $\rho'$  და  $\sigma$  გარემოს მაგნიტური და ელექტრული თვისებების მახასიათებელი სიდიდეებია და მათ გარემოს მაგნიტური და ელექტრული გამტარებლობები ეწოდებათ. სასრული სხვაობების მეთოდის თანახმად ვახდენთ დროისა და სივრცის დისკრეტიზაციას:

სივრცეში ხდება სპეციალური ტიპის სამგანზომილებიანი ბადის არჩევა, რომლის კვანძებში განლაგებულია ელექტრული და მაგნიტური ველის სხვადასხვა კომპონენტები. ასეთი ბადე ნაჩვენებია სურ.1-ზე. ამ სქემაში დროით და სივრცულ ბიჯებს შორის არსებობს შემდეგი  $\Delta x = \Delta y = \Delta z = c \Delta t$  კავშირი, სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა ვაკუუმში.

ასეთი დისკრეტიზაციისას ველების სივრცული და დროითი წარმოებულებისათვის სხვაობითი სქემები ჩაიწერება შემდეგი სახით:



სურ.1. სივრცის დისკრეტიზაცია ელექტრული და მაგნიტური ველების კომპონენტებისათვის

$$\left. \begin{aligned}
 (i, j, k) &= (i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z), n = n\Delta t \\
 F^n(i, j, k) &= F(i\Delta x, j\Delta y, k\Delta z, n\Delta t) \\
 \frac{\partial F^n(i, j, k)}{\partial x} &= \frac{F^n\left(i + \frac{1}{2}, j, k\right) - F^n\left(i - \frac{1}{2}, j, k\right)}{\Delta x} \\
 \frac{\partial F^n(i, j, k)}{\partial t} &= \frac{F^{n+\frac{1}{2}}(i, j, k) - F^{n-\frac{1}{2}}(i, j, k)}{\Delta t}
 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(3) სხვაობითი სქემის გათვალისწინებით მაქსველის (1) განტოლებათა სისტემაში შეგვიძლია მივიღოთ ელექტრომაგნიტური ველის ვექტორების კომპონენტებისათვის შესაბამისი გამოსახულებები, რომლებშიც კვანძის მოცემულ წერტილში და დროის მოცემულ მომენტში ველის მნიშვნელობა ჩაიწერება ველის კომპონენტების საშუალებით მიმდებარე კვანძებში და დროის წინა მომენტში. ეს გვაძლევს იმის საშუალებას, რომ ვიპოვოთ ველის მნიშვნელობები დროის მომდევნო მომენტებში წინა მომენტებში ცნობილი კომპონენტების საშუალებით. მაგალითად, ელექტრომაგნიტური ველის  $H_x$  და  $E_z$  მდგენელებისათვის მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
H_x^{n+1/2}(i, j+1/2, k+1/2) &= \frac{1 - \frac{\rho'(i, j+1/2, k+1/2)\Delta t}{2\mu(i, j+1/2, k+1/2)}}{1 + \frac{\rho'(i, j+1/2, k+1/2)\Delta t}{2\mu(i, j+1/2, k+1/2)}} H_x^{n-1/2}(i, j+1/2, k+1/2) + \\
&+ \frac{\Delta t}{\mu(i, j+1/2, k+1/2)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\rho'(i, j+1/2, k+1/2)\Delta t}{2\mu(i, j+1/2, k+1/2)}} \times \\
&\times \left[ \frac{E_y^n(i, j+1/2, k+1) - E_y^n(i, j+1/2, k)}{\Delta z} + \frac{E_z^n(i, j, k+1/2) - E_z^n(i, j+1, k+1/2)}{\Delta y} \right], \\
E_z^{n+1}(i, j, k+1/2) &= \frac{1 - \frac{\sigma(i, j, k+1/2)\Delta t}{2\varepsilon(i, j, k+1/2)}}{1 + \frac{\sigma(i, j, k+1/2)\Delta t}{2\varepsilon(i, j, k+1/2)}} E_z^n(i, j, k+1/2) + \\
&+ \frac{\Delta t}{\varepsilon(i, j, k+1/2)} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sigma(i, j, k+1/2)\Delta t}{2\varepsilon(i, j, k+1/2)}} \times \\
&\times \left[ \frac{H_y^{n+1/2}(i+1/2, j, k+1/2) - H_y^{n+1/2}(i-1/2, j, k+1/2)}{\Delta x} + \right. \\
&\left. + \frac{H_x^{n+1/2}(i, j-1/2, k+1/2) - H_x^{n+1/2}(i, j+1/2, k+1/2)}{\Delta y} \right]
\end{aligned}$$

ზემოთ მოცემული სქემის შესაბამისად ჩაიწერება ელექტროული და მაგნიტური ველების დაძაბულობების გამოსახულებები სხვა მდგენელებისათვისაც. ამ ფორმულებში მოცემული  $\sigma, \rho', \varepsilon, \mu$  სიდიდეების შესაბამისი შერჩევა იძლევა საშუალებას სასრული სხვაობების მეთოდში გამოყენებული ბადის კვანძებში ჩაისვას სხვადასხვა ტიპის და ნივთიერების გამბზვევი ზედაპირები ან მოცულობითი სხეულები.

როგორც ცნობილია, სასრული სხვაობების მეთოდის გამოყენებისას, მანქანური რესურსების შეზღუდულობის გამო, ელექტრომაგნიტური ველის გავრცელების პროცესის მოდელირება ხდება სასრულ არეში. ამასთან რაც მცირეა მოდელირების არე მით უფრო მეტია შესაბამისი კომპიუტერული გამოთვლების ჩატარების სისწრაფე. დაკვირვების არის შეზღუდულობის გამო და გარდამავალი პროცესების სრული ანალიზისათვის აუცილებელია ისეთი იდეალურად შეთანხმებული ფენების შერჩევა, რომელიც მთლიანად გაატარებს მასზე დაცემულ ელექტრომაგნიტურ ტალღას, რათა არის კიდებიდან არეკვლილმა ტალღამ მნიშვნელოვნად არ იმოქმედოს გამოთვლებით მიღებულ შედეგებზე.



სასრული სხვაობების მეთოდის სწრაფი და ეფექტური მუშაობისათვის დაკვირვების არე იდეალურად შეთანხმებულ ფენებთან ერთად მოდელირებულია როგორც ერთიანი ელექტრული და მაგნიტური გამტარებლობის მქონე გარემო. ასეთ გარემოში მაქსველის განტოლებათა სისტემა დაშლილია თორმეტი განტოლებად შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_{xy}}{\partial t} + \sigma_y E_{xy} &= \frac{\partial H_z}{\partial y} & \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_{xz}}{\partial t} + \sigma_z E_{xz} &= -\frac{\partial H_y}{\partial z} \\
 \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_{yz}}{\partial t} + \sigma_z E_{yz} &= \frac{\partial H_x}{\partial z} & \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_{yx}}{\partial t} + \sigma_x E_{yx} &= -\frac{\partial H_z}{\partial x} \\
 \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_{zx}}{\partial t} + \sigma_x E_{zx} &= \frac{\partial H_y}{\partial x} & \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial E_{zy}}{\partial t} + \sigma_y E_{zy} &= -\frac{\partial H_x}{\partial z} \\
 \mu\mu_0 \frac{\partial H_{xz}}{\partial t} + \sigma_z^* H_{xz} &= \frac{\partial E_y}{\partial z} & \mu\mu_0 \frac{\partial H_{xy}}{\partial t} + \sigma_y^* H_{xy} &= -\frac{\partial E_z}{\partial y} \\
 \mu\mu_0 \frac{\partial H_{yx}}{\partial t} + \sigma_x^* H_{yx} &= \frac{\partial E_z}{\partial x} & \mu\mu_0 \frac{\partial H_{yz}}{\partial t} + \sigma_z^* H_{yz} &= -\frac{\partial E_x}{\partial z} \\
 \mu\mu_0 \frac{\partial H_{zy}}{\partial t} + \sigma_y^* H_{zy} &= \frac{\partial E_x}{\partial y} & \mu\mu_0 \frac{\partial H_{zx}}{\partial t} + \sigma_x^* H_{zx} &= -\frac{\partial E_y}{\partial x}
 \end{aligned}$$

სადაც  $\sigma$  და  $\sigma^*$  გარემოს ელექტრული და მაგნიტური გამტარებლობებია შესაბამისად;  $\varepsilon$  და  $\mu$  გარემოს დიელექტრული და მაგნიტური შეღწევადობებია;  $\varepsilon_0$  და  $\mu_0$  ელექტრული და მაგნიტური მუდმივებია; იდეალურად შეთანხმებული ფენებისათვის შეთანხმების პირობა ჩაიწერება, როგორც  $\frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma^*}{\mu_0}$ .

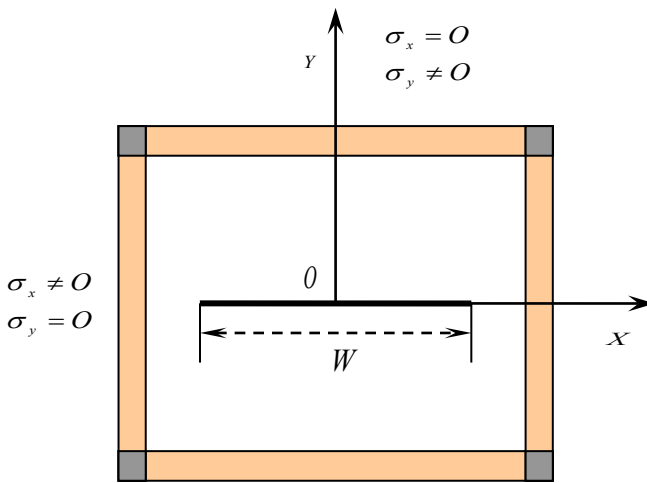
ელექტრული და მაგნიტური ველის მდგენელები გამოითვლება შემდეგი სახით:

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_{xy} + E_{xz}, & E_y &= E_{yx} + E_{yz}, & E_z &= E_{zx} + E_{zy}, \\
 H_x &= H_{yx} + H_{zx}, & H_y &= H_{xy} + H_{yz}, & H_z &= H_{xz} + H_{zy}.
 \end{aligned}$$

ველის თითოეული მდგენელისათვის მიიღება რეკურენტული ფორმულა, მაგალითად, მაგნიტური ველის  $x$  მდგენელი, რომელიც კუბის წახნაგის ნორმალურია და მოთავსებულია  $i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2}$  წერტილში (სურ.1.) ყოველ დროის  $n + \frac{1}{2}$  მომენტისათვის მიიღება შემდეგი გამოსახულება

$$H_{xy}^{n+1/2}(i, j+1/2, k+1/2) = \frac{1 - \frac{\sigma^*(i, j+1/2, k+1/2)\Delta t}{2\mu\mu_0}}{1 + \frac{\sigma^*(i, j+1/2, k+1/2)\Delta t}{2\mu\mu_0}} H_{xy}^{n-1/2}(i, j+1/2, k+1/2) - \frac{\Delta t}{\mu\mu_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\sigma^*(i, j+1/2, k+1/2)\Delta t}{2\mu\mu_0}} \times \left[ \frac{E_z^n(i, j, k+1/2) - E_z^n(i, j+1, k+1/2)}{\Delta y} \right].$$

ანალოგიურად ჩაიწერება ელექტრული და მაგნიტური ველების სხვა კომპონენტებიც. ამ ალგორითმის ტესტირებისათვის შევისწავლოთ ორგანზომილებიან ზოლზე  $H$  პოლარიზირებული ბრტყელი გაუსის იმპულსის გაბნევის ამოცანა (სურ.2).



სურ.2. ამოცანის გეომეტრია

$H_z(t) = \exp(-\alpha^2(y - ct - ct_0)^2)$ , დაცემულ იმპულსია,  $\alpha = \frac{3.2}{ct_0}$ ,  $ct_0 = 1.0$  მ.

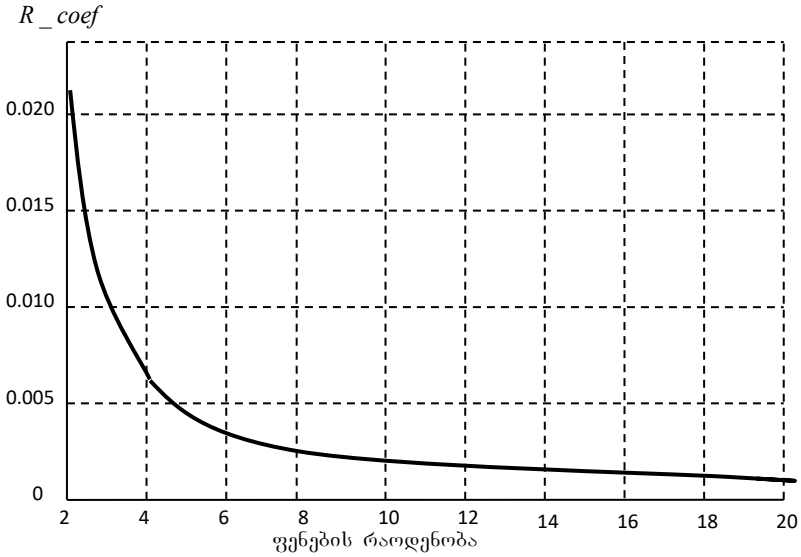
ზოლის სიგანე  $W=1.0$  მ. დაკვირვების არის იმ წერტილებში: სადაც მოთავსებულია ზოლი, ვწერთ:  $\sigma_x = \infty, \sigma_y = \infty$ , სხვა წერტილებში, გარდა იდეალურად შეთანხმებული ფენებისა, კი  $\sigma_x = 0, \sigma_y = 0$ . იდეალურად შეთანხმებულ ფენებში კი ელექტრული და მაგნიტური გამტარებლობები შერჩეულია შემდეგნაირად:

$$\sigma_i(d) = \sigma_{i \max} \left( \frac{d}{D} \right)^2,$$

სადაც  $i$  – არის იდეალურად შეთანხმებული ფენის ნომერი,  $d$  – არის იდეალურად შეთანხმებულ ფენაში შესვლის მანძილი,  $D$  – კი იდეალურად შეთანხმებული ფენის სრული სისქვა.

$\sigma_{i \max}$  გამოითვლება  $R = \exp\left(-2\sigma_{i \max} D \sqrt{\frac{\mu\mu_0}{\epsilon\epsilon_0}}\right)$  პირობიდან. აქ  $R$

არეკვლის კოეფიციენტია ყოველი ფენიდან.



სურ.3. არეკვლის კოეფიციენტის დამოკიდებულება იდეალურად შეთანხმებული ფენების რაოდენობაზე

სურ.3–ზე ნახვენებია  $y = 0, x = W / 2$  წერტილში არეკვლის

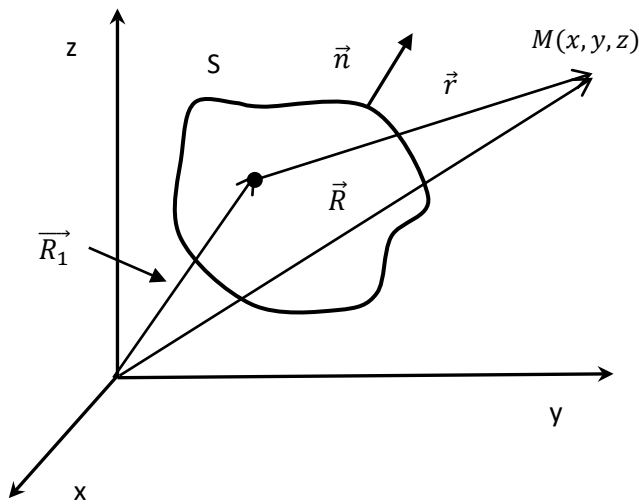
კოეფიციენტის  $R\_coef = \frac{\max(|E_x^{cal}(t) - E_x^{ex}(t)|)}{\max(E_x^{ex}(t))}$  სიდიდის დამოკიდებუ-

ლება იდეალურად შეთანხმებული ფენების რიცხვზე, სადაც

$E_x^{cal}(t)$  არის გამოთვლილი ველის მნიშვნელობა, ხოლო  $E_x^{ex}(t)$  ველის ზუსტი მნიშვნელობა მოცემულ წერტილში. როგორც ვხედავთ ფენების რაოდენობის გაზრდისას გამოთვლილი შედეგები მისწრაფვიან ველის ზუსტი მნიშვნელობისაკენ. გრაფიკი გვიჩვენებს, რომ რამოდენიმე იდეალურად შეთანხმებული ფენაც კი საკმარისია საკმაოდ კარგი შედეგის მისაღწევად, მაგალითად როცა  $n = 10$  შემთხვევაში  $R\_coef = 0.002\%$ , რაც გვიჩვენებს, რომ ამ

შემთხვევაში პრაქტიკულად ადგილი არა აქვს იდეალურად შეთანხმებული ფენიდან არეკვლას, ანუ პრაქტიკული გამოთვლებისათვის 10 ფენაც კი საკმარისია სასურველი შედეგის მისაღწევად.

**კირხოფის მეთოდი.** როგორც აღვნიშნეთ, კირხოფის მეთოდი წარმოადგენს პიუგენს-ფრენელის პრინციპის მათემატიკურ განზოგადებას, რომლის ძირითადი იდეა იმაში მდგომარეობს, რომ სივრცის რაიმე  $M(x, y, z)$  წერტილში ტალღური შემფოთება წარმოადგენს მეორადი წყაროებიდან გამოსხივებული ველების ინტერფერენციის შედეგს. მეორადი წყაროები გამლაგებულია რეალურ წყაროებსა და  $M(x, y, z)$  წერტილს შორის გამავალ  $S$  ზედაპირზე (ნახ.4.)



სურ.4. კირხოფის მეთოდის გეომეტრია

ვთქვათ  $U(M)$  და  $G(M)$  წარმოადგენენ  $M(x, y, z)$  წერტილის კომპლექსურ ფუნქციებს, რომელთაც  $V$  მოცულობის შემომსახდრელ  $S$  ზედაპირზე გააჩნიათ უწყვეტი პირველი და მეორე რიგის კერძო წარმოებულები. მაშინ გრინის თეორემის თანახმად

$$\int_V (G\Delta U - U\Delta G)dV = \int_S \left( G \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial G}{\partial n} \right) ds, \quad (4)$$

სადაც  $\frac{\partial}{\partial n}$  აღნიშნავს წარმოებულს  $S$  ზედაპირის  $\vec{n}$  გარე ნორმალის გასწვრივ. ვთქვათ,  $U$  ფუნქცია წარმოადგენს ტალღური ველის კომპლექსურ ამპლიტუდას და  $V$  მოცულობის შიგნით აკმაყოფილებს ჰელმჰოლცის ერთგვაროვან განტოლებას (ჩავთვალოთ, რომ დროზე დამოკიდებულებას აქვს  $e^{-i\omega t}$  სახე):

$$\Delta U + k^2 U = 0. \quad (5)$$

$G$  ფუნქციად ავირჩიოთ ფუნქცია, რომელიც აკმაყოფილებს

$$\Delta G + k^2 U = -4\pi\delta(|\vec{R} - \vec{R}_1|) \quad (6)$$

განტოლებას, სადაც  $\vec{R} = M(x, y, z)$  წერტილის რადიუს-ვექტორია, ხოლო  $\vec{R}_1 = V$  მოცულობის მიმდინარე  $O$  წერტილურ რადიუს-ვექტორია. (6) განტოლების ერთერთ მნიშვნელოვან ამონახსნს წარმოადგენს

$$G = \frac{e^{ikr}}{r}, \text{ სადაც } r = |\vec{R} - \vec{R}_1| \quad (7)$$

ფუნქცია, რომელიც აღწერს ერთეულოვანი ამპლიტუდის სფერულ ტალღას და რომელსაც წერტილოვანი წყაროს ფუნქციას ან თავისუფალი გარემოს გრინის ფუნქციას უწოდებენ.

(5) და (6) განტოლებებიდან  $\Delta U$  და  $\Delta G$  სიდიდეების განსაზღვრითა და ამ სიდიდეების (4) განტოლებაში ჩასმით მივიღებთ:

$$4\pi \int_V U(\vec{R})\delta(|\vec{R} - \vec{R}_1|)dV = \int_S \left( G \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial G}{\partial n} \right) ds, \quad (8)$$

$$U(\vec{R}) = \frac{1}{4\pi} \oint_S \left( G \frac{\partial U}{\partial n} - U \frac{\partial G}{\partial n} \right) ds. \quad (9)$$

ფორმალურად შესაძლებელია კირსოვის მეთოდი განვაზოგადოთ ვექტორული, მაგალითად  $\vec{E}$  და  $\vec{H}$  ელექტრული და მაგნიტური ველის დაძაბულობებისათვის. მათი დეკარტული კოორდინატებისთვის (9) ფორმულის გამოყენებითა და შემდეგ ვექტორულად შეკრებით მიიღება ვექტორული თეორემა, რომელიც საბოლოოდ შემდეგ სახეს ღებულობს:

$$\vec{E}(x, y, z) = -\frac{1}{4\pi} \left\{ i \frac{\omega}{c} \mu [\vec{n}\vec{H}]G + [[\vec{n}\vec{E}]gradG] + (\vec{n}\vec{E})gradG \right\} ds, \quad (10)$$

$$\vec{H}(x, y, z) = -\frac{1}{4\pi} \left\{ -i \frac{\omega}{c} \varepsilon [\vec{n}\vec{E}]G + [[\vec{n}\vec{H}]gradG] + (\vec{n}\vec{H})gradG \right\} ds, \quad (11)$$

ანუ ზედაპირზე ველების, გრინის ფუნქციისა და ნორმალის საშუალებით შესაძლებელია ველის მნიშვნელობის პოვნა  $M(x, y, z)$  წერტილში.

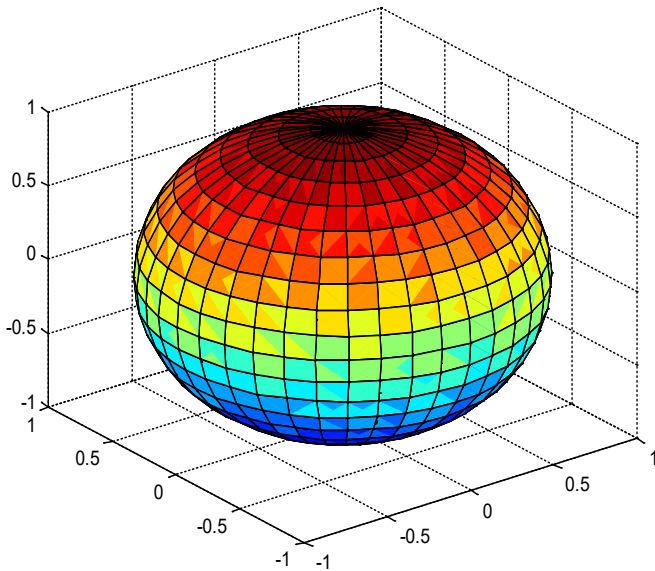
**FDTD + KM კომბინირებული მეთოდის აღწერა.** როგორც აღვნიშნეთ, კომპიუტერული რესურსების შეზღუდვების გამო, (FDTD) მეთოდი არ იძლევა საკმარის დიდ არეში გამოთვლების ხანგრძლივად ჩატარების შესაძლებლობას, ამიტომ საჭიროა შორ ზონაში გამოსხივებული (გაბნეული) ველის დიაგრამის საპოვნელად კომბინირებული მეთოდის შექმნა. ერთერთი ასეთი მეთოდი შეიძლება იყოს ჩვენს მიერ ნაშრომში მოყვანილი (FDTD + KM) კომბინირებული მეთოდი რომელიც შემდეგში მდგომარეობს.

თავიდან გამოთვლები უნდა ჩავატაროთ FDTD მეთოდით სივრცის შეზღუდულ არეში, რომელიც მოგვცემს ამ არის შიგნით

მოთავსებულ შეკრულ ზედაპირზე ველის დროითი  $F(t)$  ფუნქციების პოვნის საშუალებას, გადავიყვანოთ დროითი შედეგები ფურიეს გარდაქმნის

$$G(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(t)e^{-i\omega t} dt \quad (12)$$

ფორმულის გამოყენებით ხოლო შემდეგ (10) და (11) ფორმულის საშუალებით ვიპოვოთ ველის მნიშვნელობები სივრცის ნებისმიერ  $M(x, y, z)$  წერტილში რაც მოგვცემს შორ ზონაში გამოსხივებული (გაბნეული) ველის დიაგრამის პოვნას საშუალებას. შორ ზონაში გაბნეული ველის პოვნა კირხოფის მეთოდით შესაძლებელია მხოლოდ შეკრული ზედაპირის გამოყენებით, რომელიც მთლიანად მოთავსებულია სასრული სხვაობებით წარმოებული გამოთვლების არეში იდეალურად შეთანხმებული ფენების შიგნით. ჩვენს მიერ წარმოებული გამოთვლებისას ამისათვის გამოყენებულია სფერული ზედაპირი, რომელიც დაყოფილია ელემენტარულ  $ds$  ზედაპირებად (სურ.5) და რომელთა ცენტრებში შესაძლებელია ველის მიახლოებითი მნიშვნელობების გამოთვლა ამ წერტილის გარშემო არსებული კუბის კვანძებში განლაგებული ველის შესაბამისი კომპონენტის მნიშვნელობების გამოყენებით.

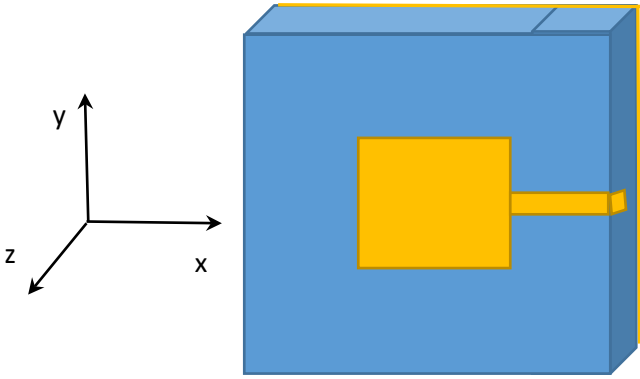


სურ.5. სფეროს  $S$  ზედაპირის დაყოფა მცირე  $ds$  ელემენტებად

$ds$  ელემენტარული ზედაპირების ცენტრში გარე ნორმალის გამოთვლის, ამ მიმართულებაზე ველის შესაბამისი კომპონენტის წარმოებულის პოვნით და (10-11) გამოსახულების გამოყენებით შესაძლებელია სფეროს გარეთ ნებისმიერ წერტილში შესაბამისი კომპონენტის პოვნა.

**მეთოდის ტესტირება.** მეთოდის ტესტირება მოხდა სასრული ზომის მიკროზოლოვანი ანტენის მიერ შორ ზონაში გამოსხივებული ველის დიაგრამის შესასწავლად. ცნობილია, რომ მიკროზოლოვანი ანტენებს გააჩნიათ რამდენიმე ისეთი განსაკუთრებული თვისება, რომელიც მათ ხდის ერთ-ერთ ალტერნატიულ ვარიანტად მრავალკავშირიანი მობილური კავშირგაბმულობიდან დაწყებული სამხედრო რადარული მოწყობილობებით დამთავრებული, ფაზირებული ანტენური მესრის ძირითად ელემენტად გამოყენების საქმეში. ფაზირებული ანტენების ეფექტური და უსაფრთხო გამოსხივების მიღება მოითხოვს თითოეული ელემენტის გამოსხივების ფუნდამენტურ შესწავლას.

ამ შემთხვევაში შესწავლილია სასრული ზომის მიკროზოლოვანი ანტენის (სურ.6) ელექტროდინამიკური თვისებები. როგორც აღვნიშნეთ ამ ამოცანით ხდება სასრული სხვაობებისა და კირხოფის კომბინირებული მეთოდის ტესტირება.



ნახ.6. ანტენის გეომეტრია.  $OXYZ$  კოორდინატა სისტემის სათავე მოთავსებულია ანტენის ცენტრში:  $a=5\text{მმ}$ ,  $b=3\text{მმ}$ ,  $c=2\text{მმ}$ ,  $d=15\text{მმ}$ .

მიკროზოლოვანი ანტენა შედგება სასრული ზომის ერთი მხრიდან მეტალიზებული დამიწებული დიელექტრიკისაგან, რომლის მეორე მხარეს მოთავსებულია მცირე ზომის მეტალური ფირფიტა. ამ ფირფიტის კვება შეიძლება მოხდეს ზოლოვანი ხაზით მიწასა და ფირფიტას შორის ან კოაქსიალური კაბელით დამიწებული

მხრიდან. ზოგადად მეტალურ ფირფიტას შეიძლება ჰქონდეს მართკუთხა, წრიული ან სხვა ნებისმიერი ფორმა. ანტენის ფორმა დამოკიდებულია მისი გამოყენების საჭიროებაზე. მას შეიძლება ჰქონდეს კომპლექსური გეომეტრიაც.

ამ შემთხვევაში განხილულია კვადრატული ზომის მიკროზოლოვანი ანტენის აღზენება ზოლოვანი ხაზით. ანტენის ზომები შემდეგია: კვადრატის გვერდი  $a=5\text{მმ}$ , ზოლის სიგრძე  $b=3\text{მმ}$ , დიექტრიკის სისქე  $c=2\text{მმ}$ , დიექტრიკის კვადრატის გვერდი  $d=15\text{მმ}$ . მიკროზოლოვანი ხაზის გასწვრივ მეტალურ ფირფიტასა და დამიწებულ ფენას შორის ელექტრული ველის დაძაბულობის  $E_z$  მდგენელი იცვლება დროში შემდეგი სახით:

$$E_z^*(t) = \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} ct\right), \quad (13)$$

სადაც  $c$  სინათლის სიჩქარეა და ტალღის სიგრძე  $\lambda = 3\text{სმ}$ . აღზენების არეში ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის  $z$  კომპონენტისათვის ვწერთ, რომ  $E_z = E_z^{sc} + E_z^*$ , სადაც  $E_z^{sc}$  ანტენის მიერ შექმნილი ელექტრული ველის დაძაბულობის ვექტორის  $z$  მდგენელია. ამ სიდიდის მნიშვნელობა განსაზღვრავს იმას, თუ რამდენად ოპტიმიზირებულია ანტენის პარამეტრები.

ამოცანის ამოხსნა ხდება სასრული სხვაობების მეთოდით დროით არეში. ამ მეთოდის გამოყენებით დროის ყოველი მომენტისათვის განისაზღვრება ელექტრული და მაგნიტური ველის დაძაბულობის ვექტორის მნიშვნელობები ანტენის შემომსაზღვრელი სასრული სივრცის, ამ შემთხვევაში სფერული ზედაპირის ელემენტარული  $ds$  ზედაპირების შუა წერტილებში.

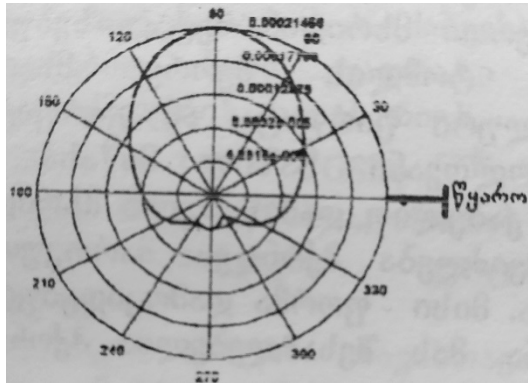
გამოსხივებული ველის მოსაძებნას შორ ზონაში ვიყენებთ კირხოფის მეთოდს. ამისათვის სფერული ზედაპირის  $ds$  ელემენტარული ზედაპირების შუა წერტილებში გამოთვლილი ელექტრული და მაგნიტური დაძაბულობის ვექტორების დროითი მნიშვნელობები დროითი არიდან სწრაფი ფურიე გარდაქმნით გადაგვყავს სიხშირულ არეში (12) გამოსახულების გამოყენებით. ასეთი წარმოდგენით ელექტრული ველის დიაგრამა გამოითვლება ფორმულით

$$E_\theta(\theta, \varphi) = \int_s -e^{-ik\rho} \left[ \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left( [\vec{n}_\theta \times \vec{n}'] \cdot \vec{H}(\vec{r}', \omega) + [\vec{n}_\varphi \times \vec{n}'] \cdot \vec{E}(\vec{r}', \omega) \right) \right] ds'$$

$$E_\varphi(\theta, \varphi) = \int_s -e^{-ik\rho} \left[ \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \left( [\vec{n}_\varphi \times \vec{n}'] \cdot \vec{H}(\vec{r}', \omega) + [\vec{n}_\theta \times \vec{n}'] \cdot \vec{E}(\vec{r}', \omega) \right) \right] ds'$$

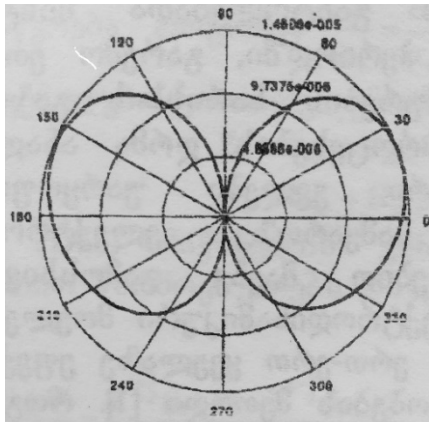


სადაც  $\rho = x_0 \cos\varphi \sin\theta + y_0 \sin\varphi \cos\theta + z_0 \cos\theta$ ,  $(x_0, y_0, z_0)$  - საძიებელი ელექტრომაგნიტური ველის კოორდინატებია დიაგრამის საძიებელ ზედაპირზე,  $\vec{n}'$  არის  $s$  ზედაპირის გარე ნორმალი,  $\epsilon_0$  და  $\mu_0$  ელექტრული და მაგნიტური შეღწევადობა,  $\vec{n}_\varphi$  და  $\vec{n}_\theta$  დაკვირვების წერტილის ერთეულოვანი ვექტორებია,  $\vec{E}(\vec{r}', \omega)$  და  $\vec{H}(\vec{r}', \omega)$  ელექტრული და მაგნიტური ველის დაძაბულობებია დამხმარე სფერულ  $s$  ზედაპირზე.



სურ.7.  $E_\theta$  დიაგრამა  $\varphi = 0$  სიბრტყეში

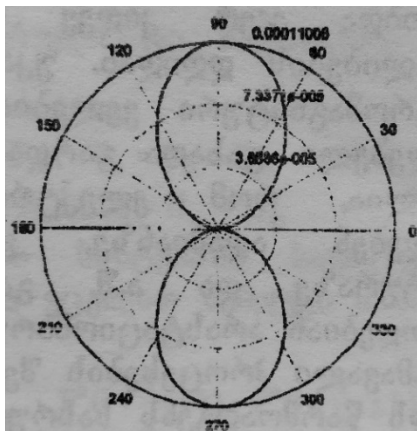
სურ.7-ზე გამოსახულია ანტენის (სურ.6) მიერ გამოსხივებული ელექტრული ველის დაძაბულობის დიაგრამა  $xOz$  სიბრტყეში, ანუ გამოსხივება ხდება ანტენის ფირფიტისადმი  $90^\circ$ -იანი კუთხით. გამოსხივებული ველის დიაგრამა  $180^\circ$  გრადუსზე მეტია და იძლევა დაფარვის კარგ დიაპაზონს ანტენის მხარეს.



სურ.8.  $E_\theta$  დიაგრამა  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  სიბრტყეში

რაც შერეხება  $yoz$  სიბრტყეში ელექტრული ველის დიაგრამას (სურ.8), როგორც ვხედავთ გამოსხივებული ველის მაქსიმუმები მოდის  $20^\circ$  და  $160^\circ$  კუთხეებზე, ხოლო გამოსხივებული ველი მოიცავს ორივე მიმართულებით  $120^\circ$  მეტ დიაპაზონს.

$xoy$  სიბრტყეში გამოსხივებული ელექტრული ველის დიაგრამის (სურ.9), მაქსიმუმები მოდის  $90^\circ$  და  $270^\circ$ . გამოსხივებული ველის სიგანე  $60^\circ$  გრადუსზე მეტია ორივე მიმართულებით.



სურ.9.  $E_\phi$  დიაგრამა  $\theta = \frac{\pi}{2}$  სიბრტყეში

სხვა გეომეტრიის ანტენების შესწავლამ აჩვენა, რომ უფრო ვიწრო დიაგრამის მიღება შესაძლებელია მიკროანტენების განლაგებით ბრტყელ ან ცილინდრულ ზედაპირებზე.

მიღებული შედეგები შედარებულია იგივე ამოცანის ამოხსნის შედეგებთან, რომელიც მიღებულია დამხმარე გამომსხივებლების მეთოდის (MAS) გამოყენებით. შედარებამ ცხადყო, რომ შედეგები კარგ თანხვედრაშია ერთმანეთთან და ცდომილება შეადგენს დაახლოებით 2 – 3%, ანუ მოცემული კომბინირებული მეთოდი შესაძლებელია წარმატებით გამოვიყენოთ ამ ტიპის გარდამავალი ელექტროდინამიკური ამოცანების ეფექტურად გადასაწყვეტად.

**გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. K.S. Yee, IEEE Trans. on Ant. and Prop., vol. AP-14, pp. 302-307. Mai 1966.
2. J.P. Berenger, AS PML for the Absorption of EM Waves. J. Phys. vol. 114, pp. 185-200, Aug. 1994.

3. R. A. Beria, Ph. I. Shubitidze, R. G. Jobava, D.D. Karkashadze, R.S. Zari-dze, D. Pommerenke, S. Frei. FDTD METOID PROBLEMS OF PENETRATION OF TRANSIENT FIELDS OF ELECTROSTATIC DISCHARGE INTO A CAVITY. Kharkov, MMET '98 International Conference PROCEEDINGS. IEEE Catalog Number 98EX114. June 2-5, 1998., pp.327-329.
4. ფ. შუბითიძე, დ. ეკონომუ, რ. ბერია, ი. შამათავა. სასრული ზომის მიკროზოლოვანი ანტენების გამოსხივება. სოხუმის უნივერსიტეტის 20 წლისთავისადმი მიძღვნილი ახალგაზრდა მეცნიერთა და ასპირანტთა სამეცნიერო კონფერენციის მასალები. 14-15 მაისი 1999წ., გვ. 36-39.

**Roin Beria, Nato Toloraya**

**The combined finite-difference method in the time domain and Kirchhoff in electrodynamics problems.**

In modern conditions, for constructing diagrams of radiated fields at a distance, it became necessary to simulate electromagnetic radiation of electrical devices (antenna, mobile phone, etc.). To solve this problem in electrodynamics, such well-known methods as the method of moments, the method of auxiliary emitters, the method of finite differences and others.

In this paper, we created a new method for solving electrodynamic problems, which is a combined version of the time domain finite difference method (FDTD) and the Kirchhoff method (KM), the combined use of which is due to the individual weaknesses of each of these methods.

The results obtained are compared with the results of solutions obtained by the method of auxiliary emitters. From the comparison it became clear that the results are well combined with each other and the error is only 1-2%, that is, this combination method can be successfully applied to effectively solve electrodynamic problems of this type.

## ნანა მამისუბაძე, ნანო ბაქრაძე

### დასასმელი ამოცანების რიგი ფიზიკური ახროვნების განვითარებაში

ფიზიკა საბუნებისმეტყველო მეცნიერებაა, რომელიც შეისწავლის ბუნების უმარტივეს და ამავე დროს ყველაზე უზოგადეს კანონზომიერებებს. ფიზიკის სწავლების განუყოფელი ნაწილია ამოცანების ამოხსნა. იგი სწავლების მიზანიცაა და მეთოდიც. ფიზიკის ამოცანების ამოხსნის მეთოდიკა უპასუხებს კითხვებზე: რისთვის? (რა მიზნით) მოვხსნათ? რომელი ამოცანები ამოვხსნათ? როგორ ამოვხსნათ? ფიზიკური ამოცანის ამოხსნა სინამდვილეში იმდენად რთულია, რომ მოდელური იდეალიზაციის გარეშე შესწავლა შეუძლებელია. რასაკვირველია, იდეალიზაცია გონივრული უნდა იყოს, შევინარჩუნოთ არსებითი თვისებები და უგულვებელყოთ მეორეხარისხოვანი. ასეთი იდეალიზებული პრობლემების, საკითხებისა და ამოცანების დასმა და შესწავლა არის ფიზიკის, როგორც მეცნიერების არსთაგანი. ამოცანის ამოხსნა ნიშნავს უცნობი ფიზიკური სიდიდის პოვნას. ნებისმიერი კლასიფიკაცია განსაზღვრული ნიშნების მიხედვით ხორციელდება. განვიხილოთ მხოლოდ ზოგადი კლასიფიკაცია არსებითი ნიშნების მიხედვით.

კლასიფიკაცია ამოხსნის უზოგადესი მეთოდების მიხედვით გეაძლევეს ფიზიკის ამოცანების დაყოფას თეორიულ და ექსპერიმენტულ ამოცანებად. ექსპერიმენტულია ამოცანა, რომლის გადასაჭრელად აუცილებელია ცდის ჩატარება, გაზომვა, თუ არადა ამოცანა თეორიული იქნება. ბუნების მოვლენების კლასიფიკაცია განაპირობებს ფიზიკური ამოცანების კლასიფიკაციას შინაარსის მიხედვით: რომელი ნაწილის, თემის, საკითხის შესწავლისთვისაა განკუთვნილი ესა თუ ის ამოცანა. კიდევ ერთი დაყოფა: სავარჯიშო (კითხვა-ამოცანები), ტიპური და არატიპური ამოცანები. მათ შორის გამოირჩევა საკვანძო ამოცანები, რომელთა ამოხსნა-ანალიზი ამა თუ იმ საკითხის ფიზიკურ არსს წარმოაჩენს. ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი კლასიფიკაცია ამოცანების მოცემულობის, პირობების მიხედვით: დასმული და დასასმელი ამოცანებია. ამოცანა დასმულია, თუ სათანადო იდეალიზაციის პირობებში გარკვეულია ცნობილი და საძიებელი ფიზიკური სიდიდეები. დასასმელ ამოცანებში კი ეს თვით ამომხსნელმა უნდა გააკეთოს. დასმული ამოცანებისათვის ერთი რამ განმარტებას საჭიროებს. ცნობილი და საძიებელი სიდიდეები ზუსტად არის დასახელებული, მაგრამ იდეალიზაციის, გამარტივების პირობები ხშირად ნაწილობრივ მითითებულია რიგი დაშვებებისა, სხვა კი იგულისხმება. დასასმელი ამოცანა, საზოგადოდ, არც იდეალიზებულია, არც ცნობილ და საძიებელ ფიზიკურ სიდიდეებს შეიცავს. ამოცანების დასმისათვის პირველად უმარტივეს მოდელურ იდეალიზაციას ვირჩევთ, შემდგომ შეიძლება მისი თანმიმდევრული

გართულება. ამოცანის დასმა არცთუ იშვიათად, ერთდროულ ამოხსნასაც მოითხოვს. არაერთხელ დავრწმუნდებით, თუ როგორ გამოჩნეულ როლს ასრულებს რთულ და უცნობ სიტუაციაში გასარკვევად განზომილებათა ანალიზი ფიზიკურ მოსაზრებებსა და ალღოსთან, ინტუიციასთან ერთად.

ფიზიკის ამოცანის ამოხსნა აქტიური შემეცნებით პროცესია. იგი ფიზიკის კანონებისა და კანონზომიერებათა გამოყენების საფუძველზე იხსნება და ეს განსაზღვრავს ამოხსნის ზოგად მეთოდებს. ვთქვათ, მათემატიკაში კვადრატული განტოლების ამოხსნის მსგავსი ფიზიკური ამოცანების ამოხსნას ნაკლებად წაადგება, ფუჭია „უნივერსალური“ ალგორითმების ძებნა. მაგალითად, ნიუტონის კანონების ცოდნა და ტიპური ამოცანების ამოხსნა სულაც არ გვაძლევს ალგორითმს ამ კანონების გამოყენებისათვის სხვა ამოცანების ამოხსნისად. ეს თვით ფიზიკის ბუნებითაა განპირობებული: ალგორითმების განხორციელების პროცესი არ არის შემოქმედებითი, მისი შესრულება მანქანასაც შეუძლია და ფიზიკის ამოცანების ამოხსნას ვერ დავეუფლებით მექანიკურ პროცესებით. ამის დასტურია ის, რომ მეთოდურ ლიტერატურაში შემოთავაზებული ფიზიკის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები ზოგადობას არის მოკლებული, ხელოვნურია და მათ ფეხი ვერ მოიკიდეს სასწავლო პროცესში. ფიზიკის ამოცანის ამოხსნა უპირველესად აზროვნების პროცესია, ამიტომ იგი ეფუძნება აზროვნების ოპერაციებს, მეთოდებს: ანალიზი, სინთეზი, აბსტრაქცია (განყენება), განზოგადება, ინდუქცია, დედუქცია... მათ გარეშე ლოგიკური, ფიზიკური აზროვნება შეუძლებელია. რასაკვირველია, ფიზიკური აზროვნება შეიცავს ლოგიკურ აზროვნებასაც. ყოველი ამოცანა წარმოადგენს აზრობრივ პრობლემურ სიტუაციას, რომელიც მოითხოვს გადაჭრას. მაგალითად, გეგმის შედგენა არის პრობლემური სიტუაცია, რადგან არც ისე ნათელია, როგორ შევადგინოთ ის უფრო სწორად. რა თქმა უნდა ყოველი მოსწავლე თუ სტუდენტი როგორღაც ადგენს მას. მაგრამ სწორად? როგორ შევამოწმოთ ეს, თუ თვით წესები უცნობია? ინტუიციურად ეს ოპერაცია შეიძლება შესრულდეს მეტ-ნაკლები წარმატებით. პრაქტიკამ აჩვენა, რომ წარუმატებლობა ამ საქმეში დიდია. ე.ი. ამ შემთხვევაში ბევრი აზროვნებს არალოგიკურად, ანუ პრაქტიკული ლოგიკის წესების გარეშე, რომელიც იძლევა გეგმის შედგენის წესებს სასკოლო ან სტუდენტური მუშაობისთვის. კონკრეტული თეორიული ცოდნა უცილებელი პირობაა ამოცანის ამოხსნისათვის, მაგრამ არასაკმარისი: საჭიროა განზოგადებული ცოდნის შექმნა. ფიზიკის ამოცანების ამოხსნის თავი და თავია ცოდნის საფუძველზე ფიზიკური აზროვნების, ალღოსა და ზოგადი მეთოდების გამოყენების უნარ-ჩვევების გამომუშავება. ეს კი თვით ამოცანების ამოხსნის პროცესში სისტემატური ვარჯიშითა და გამოცდილებით შეიძინება. სხვა გზა

ფიზიკის ამოცანების ამოხსნის და დაუფლებისა, ფიზიკაში ჩადრმა-  
ვებისა არ არსებობს. გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს ფიზიკის ამო-  
ცანების ამოხსნის პროცესის ანალიზს არსებითი ეტაპების მიხედვ-  
ით. ეს ეტაპები ის „კალაპოტია“, რომელშიც „მიედინება“ ფიზიკური  
აზროვნება ზოგადი მეთოდების გამოყენების საფუძველზე. მათი გა-  
თვითცნობიერება აუცილებელია ამოხსნის უნარ-ჩვევების გამომუშე-  
ვებისათვის, ფიზიკური აზროვნებისა და ალღოს, ინტუიციის განვი-  
თარებისათვის. აქედან გამომდინარე შეიძლება ვთქვათ, რომ ფი-  
ზიკურ აზროვნებაში არ უნდა გამოვრიცხოთ ინტუიციის ფაქტორი.

ინტუიცია არის ჭეშმარიტების წვდომა უშუალოდ, დასაბუთე-  
ბის გარეშე. შემეცნების ყოველი ეტაპი ლოგიკურად და ფაქტობრ-  
ივად ყოველთვის დასაბუთების გზით არ ხორციელდება. ხშირად  
სუბიექტი იჩენს სიტუაციის აზრობრივი წვდომის უნარს, რაც წინა-  
სწარ ხედვაში ვლინდება. ზოგჯერ ინტუიცია სცილდება კვლევა-  
ძიების დადგენილი წესებისა და მეთოდების ფარგლებს, მაგრამ იგი  
არ არის ქვეცნობიერი ან ზევცნობიერი აქტი. ინტუიცია არის აზრო-  
ვნების თავისებური ტიპი, რომლის დროს შემეცნების ზოგიერთი  
მომენტი მეტ-ნაკლებად არაცნობიერადაა გადატანილი ცნობიერებ-  
აში. ინტუიცია საკმარისია ჭეშმარიტების შესამჩნევად, მაგრამ არ-  
ასაკმარისია მასში დარწმუნებისათვის. საამისოდ აუცილებელია  
დასაბუთება. ფიზიკოსისათვის არსებითია მათემატიკური ენის ფი-  
ზიკური გაგება, ფიზიკური ინტუიცია, რომელიც „რადაც არაზუსტი,  
განუსაზღვრელი და აბსოლუტურად არამათემატიკურია, მაგრამ ფი-  
ზიკოსისათვის-სრულიად აუცილებელი“. საგულისხმოა, შევადართო  
ორი გამოჩენილი მეცნიერის-ფიზიკოსისა და მათემატიკოსის-აზრი.  
დირაკი: „მე ვთვლი, რომ გავიგე განტოლების აზრი, თუ შემიძლია  
წარმოვიდგინო მისი ზოგადი ამონახსნის სახე უშუალო ამოხსნის  
გარეშე“. ჰილბერტი: „ინტუიცია ცდილობს შებღალოს და დაამახი-  
ნჯოს მათემატიკა“. გასაგები უნდა იყოს, რომ ფიზიკოსისა და მათე-  
მატიკოსის თვალსაზრისის დაპირისპირება არ შეიძლება.

დამოუკიდებელი, შემოქმედებითი აზროვნების განვითარებისა-  
თვის შეუცვლელია დასმულ ამოცანათა ამოხსნა.

განვიხილოთ რამდენიმე ამოცანა.

1. განიერი ჭურჭლის პატარა ხვრელიდან გამოედინება წყალი.  
გამოვსახოთ გამოდინების სიჩქარე, როგორც სითხის სვეტის სიმა-  
ღლის ფუნქცია.

დავუშვათ, ხვრელიდან რადაც მცირე დროის შემდეგ გამოე-  
დინება ისეთი მცირე მოცულობის სითხე, რომ მისი დონის შემცი-  
რება ჭურჭლის განიერ ნაწილში შეიძლება უგულვებელყოთ. აგრ-  
ეთვე გავითვალისწინოთ, რომ წნევათა ცვალებადობა განისაზღვრ-  
ება მხოლოდ ჰიდროსტატიკული წნევით. ჩვენ მივაღთ იმ დასკვნა-

მდე, რომ აქ ბერნულის განტოლებას აქვს სახე:  $\rho gh = \rho v^2 / 2$ , საიდანაც გამომდინარეობს ტორიჩელის ფორმულა სითხის გამოდინების სიჩქარისთვის მცირე ხვრელიდან.

2. უკუმშველი სითხის წვეთი ფეთქავს - ფორმა პერიოდულად პულსირებს. შეაფასეთ პერიოდი.

შევეცადოთ ამ ამოცანას მივცეთ დასმული ამოცანის სახე. გავარკვიოთ რომელ სიდიდეებზე იქნება დამოკიდებული ზედაპირის ფორმის რხევის  $t$  პერიოდი. ეს ფიზიკურ აღლოს მოითხოვს. სავარაუდოდ, ასეთ პულსაციას სიმძმის ძალა არ შეიძლება იწვევდეს, ამიტომ თავისუფალ ვარდნის აჩქარება შეიძლება არ მივიღოთ. ფორმის რხევისას იცვლება ზედაპირის ფართობი და არა მოცულობა, რადგან სითხე უკუმშვლია, ე.ი. იცვლება ზედაპირული დაჭიმულობის ძალა (ენერგია) და ეს განსაზღვრავს რხევის პერიოდს. გარდა ამისა, რხევის პერიოდი დამოკიდებული იქნება გვარობაზე და ზომაზე. ამიტომ მოცემულად ჩავთვალოთ წვეთის რადიუსი  $r$ , სიმკვრივე  $\rho$ , ზედაპირული დაჭიმულობის კოეფიციენტი. ჩამოვწეროთ არჩეული სიდიდეების ერთეულები  $\sigma = \text{ნ/მ} = \text{კგ/წმ}^2$ ;  $[r] = \text{მ}$ ;  $\rho = \text{კგ/მ}^3$

მათგან ისეთი კომბინაცია უნდა შევადგინოთ, რომ ერთეული წამი მივიღოთ, რადგან  $[T] = \text{წმ}$ .  $[\frac{\rho}{\sigma}] = \text{წმ}^2/\text{მ}^3$  თანაფარდობით კვ შეიკვცება. შემდეგ გავამრავლოთ  $r^3$ - ზე და ამოვიღოთ ფესვი:  $[\sqrt{\frac{\rho r^3}{\sigma}}] = \text{წმ}$ .

ამიტომ რხევის პერიოდი იქნებათ  $T = k \sqrt{\frac{\rho r^3}{\sigma}}$ .

$k$  განყენებული კოეფიციენტი, მისი დადგენა განზომილებათა მოსაზრებიდან შეუძლებელია, საჭიროა რხევის მექანიზმის დაზუსტება და შესატყვის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა.

3. ვიპოვოთ სისტემის სიხისტე, რომელიც შედგება ორი პარალელურად შეერთებული ზამბარისგან.

ჩავთვალოთ, რომ სისტემის გაჭიმვა ხდება გადახრის გარეშე, მაშინ მივიღებთ:

$\Delta l_1 = \Delta l_2 = \Delta l$ , ძალა  $F = k\Delta l$  ორ ძალად ნაწილდება  $F_1 = K\Delta l_1$  და  $F_2 = K\Delta l_2$  რადგანაც  $F = F_1 + F_2$  მაშინ  $k = k_1 + k_2$

4. რა დროში დაიცლება საესე აბაზანა, თუ წყალს გავუშვებთ.

ნებისმიერი დაცლის  $t$  დრო დამოკიდებულია სითხის რაოდენობაზე, ე.ი. აბაზანის განკვეთის  $s$  ფართობზე,  $h$  სიმაღლეზე, (დავუშვათ, რომ აბაზანას მართკუთხა პარალელეპიპედის ფორმა აქვს).  $\rho$  წყლის სიმკვრივეზე.  $t$  დამოკიდებულია  $S_1$  ფართობზე. წყლის გადინება სიმძმის ძალით ხდება და ამიტომ თავისუფალი ვარდნის  $g$  აჩქარებაც უნდა გავითვალისწინოთ. ამრიგად, დასაკავშირებელია  $n$  სიდიდე:  $S, h, \rho, S_1, g$  და  $t$ .

სხვადასხვა განიკვეთში დროის ერთეულში გამავალი უკუმშველი სითხის მოცულობა ერთნაირია. მოცემული სიმაღლისთვის გადინების დრო პროპორციულია სითხის რაოდენობის, ე.ი.  $S$  ფართობის. ბუნებრივია, დავუშვათ, რომ სითხის სიჩქარე ნახვრეტში არ არის დამოკიდებული მის  $S_1$  ფართობზე, მაშინ  $t$  უკუპროპორციულია  $S_1$ -ის. შეგვიძლია დავწეროთ  $t = \frac{S}{S_1}$ . მივიღეთ განყენებული კომბინაცია. ახლა უნდა შევადინოთ  $\rho$ ,  $g$  და  $h$  სიდიდეებისგან დროის გან-

ზომილების მქონე კომბინაცია.  $[\sqrt{\frac{h}{g}}] = \text{წმ}$ . როგორც ვხედავთ, სიმკვრივის განზომილება არ დაგვჭირდა, ე.ი. სულ მივიღეთ 3 განყენებული კომბინაცია:  $S/S_1$ ,  $h/gt^2$ ,  $\rho^0$ . აქედან ვაკეთებთ დასკვნას, რომ დაცლის დრო არ არის დამოკიდებული სიმკვრივეზე. საბოლოოდ

შეგვიძლია დავწეროთ,  $t = k \sqrt{\frac{h}{g} \cdot \frac{S}{S_1}}$ . სადაც  $k$  განყენებული სიდიდეა.

5. ვიპოვოთ სიმკვრივის გამოსახულება სხეულისათვის, რომელიც არის ნებისმიერი ათვლის ინერციულ სისტემაში.

ათვლის საკუთარ სისტემაში  $\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}$ , ნებისმიერ სხვა სისტემაში  $\rho = \frac{m}{V}$ . მასა  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ , მოცულობა  $V = \Delta z \cdot \Delta y \cdot \Delta x = \Delta z_0 \cdot \Delta y_0 \cdot$

$$\Delta x_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = V_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{სიმკვრივე: } \rho = \frac{\rho}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

რადგან ფიზიკის ამოცანის ამოხსნა პატარა გამოკვლევას ემსგავსება, აუცილებელია ამოხსნის დამაგვირგვინებელი ეტაპი: შედეგების განხილვა-ანალიზი. საჭიროა განზომილების შემოწმება, ფიზიკური სიდიდის რიგის შეფასება, ამოხსნის მართებულობის პირობების დაზუსტება, ზღვრული და კერძო შემთხვევების განხილვა, ამოხსნის სხვა გზებთან შედარება, დამოკიდებულების გრაფიკული წარმოდგენა და სხვა.

უნდა გვახსოვდეს, რომ სისტემატური მუშაობის, ერთსა და იმავე საკითხთან რამდენჯერმე მიბრუნების, წაკითხულის გარჩევისა და წერის გარეშე შეუძლებელია ცოდნისა და უნარ-ჩვევების დაუფლება და გაათვითცნობიერება, ხარვეზების აღმოფხვრა, ფიზიკის სიღრმისეული წვდომა.

სკოლაში ფიზიკის სწავლება ფაქტობრივად მხოლოდ დასმულ ამოცანათა საფუძველზე ხდება. სამომავლოდ დასასმელ ამოცანათა სწავლების მეთოდური სისტემაც უნდა დამუშავდეს და დამკვიდრდეს სკოლაში. ყველაფერს რომ თავი დაგანებოთ, ადამიანი ყოველდღიურ ცხოვრებაში უამრავ დასასმელ ამოცანას აწყდება და სწავლება,



რომელიც მათ გვერდს უვლის, ვერ იქნება სრულფასოვანი. ტყუილად კი არ ამბობენ, რომ ამოცანის კორექტულად დასმა ნახევარი საქმის გაკეთებას ნიშნავსო.

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. ხაზარაძე თ. ფიზიკის ამოცანების ამოხსნის მეთოდთა. თბ., თსუ, 2003.
2. მაისურაძე ნ. მოსწავლეებში მეცნიერულ ენაზე მეტყველების განვითარების ოპტიმიზაციის თანამედროვე პედაგოგიური ტექნოლოგიები (ფიზიკის სწავლების მაგალითზე). თბ., უნივერსალი, 2011.
3. Беликов Б.С. Решение задач по физике. Общие методы.-М., Высшая школа, 1986.Наука, 1985.
4. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. М., Высшая школа, 1975.
5. Меледин Г.В. Физика в задачах. Наука, 1985.

**Nana Maisuradze, Nano Bakradze**

## **The Role of Set Tasks in Development of Physical Thinking**

Solving the task of physics is an active cognitive process. The task is solved on the basis of the laws of physics and the use of regularities. One of the most important classification of tasks are the set tasks and the tasks to be seated according to the conditions. The task is set, if under certain conditions of idealization, the known ones and those that need to search for physical values are clarified. In tasks to be seated it should be done by the solver itself. Solving the physical tasks is primarily a process of thinking, so it is at the base of thinking operations, methods. At school, the study of physics actually occurs only on the basis of set tasks. In the future, the methodological system for studying the tasks set should be finalized and introduced into schools.

**მარადღებელი (ბენო) წუბწუშია, მანუხარ წუბწუშია,  
თამარ ბობონია**

**ლაზერული დიაგნოსტიკის პრინციპები,  
ყველაზე ტიპური მავალითები**

**ჰოლოგრამა მედიცინის სამსახურში.** მოცემულ ნაშრომში მოყვანილი პრინციპი ახალი არაა, მაგრამ გამოყენების მეთოდი აშკარად ნოვატორულია. ისრაელის ერთ-ერთ მსხვილ კვლევით ცენტრში შემუშავებულია მეთოდიკა, რომელიც საშუალებას იძლევა ისეთი ორგანოს, როგორც გულია ოპერაციის დროს, 3D ფორმატში მოხდეს დაკვირვება. როგორც ექიმმა ელმანან ბრუკ ხაიმერმა ახსენა, „საოპერაციო არე ყოველთვის შეზღუდულია. აქ კი ჩვენ ვხედავთ ნებისმიერ ანატომიურ ორგანოს, მის კავშირებს სხვა ორგანოებთან. ჩვენ ვხედავთ ყველაფერს რაც ხდება, უფრო მეტიც, შეგვიძლია ვიწინასწარმეტყველოთ თუ რა მოყვება ჩვენს მოქმედებას. ასე რომ ეს მეთოდიკა შეგვიძლია გამოვიყენოთ, როგორც ტრენაჟორად, ისე რეალური ოპერაციების დროს“.

საჭირო მონაცემებს კომპიუტერი იღებს ან ულტრაბგერითი ანალიზით, ან ტომოგრაფიის დახმარებით ახდენს მის ტრანსლირებას. მონაცემთა შედეგად დგება ჰოლოგრამა. სპეციალური კომპიუტერული პროგრამული უზრუნველყოფის შედეგად და პროექტორის მეშვეობით ხდება მისი პროეცირება, როგორც პრაქტიკოსი ქირურგები იძახიან, ასეთი მეთოდიკა დაეხმარება მათ ჩასატარებელი ოპერაციის ხარისხის გაუმჯობესებაში.

„საერთოდ ქირურგები მოქმედებენ არა მარტო მიღებული ცოდნისა და გამოცდილების ბაზაზე, არამედ ინტუიციით და აი ჩვენ გვეძლევა საშუალება შევამოწმოთ ჩვენი ინტუიცია და მიხვედრილობა“, - შენიშნა პროფესორმა-კარდიოლოგმა ეინათ ბირკმა. ახალი ტექნოლოგიის კიდევ ერთი დადებითი მომენტი: ჰოლოგრამის წასაკითხად არაა საჭირო სპეციალური ოპტიკური მოწყობილობა ან სათვალე. ახალი მეთოდიკა, აუცილებელი გამოცდის შემდეგ ფართოდ დაინერგება კლინიკურ პრაქტიკაში. ჰოლოგრამის ტექნიკა კორეაში შეიქმნა. მისგან მიიღება სამგანზომილებიანი ფოტო. ისინი იქმნება გარეშე ობიექტივით. საინტერესო ამ მეთოდში ის არის, რომ თითოეული ნაჭერი სურათს შეიცავს. სწორედ ამიტომ, ლათინო ამერიკაში უწოდებენ Hologram Therapy.

ახსნა, თუ რატომ და როგორ მუშაობს ჰოლოსისტემა, არ არის საკმარისად განვითარებული და ნაკლებად სავარაუდოა, რომ ეს შეიძლება გაკეთდეს მერიდიანების მეშვეობით, ის აღწერილია კუპუნკტურით, თუმცა ეს უკანასკნელი უფრო, მისი ანალოგი პროექტირებაა. დოქტორი რაფაელ გარსია ჩაკონი, ვარაუდობს, რომ ჩვენ შეიძლება მივმართოთ ახალ ფუნქციურ ცნებებს ენერგეტიკასთან დაკავშირებით. აგტონომიური ნერვული სისტემა რას წარმოადგენს ნათელია, მისი უზარმაზარი თერაპიული ეფექტურობის განვითარებისთვის ჩვენ დავისახეთ შემდეგი ამოცანები:

ზოგადი დემონსტრირება, ეფექტურობა თერაპიული ჰოლორამის მხრივ, პაციენტებში დარღვევები, SOMA, ჰიპერტენზია და თავის ტკივილი.

**სპეციფიკა:**

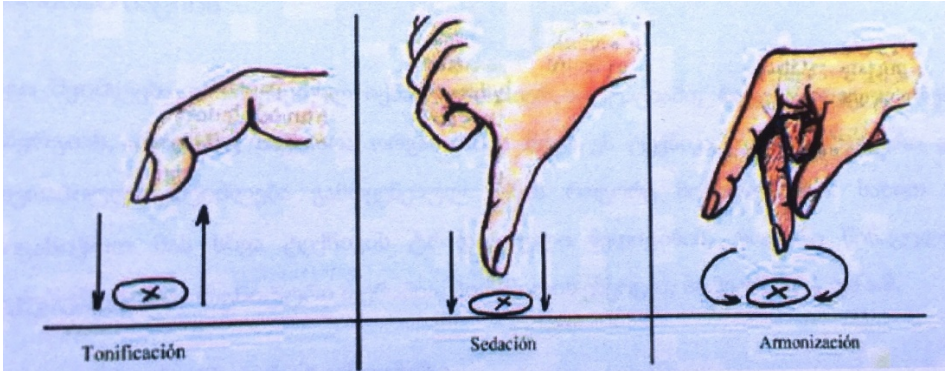
1. კვლევის ნიმუშის ასაკის იდენტიფიცირება.
2. ავირჩიოთ ჯგუფების მიხედვით დიაგნოზი.
3. კვლევის შესაძლო გვერდითი რეაქციების განსაზღვრა.

**კვლევის მეთოდები.** სპორტული მედიცინის ცენტრში, პროვინცია Ciego de Avila, შედგა ჯგუფები, რომელიც შედგებოდა ყველა პაციენტისგან, რომლებიც ესწრებოდნენ კონსულტაციებს ფიზიკური, ბუნებრივი და ტრადიციული მედიცინის მეთოდებით. შეირჩა 114 პაციენტი. ნიმუშზე: SOMA პირობები, ჰიპერტენზია და თავის ტკივილი. სრულდება თითოეული პაციენტის საფუძვლიანი შემოწმება დიაგნოსტიკის მხრივ და ამ გზით გამოიყენება სათანადო მკურნალობა.

პაციენტები უნდა აკმაყოფილებდნენ ტესტის მოთხოვნებს. ყველა ინფორმირებული იყო ზეპირად და წერილობით მისი სარგებლის და შესაძლო რისკების მიზნების შესასწავლად, რომელსაც ისინი ექვემდებარებიან. გარდა ამისა, უფლება ჰქონდათ ან ნებაყოფლობით მიეღოთ მონაწილეობა ან დაეტოვებინათ კვლევა. ისინი, ვინც შეთანხმდნენ, ხელი მოაწერეს ინფორმირებულ თანხმობის დოკუმენტს, ასევე ხელი მოაწერეს მთავარ ფაილს (CRF მონაცემებით), რომელიც ყველა პაციენტს ჰქონდა გამოყენებული პირველ კონსულტაციაზე, და კითხვაზე, ყოველ სხდომაზე და შეფასებულ იყვნენ ბოლოს, მესამე დღეს მოპყრობის თაობაზე.

**მკურნალობა.** ჰოლოგრამის ტექნიკა თავის მხრივ, მკურნალობის მიმართ თითოეულ პაციენტს მოიცავს. რაც იმას ნიშნავს, რომ „ხელით“ გა-

მოიყენება, ძირითადად იმიტომ, რომ ეს არის ყველაზე ადვილად წარმოდგენა ადამიანის სხეულის ამბულატორიული ტექნიკით. ეს არის ზუსტად ერთ-ერთი მეთოდი, მტკივნეულ ადგილზე მდებარე ტერიტორიაზე შესაბამისი ხელით მკურნალობა რამდენიმე წუთის განმავლობაში. მანევრები (სერბილები, დისპერსიული და ჰარმონიზაციის) და ენის ენერგია.



**მატონიზირებული.** ეს არის სასარგებლო დადლილობის დროს. მანევრი შედგება strike სწრაფად შერჩეული წერტილი მოძრაობს საათის ისრის მიმართულებით. ეს მანევრი ხდება, როდესაც ჩვენ ენერგიის დეფიციტი გვაქვს. მაგალიად, როდესაც თქვენ დააჭირეთ ღრმად და პაციენტი გრძნობს რელიეფს (მდიდარი ტკივილი).

**დისპერსიული სედაციის.** იგი გამოიყენება ტკივილის და ნერვული შფოთვის, კუნთების და არტერიული წნევის, წინააღმდეგ. ეს უნდა იყოს გამოყენებული, როდესაც არსებობს ჭარბი ენერგია. მაგალითი: იმ ტერიტორიაზე უნდა მოექცნენ სადაც არის ტკივილი მწვავე ზედაპირზე.

**ჰარმონიზაციის.** იგი შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნებისმიერ სიტუაციაში, რადგან არეულირებს ენერგიას, როგორც საჭიროა ორგანიზმის მიერ. ეს ტექნიკა, დიაგნოსტიკური და თერაპიული შეიძლება გამოყენებულ იქნას, როგორც მონოთერაპიის სახით ან მივანიჭოთ მას სხვა ტექნიკის ტრადიციული მედიცინის, როგორც წინაგულის აკუპუნქტურა, მაგნიტური თერაპია, პირამიდის ენერგია, ჰომეოპათია და ა.შ.

**დიაგნოსტიკური კრიტერიუმები.**

- ჰიპერტენზიის მქონე პაციენტებში, SOMA პირობები და თავის ტკივილი.

**ჩართვის კრიტერიუმები.**

- პაციენტები, რომლებიც მოვიდნენ ფიზიოთერაპიისთვის და MN და T შეხვედრა სადიაგნოსტიკო კრიტერიუმებით არის აღნიშნული.

**გამორიცხვის კრიტერიუმები.**

- ორსულობა
- პაციენტები, რომელთა კანიც დაზიანებულია
- ფსიქიატრიული დარღვევები
- კრიტერიუმები

**მკურნალობის წარუმატებლობა.**

- მკურნალობის დაწყების შემდეგ პაციენტის სიმპტომები და ნიშნები მძაფრდება

**კრიტერიუმები და პროცედურები.**

- პაციენტები, რომლებიც ითხოვენ ნებაყოფლობით დატოვებას
- მუდმივი უარყოფითი რეაქცია
- მოვლენები ნებისმიერი გამორიცხვის კრიტერიუმებით აღნიშნული

**არასასურველი რეაქციები.**

- შევავასოთ ნებისმიერი გვერდითი რეაქცია, რომელიც შეიძლება წარმოიშვას

**მოსალოდნელი უარყოფითი რეაქცია კრიტერიუმი.**

- სინათლის ინტენსივობის რეაქცია, რომელიც გადაიტანა პაციენტმა და არ საჭიროებს სიმპტომურ მკურნალობას

**ზომიერი უარყოფითი რეაქცია კრიტერიუმი.**

- რეაქცია, როდესაც პაციენტს აქვს დისკომფორტი

**კრიტერიუმები მძიმე გვერდითი რეაქცია.**

- რეაქცია, როდესაც პაციენტი ეძებს სამედიცინო დახმარებას, მაშინ როცა საფრთხეს უქმნის სისტემის ფუნქციონირებას დაზარალებული.

**კმაყოფილების მოსაკლავად პაციენტის აზრი კვლევის შეფასებისას შემდეგნაირია:**

- დაკმაყოფილდა: პაციენტი აცხადებს, რომ მკურნალობა ძალიან კარგად ჩატარდა, მკურნალობის შემდეგ თავს კარგად გრძნობს.

- უკმაყოფილოა: პაციენტი ვერ გრძნობს თავს კარგად, ეს მკურნალობა ადვილი არ იყო მისთვის, საუკეთესო შედეგი ვერ მიიღო
- კოლექცია და მართვის მონაცემები

მოდელები გამოიყენება შეისწავლოს:

- ინფორმირებული თანხმობა
- CRF მონაცემები

**გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. <http://es.wikipedia.org>
2. <http://www.sallyweber.com/descent.htm>
3. ჯონათანსონი Hologram კოლექცია
4. <http://www.efdeportes.com>

## **Varadeful (Geno) Tsursumia, Manuchar Tsursumia, Tamar Gogochia**

### **Principles of Lazear Diagnostics. The Most Typical Examples**

The principle in this work is not new, but the method of application is obviously innovative. In Israel's one of the largest research centers, the methodology has been developed to allow such a body as it is in the 3D format to monitor the operation. According to Dr. Elshanan Brück Khammer, "The operating area is always limited. Here we see any anatomical body, its connections with other organs. We see everything that happens, moreover, we can predict what will happen to us. So this method can be used as a gym and real operation".

## იოლღა ბაბინია, ნატო თოლორაია

### გეომაგნიტური ველის ვარიაციების ბიოფიზიკური საკითხისათვის

ცნობილია, რომ საზოგადოებისგან საკუთრებულ ინტერესს იწვევს მზის აქტივობასთან დაკავშირებული ბუნებრივი ფიზიკური მოვლენები, რომელთა შორისაც ერთერთი მნიშვნელოვანია გეომაგნიტური ველის ცვლილებები [1]. მაგნიტური ველების, მათ შორის გეომაგნიტური ველის, ცოცხალ ორგანიზმებზე მოქმედების მექანიზმი ჯერ კიდევ ბოლომდე არ არის დადგენილი. ამიტომ კითხვა: რანაირად მოქმედებს გეომაგნიტური ველი ადამიანის ჯანმრთელობაზე? დღეს ისევე აქტუალურია, როგორც, ეს იყო საუკუნის გარიჟრაჟზე, როდესაც რუსმა მეცნიერმა ალექსანდრე ჩიჟევსკიმ პირველმა მიაქცია ყურადღება ამ პრობლემას [2].

დედამიწის ბირთვში მიმდინარე რადიაციული დაშლის პროცესთან ერთად, ჩვენს პლანეტაზე ყველა ფიზიკური თუ ბიოქიმიური პროცესის მიზეზია მზე. მზის ზემოქმედებას ცოცხალ ორგანიზმებზე განაპირობებს მისი აქტივობა, რომლის მთავარი მახასიათებელია რადიაციული გამოსხივების სპექტრი. მზის აქტივობის ბიოსფეროზე ზემოქმედების პრობლემის განხილვისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ, რომ ადამიანის ევოლუცია მოხდა ბუნებრივი ელექტრული, მაგნიტური და გრავიტაციული ველების ფონზე. ის ფორმირებაში მაღალი სიხშირის ტალღების გარდა მონაწილეობენ აგრეთვე დაბალი სიხშირის ელექტრომაგნიტური ტალღებიც. სწორედ ეს ტალღები ვლინდებიან გეომაგნიტური ველის მრავალფეროვან ცვლილებებში, რომელთა წარმოქმნა დაკავშირებულია დედამიწის მაგნიტოსფეროს სხვადასხვა შიდა სტრუქტურებში მიმდინარე სხვადასხვა სივრცული და დროითი მასშტაბების მქონე პროცესებთან.

მაგნიტოსფერული, იონოსფერული და ტროპოსფერული წყაროების გარდა ზღვის გარემოც შეიძლება იყოს ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ტალღების გენერაციის არე. ბიოფიზიკური პრობლემებთან დაკავშირებით გარკვეული ყურადღება ეთმობა აგრეთვე ტექნოგენურ ველებს, რომელთა წყაროები დაკავშირებულია ადამიანის სამრეწველო საქმიანობასთან და შეიძლება მრავალფეროვანი იყოს. მაგალითად: რკინიგზის ელექტროფიცირებული ხაზები, კავშირგაბმულობის კაბელები ან მობილური კავშირის მოწყობილობები. ასე რომ, ერთიანი ბიოსფერული ელექტრომაგნიტური ველი წარმოადგენს სხვადასხვა წარმოშობის ველების სუპერპოზიციას:

1. დედამიწის ელექტრომაგნიტური ველი, აღძრული ტროპოსფეროში, იონოსფეროსა და ატმოსფეროში მიმდინარე პროცესების შედეგად;

2. ელექტრომაგნიტური ველები, რომელთა გენერაციაც გამოწვეულია დედამიწის მაგნიტურ ველში ელექტროგამტარი ზღვის (ოკეანის) წყლის გადაადგილების შედეგად (ე.წ. მაგნიტოჰიდროდინამიკური ხმაური);
3. ინდუსტრიული წარმოშობის ელექტრომაგნიტური ველები.

ამრიგად, კაცობრიობა ცოცხლობს და ვითარდება უწყვეტი ელექტრომაგნიტური ზემოქმედების პირობებში. მაგრამ, ბიოსფერულ რადიაციულ ფონს ახასიათებს არსებითი ცვლილებანი მზის აქტივობაზე დამოკიდებული ბუნებრივი ელექტრული და მაგნიტური ველების ზეგავლენით. კერძოდ, ეს ნიშნავს, რომ გეომაგნიტური ველის გამორიცხვა უმნიშვნელოვანესი ბუნებრივი ფაქტორების რიგიდან დაუშვებელია. უნდა ავღნიშნოთ, რომ ბიოლოგიურ ობიექტებზე მნიშვნელოვან ზემოქმედებას ახდენენ აგრეთვე უწყვეტად მოქმედი სხვა გეოფიზიკური ფაქტორებიც: გარემოს ტემპერატურა, ჰაერისა და წყლის ქიმიური შემადგენლობა, ატმოსფერული წნევა და ტენიანობა. ამ გეოფიზიკური ფაქტორების გავლენა ადამიანის ორგანიზმზე საკმაოდ კარგად არის შესწავლილი.

გეომაგნიტურ ველს ახასიათებს სხვადასხვა ხანგრძლივობის მქონე რეგულარული და ირეგულარული ცვლილებები, ე.წ. სპონტანური შეშფოთებები. ეს შეშფოთებები განპირობებულია როგორც მზის აქტივობით და სხვა კოსმოსური ფაქტორებით, ასევე დედამიწის მაგნიტური ფარის, მაგნიტოსფეროს სტრუქტურული თავისებურებებით. მზის სისტემის პლანეტების მხოლოდ ნაწილს გააჩნია საკუთარი მაგნიტური ველი, რომლის არსებობაც გადამწყვეტი აღმოჩნდა დედამიწაზე ორგანული სამყაროს განვითარებისათვის. გეომაგნიტური ველი ორ პოლუსიანია, ანუ დიპოლური, ხოლო მისი ინტენსივობა გაცილებით უფრო სუსტია, ვიდრე, მაგალითად, მზის ან იუპიტერის მაგნიტური ველების. მაგრამ, გეომაგნიტური ველის სიდიდე საკმარისი აღმოჩნდა მზის მოჭარბებული რადიაციული გამოსხივებისაგან ცოცხალი სამყაროს ეკრანირებისათვის. დედამიწის მაგნიტური ველის დაძაბულობა 0,5 გაუსია, მაგრამ მიღებულია დაძაბულობის ვექტორის მდგენელების შეფასება ერთი მეასიათასედი გაუსის, ე.წ. გამას საშუალებით, რომელიც სიდიდით ერთეულთა საერთაშორისო სისტემაში ემთხვევა ნანო ტესლას (ნტლ). ის, რომ დედამიწის მაგნიტური ველი დიპოლური სტრუქტურისაა, მეცნიერებისათვის ცნობილი იყო მე-19 საუკუნის დასაწყისიდან, როდესაც კარლ გაუსმა ჩამოაყალიბა გეომაგნიტური ველის მათემატიკური თეორია მაგრამ, დედამიწის მაგნიტური ველის დიპოლური სტრუქტურა რეალობაში დამახინჯებული აღმოჩნდა მზის ქარის, ანუ მისი ქრომოსფეროდან გამოფრქვეული მეტად გაიშვიათებული პლაზმური ნაკადის, არსებობის გამო. საპლანეტათაშორისო სივრცეში მზის ქარი რომ არ ვრცელდებოდეს, დედამიწის მაგნიტური ველის სტრუქტურა მართლაც დიპოლური იქნებოდა, ანუ სიმეტრიული მთავარი,



ეკვატორიული და მერიდიონალური, კვეთების მიმართ. კოსმოსურმა ექსპერიმენტებმა კი აჩვენეს, რომ დიპოლური სტრუქტურა დამახასიათებელია მხოლოდ მაგნიტოსფეროს შიდა არეებისათვის, ხოლო მთლიანობაში მას ხოჭოს მსგავსი ფორმა გააჩნია, რომლის თავი მზისკენ არის მიმართული, ხოლო კუდი, ანუ ღამის მხარე, მზის საწინააღმდეგოდ.

ამრიგად, გეომაგნიტური დიპოლი სივრცეში შეზღუდული აღმოჩნდა, თუმცა მაგნიტოსფეროს ზომები, დედამიწასთან შედარებით მაინც გიგანტურია. მაგალითად, მისი დღის მხარის საზღვრის ხაზოვანი მასშტაბი დაახლოებით დედამიწის 15 რადიუსია, ანუ ასი ათასი კმ, ხოლო ღამის მხარისა - ერთი მილიონი კმ. მაგნიტოსფეროს რთული სტრუქტურული აგებულება აქვს, რადგანაც შესდგება სხვადასხვა ფიზიკური მახასიათებლების მქონე რამოდენიმე შრისაგან. დედამიწის უახლოესი კოსმოსური შრეა ნეიტრალური ატმოსფერო, რომლის შემდეგ მდებარეობს იონოსფერო, ანუ დედამიწის მთავარი ელექტრონული გარსი. იონოსფეროს ზემოთ განლაგებულია პლაზმოსფერო, რომელიც წარმოადგენს მაგნიტოსფეროს ძირითად პლაზმურ რეზერვუარს. ამშრეების გარდა, მაგნიტოსფეროს გააჩნია აგრეთვე რამდენიმე რადიაციული სარტყელი, სხვადასხვა სასაზღვრო ფენები და ე.წ. ნეიტრალური ფენი მაგნიტოსფეროს კუდში. ამრიგად, დედამიწის მაგნიტოსფერო სტრუქტურულად მეტად არაერთგვაროვანია. ამიტომ, ის მეტად მგრძობიარეა მზეზე მიმდინარე პროცესების მიმართ და მკვეთრად რეაგირებს მზის ქარის პარამეტრების ნებისმიერ ცვლილებაზე.

მიღებულია, რომ დედამიწის მაგნიტური ველი წარმოადგენს ცვლადი და მუდმივი მდგენელების ჯამს, რომელთაგანაც პირველი განისაზღვრება კოსმოსური ფაქტორებით, ხოლო მეორე, შედარებით მყარი და დროში ნაკლებად ცვლადი, დედამიწის სიღრმეული აგებულებით. პირველი მდგენელის ცვლილებებთან არიან დაკავშირებული ძლიერი შემოფოთებები, გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლები, აგრეთვე შედარებით უფრო ნაკლები ინტენსივობის მქონე, გეომაგნიტური ველის რეგულარული და ირეგულარული ვარიაციები. ამ უკანასკნელებს ეწოდებათ გეომაგნიტური ვარიაციები და პულსაციები [3]. უკანასკნელ დრომდე მედიკოსთა შორის გავრცელებული იყო მოსაზრება, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის ცვლილებების მრავალრიცხოვან სახეობათა შორის მხოლოდ გლობალურ, ანუ მსოფლიო მაგნიტურ ქარიშხლებს, გააჩნიათ შესამჩნევი ბიოლოგიური ეფექტი. ასეთი შეხედულება აშკარად დეტერმინირებულია და, როგორც სჩანს, გამოწვეულია მაგნიტოსფეროში მიმდინარე პროცესების ფიზიკური არსის გაუთვითცნობიერებლობით. სწორედ ამიტომ და რადგანაც გლობალური მაგნიტური ქარიშხლები, პულსაციებისა და ვარიაციების მსგავსად, დედამიწაზე მზის აქტივობის ცვლილების გამოვლინების კონკრეტული ფორმებია, სასარგებლოა

მოკლედ განვიხილოთ ამ განსხვავებული მოვლენების ფიზიკური არსი.

როგორც ავლნიშნეთ, გეომაგნიტური ველი შედგება მუდმივი და ცვლადი მდგენელებისაგან. ასეთი დაყოფა, გარკვეულად, პირობითია, რადგანაც პირველ მდგენელსაც (ე.წ. მთავარი გეომაგნიტური ველი) ახასიათებს ცვლილებები. კერძოდ, ცნობილია განსაკუთრებით გრძელპერიოდისანი, ე.წ. საუკუნეობრივი ვარიაციები, რომელთა ამპლიტუდები შეიძლება 100ნტლ რიგის იყოს. გეომაგნიტური ველის ცვლადი მდგენელი განიცდის გაცილებით უფრო სწრაფ ცვლილებებს, რომელთა ამპლიტუდები ჩვეულებრივ 0,1-10ნტლ დიაპაზონშია, ხოლო პერიოდი შეიძლება იყოს წამის ნაწილებიდან დღე-ღამემდე. ეს ფლუქტუაციები შეიძლება იყოს როგორც რეგულარული, ასევე ირეგულარული, ანუ სპონტანური ხასიათის. რეგულარული ფლუქტუაციების, ანუ როგორც მათ მეორენაირად უწოდებენ, გეომაგნიტური ვარიაციების, არსებობა დაკავშირებულია მზის გამოსხივების ულტრაიისფერი ნაწილის ზემოქმედებასთან დედამიწის რადიაციულ სარტყლებზე და იონოსფეროზე. ამ სტრუქტურების პარამეტრებს ახასიათებთ განსაკუთრებით შესამჩნევი დღე-ღამური ცვლილებანი, რომლებიც თავის მხრივ იწვევენ გეომაგნიტურ ვარიაციებს. მათ ახასიათებთ დამოკიდებულება განედის კოორდინატებზე, რაც გამოიხატება რხევების ფაზურ წანაცვლებებში და ამპლიტუდის მახასიათებელი მნიშვნელობის განედურ ცვლილებებში. ვარიაციების დღეღამური ამპლიტუდების მნიშვნელობათა სხვაობამ საშუალო და დაბალ განედებზე, მაგალითად, საქართველოში, გეომაგნიტური ველის ჰორიზონტალური კომპონენტისათვის შეიძლება შეადგინოს 40-50ნტლ. დადგენილია, რომ დღეღამური გეომაგნიტური ვარიაციები განიცდიან აგრეთვე სეზონურ და წლიურ ცვლილებებსაც მზის აქტივობის მოკლექპერიოდის ციკლში, რომლის ხანგრძლივობა დაახლოებით 11 წელიწადია. დღეღამურ ვარიაციებზე შეიძლება მოხდეს გეომაგნიტური ველის სხვადასხვა ფლუქტუაციების ზედდება, რომელთა გამორიცხვაც, ჩვეულებრივ, ადვილად ხერხდება. ჩვეულებრივ, გეომაგნიტური ველის ასეთი შეშფოთებები ლოკალურ ხასიათს ატარებენ და პერიოდულად დაიმზირებიან განსაზღვრულ განედურ სექტორებში. ასე ვლინდებიან მაგალითად: სუბქარიშხლები მაღალ განედებზე და პოლარულ არეებში, ან გაცილებით უფრო ინტენსიური მაღალგანედოვანი ლოკალური ქარიშხლები.

სუბქარიშხლებთან შედარებით იშვიათად დაიმზირებიან გეომაგნიტური ველის საყოველთაო, განსაკუთრებით ინტენსიური შეშფოთებები, გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლები. არსებული კლასიფიკაციის მიხედვით განასხვავებენ გეომაგნიტურ ქარიშხლებს უეცარი და თანდათანობითი საწყისით. პირველი ტიპის მაგნიტური ქარიშხლის შემთხვევაში გეომაგნიტური ველის დაძაბულობის ყველა მდგენელში ადგილი აქვს ამპლიტუდის უეცარ ნახტომს,

რაც მსოფლიოს ყველა მაგნიტურ სადგურში ერთდროულად აღინიშნება. სხვადასხვა ქარიშხალისათვის ნახტომის სიდიდე რამოდენიმე ათეული ნტლ-იდან ასობით ნტლ-მდე იცვლება. გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლები შეიცავენ განვითარების რამოდენიმე ფაზას. როგორც აღნიშნეთ, საწყისი ფაზა გამოხატულია მხოლოდ უეცარი საწყისის მქონე ქარიშხლებისათვის. ჩვეულებრივ, ეს ფაზა გრძელდება 1-2 საათს. მთავარი ფაზა, რომელიც გააჩნია ყველა ქარიშხალს, ჩვეულებრივ გრძელდება 3-12 საათს და ხასიათდება მაგნიტური ველის დაძაბულობის დეპრესიით, რომლის ამპლიტუდა დაბალ განედებზე შედარებით მცირეა და მაღალ განედებზე რამოდენიმე ასეულ ნტლ-ს აღწევს. ქარიშხლის მესამე, აღდგენით ფაზაში, მაგნიტური ველი მდოვრედ უბრუნდება მახასიათებელ ფონურ მნიშვნელობას.

გლობალური გეომაგნიტური ქარიშხლების განმეორადობა დროში შემთხვევითი ხასიათისაა, რადგანაც მათი გენერაციის სიხშირე დაკავშირებულია მზის აქტივობის სტოქასტიკურ ცვლილებებთან. მზის აქტივობის ციკლის დასაწყისისათვის წლის განმავლობაში დამახასიათებელია შედარებით ნაკლები რაოდენობის მაგნიტური ქარიშხალი. გაზრდილი აქტივობის პერიოდში ქარიშხლების რიცხვი წელიწადში 50 აღწევს. მაგნიტური ქარიშხლების რაოდენობაზე მოქმედებს აგრეთვე სეზონური ფაქტორი. კერძოდ, მათი რიცხვი იზრდება დღე-ღამ ტოლობის პერიოდებში. ასევე, გეომაგნიტურ ქარიშხლებს ახასიათებს აგრეთვე 27-დღიანი ციკლით განმეორადობა, რაც დაკავშირებულია მზის ბრუნვასთან საკუთარი ღერძის ირგვლივ.

დედამიწის მაგნიტური ველის პერიოდულ ვარიაციებს სიხშირეთა დიაპაზონში ერთი მეათასედიდან ათ პერცამდე გეომაგნიტური პულსაციები ეწოდებათ. ამრიგად, ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური გამოსხივების სპექტრში გეომაგნიტურ პულსაციებს ყველაზე დაბალი სიხშირეები შეესაბამებათ. გეომაგნიტური პულსაციების ამპლიტუდები დამოკიდებულია მათ სიხშირეზე და გეომაგნიტურ განედზე. ავრორალურ (პოლარულ) არეებში ყველაზე გრძელპერიოდური რხევების, ანუ გიგანტური პულსაციების, ამპლიტუდა დედამიწაზე ან ოკეანის ზედაპირზე აღწევს 100ნტლ-ს. მათგან განსხვავებით, ეკვატორულ არეებში დამზერილი ყველაზე მოკლეპერიოდური პულსაციების ამპლიტუდები ხშირად ნტლ-ის წილების რიგისა.

ამრიგად, გეომაგნიტური პულსაციების სიხშირეთა დიაპაზონი საკმაოდ მრავალფეროვანი და დისკრეტულია, რის გამოც მის შიგნით ცხადად გამოიყოფა რამოდენიმე მახასიათებელი სიხშირე. დღეისათვის ცნობილია გეომაგნიტური პულსაციების 9 ძირითადი ტიპი, რომელთაც გააჩნიათ სხვადასხვა ფოკალური სახესხვაობი. პულსაციათა ძირითადი ტიპებია Pc1-6 და Pi1-3 პულსაციები, რომე-

ლთაც გააჩნიათ კვაზისინუსოიდალური ფორმები. პირველ ტიპს ახასიათებს შედარებით სტაბილური, დროში ხანგრძლივი არსებობის რეჟიმი, რის გამოც აქ გაერთიანებული პულსაციები ითვლებიან მდგრად პულსაციებად. მეორე ტიპის, ანუ ირეგულარული, პულსაციები გეომაგნიტური ველის ჩანაწერებში, როგორც წესი, წარმოადგენენ რხევათა მოკლე ცუგებს, ან მაგნიტურ ხმაურს.

რეგულარული პულსაციებისათვის დამახასიათებელია მკვეთრი სპექტრალური მაქსიმუმი ძირითადი, ანუ მახასიათებელი, სიხშირეების მახლობლობაში, მაშინ, როცა ირეგულარულ პულსაციებს გააჩნიათ რეგულარულებთან შედარებით უფრო ფართო, მდოვრე სიხშირული სპექტრი. მდგრადი Pc3-6 და ირეგულარული Pi2-3 პულსაციები გაერთიანებულია გრძელპერიოდთან გეომაგნიტურ პულსაციათა ჯგუფში, ხოლო Pc1,2 და Pi2 წარმოადგენენ მოკლეპერიოდთან პულსაციებს. ყველა გეომაგნიტური პულსაცია დედამიწის მაგნიტური ველის კონკრეტული ტიპის შემოფოტების გამოვლინებაა და წარმოადგენს დედამიწის მაგნიტური გარსის შემადგენელი სტრუქტურების ფიზიკური მდგომარეობის ცვლილების ცხად ინდიკატორს. კერძოდ, პულსაციები ჩვეულებრივ თან ახლავენ გლობალურ გეომაგნიტურ ქარიშხლებს, ხოლო მაღალ განედებზე-სუბქარიშხლებსაც. ამ უკანასკნელების თანმდევი პულსაციები საშუალო და დაბალ განედებზე შედარებით იშვიათად დაიმზირებიან. საშუალო განედებზე განსაკუთრებული ინტერესის საგანს წარმოადგენს მდგრადი ტიპის გეომაგნიტური პულსაციების დინამიკა. ეს პულსაციები განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია გეომაგნიტური ქარიშხლების პერიოდებში. დადგენილია, რომ თითოეული ტიპის მდგრად გეომაგნიტურ პულსაციას შეესაბამება კონკრეტული მაგნიტოსფერული სტრუქტურა, როგორც მისი გენერაციის არე. საქართველოს განედურ ზოლში წყნარ პირობებში ყველაზე უფრო ხშირად დაიმზირება Pc3 პულსაცია, განსაკუთრებით ლოკალური შუადღის მახლობლობაში, მახასიათებელი პერიოდებით 15+30 წმ. [3].

ხშირად პოპულარულ გამოცემებში ავადმყოფ ადამიანებზე გეომაგნიტური ქარიშხლების ზემოქმედებას აიგივებენ მზის რენტგენული გამოსხივების მკვეთრი ზრდის ეფექტთან ქრომოსფერული აალებების დროს. ასეთ შემთხვევებში მზის რენტგენული გამოსხივების ინტენსივობა იზრდება გეომაგნიტურ ქარიშხლამდე 2-3 დლით ადრე. რენტგენის სხივები ვრცელდება სინათლის სხივის სიჩქარით (სამასი ათასი კმ/წმ), მაშინ, როცა მზის ქარის მახასიათებელი სიჩქარეა წამში სამასიდან ათას კმ-მდე. ამიტომ, მზეზე აალების შემდეგ რენტგენის სხივები დაახლოებით რვა წუთში მოაღწევენ დედამიწას, ხოლო მზის ქარის პლაზმა – 2-3 დღის შემდეგ. მართლაც, ცალკეული სტატისტიკური მონაცემები ადასტურებენ, რომ მაგნიტური ქარიშხლების წინ, ანუ აალების თანადროულად, ხშირად

ხდება ავადმყოფების მდგომარეობის გაუარესება. მაგრამ, ეს მონაცემები მოითხოვენ გულდასმით გამოწმებას, რაც არც ისე იოლი ამოცანაა, რადგანაც დაკავშირებულია მრავალწლიან დაკვირვებებთან ავადმყოფთა დიდ ჯგუფებზე [2].

როცა ვიხილავთ ადამიანის სასიცოცხლო რითმების, მაგალითად, გულის საკუთარი სიხშირეებისა და მოკლეპერიოდიანი გეომაგნიტური პულსაციების თანხედენის შესაძლო შედეგებს, გავიხსენოთ მექანიკიდან კარგად ცნობილი რეზონანსის მოვლენა, რომელიც, ერთის შეხედვით, თითქოს მეტად მყარი კონსტრუქციების დაზარეულს იწვევს. ანალოგიური რამ შეიძლება მოხდეს ცოცხალ ორგანიზმშიც გეომაგნიტური პულსაციების ზეგავლენით. თუ ადამიანი ჯანმრთელია, მისი გული ადვილად იტანს გაზრდილ დატვირთვას, რასაც იწვევს გეომაგნიტური პულსაციებისა და გულის საკუთარი სიხშირეების თანხვედრა. თუ გული დაავადებულია, რეზონანსის შედეგად შესაძლებელია კრიზისული მოვლენების განვითარება, რაც ხშირად შეიძლება ლეტალური შედეგითაც დამთავრდეს [4]. მაგრამ, არ არის გამორიცხული, რომ, უარყოფით ეფექტებთან ერთად, გეომაგნიტურ პულსაციებს დადებითი ზემოქმედებაც ჰქონდეთ ცოცხალ ორგანიზმებზე. ასეთი ჰიპოთეზა გამოთქვა გასული საუკუნის 80-იან წლებში რუსმა მეცნიერმა მიხეილ სავინმა. მისი აზრით, გეომაგნიტური პულსაციები ხელს უწყობენ ადამიანის გონებრივი პროტენციის ზრდას, რაც განსაკუთრებით შესამჩნევი უნდა იყოს ბუნებრივი ნიჭით დაჯილდოებულ ინდივიდებში. ამ ჰიპოთეზის მიხედვით ნიჭიერი ადამიანი ქვეცნობიერად განსაკუთრებით მგრძობიარეა Pc1-3 გეომაგნიტური პულსაციების მიმართ, რომლების მას შემოქმედებით სტიმულს აძლევენ. ისმის კითხვა: როგორ უნდა მოხდეს პულსაციების ჯერ ასახვა, ხოლო შემდეგ მათი გამოვლენა ხელოვანის ან მეცნიერის ნაწარმოებში? მოსალოდნელია, რომ პულსაციების მოქმედების შედეგი სხვადასხვანაირად აისახება, მაგალითად: მწერლის, მომღერლის, ქიმიკოსის, მხატვარის ან მუსიკოსის შემოქმედებაში. ამ თვალსაზრისით განსაკუთრებით საინტერესოა მუსიკის, კერძოდ კლასიკური მუსიკის, ფენომენი. ცნობილია, რომ უხსოვარი დროიდან მრავალი ქვეყნის ექიმები იყენებდნენ მუსიკას, როგორც ეფექტურ სამკურნალო საშუალებას. რათა აეხსნა ეს ფენომენი, სავინმა მიმართა კომპოზიტორების შემოქმედებას, რადგანაც მუსიკალური ნაწარმოების სტრუქტურა, ნახატისაგან ან რომანისაგან განსხვავებით, კარგად ემორჩილება სპექტრალური ანალიზის მათემატიკურ მეთოდებს. ამ მიზნით სავინმა ჩაატარა ჩაიკოვსკის რამოდენიმე ნაწარმოების ანალიზი სწრაფი ფურიე-გარდაქმნის მეთოდით. აღმოჩნდა, რომ ამ შესწავლილი ნაწარმოებების მნიშვნელოვანი ნაწილის მახასიათებელი სიხშირეები თანხვედრიან მოკლეპერიოდიანი გეომაგნიტური პულსაციების მახასიათებელ სიხშირეებს, რაც შესაძლო რეზონანსულ ეფექტზე მიუთითებს. ამ

მხრივ გასაოცარი ყოფილა ჩაიკოვსკის მეექვსე სიმფონია, რომელიც ფაქტიურად აგებულია  $Pc^3$  პულსაციის მახასიათებელი სიხშირეთა სპექტრზე. ცნობილია, რომ ეს პულსაცია მიეკუთვნება საშუალო განვლებზე ყველაზე უფრო გავრცელებული გეომაგნიტური რხევების ტიპს [3,5]. როგორი შეიძლება იყოს ამ მოვლენის გამომწვევი მექანიზმი? ბიოფიზიკოსებმა კარგა ხანია დაადგინეს, რომ ბგერითი სიგნალები ნერვულ ქსოვილში გარდაიქმნებიან იდენტური სიხშირის მქონე ელექტრომაგნიტურ სიგნალებად იმ შემთხვევაში, თუ ბგერითი სიგნალის სიხშირე დაემთხვევა ორგანიზმის რომელიმე საკუთარ სიხშირეს. ანუ, რეზონანსის პირობებში მოსალოდნელია ორგანიზმის შიგნით განვითარდეს მაქსიმალური ბიო-ელექტრომაგნიტური ეფექტი, როგორც რეაქცია გარედან მიღებულ ბგერით გამაღიზიანებელზე. როგორც ავლნიშნეთ, არ არის გამორიცხული, რომ ადამიანის ბიორითმები ჩამოყალიბდნენ გეომაგნიტური პულსაციების გავლენით, რადგანაც ცოცხალი ორგანიზმები განვითარდნენ ბუნებრივი ელექტრომაგნიტური ველების ფონზე. სავინის სქემის მიხედვით მუსიკალური ნაწარმოების ადამიანზე ზემოქმედების ხარისხი უნდა დაკავშირებული იყოს კოსმოსურ გამაღიზიანებელთან (გრომაგნიტურ პულსაციასთან) მუსიკალური ნაწარმოების ჰარმონიული წყობის კავშირთან. ამ სქემით გამორჩეული ნიჭით დაჯილდოებული კომპოზიტორი ქვეცნობიერად აღითქვავს კოსმოსურ რითმებს გეომაგნიტური პულსაციების საშუალებით, რაც მასში შემოქმედებით იმპულსს იწვევს. რადგანაც ეს სიხშირეები ასევე რეზონანსულია მსმენელებისათვის, მათი აბსოლუტური უმრავლესობა ამ ნაწარმოების მოსმენის დროს მუსიკას ბუნებრივად ითვისებს, რის გამოც ასეთი ნაწარმოები მისაღებია ფართო მსმენელისათვის. ასე არ მოხდება, თუ ნაწარმოები აგებულია ხელოვნური ჰარმონიებზე, რომელიც ნაკლებად ან სულ არ შეიცავს ბუნებრივ სიხშირეებს. მაგალითად გამოდგება მეოცე საუკუნის უდიდესი კომპოზიტორის ალფრედ შნიტკეს მუსიკა, რომელიც ურთულეს ხელოვნურ ჰარმონიებს აგებდა და გასაგები იყო მხოლოდ სპეციალისტებისათვის, ჩვეულებრივი მსმენელისათვის კი ფაქტიურად გაუგებარი.

ზემოთ მოყვანილი მაგალითიდან სჩანს, რომ დედამიწის მაგნიტური ველის გავლენის შესწავლას ცოცხალ ორგანიზმებზე ფუნდამენტალური მნიშვნელობა შეიძლება მიენიჭოს. წარმოვიდგინოთ, რომ შესაძლებელი იყოს ადამიანის ტესტირება მაგნიტური პულსაციების საშუალებით, რათა შეუცდომლად განვსაზღვროთ საქმიანობის ის სფერო, რომელშიც ესა თუ ის ინდივიდი თავისი უნარის მაქსიმალურ რეალიზაციას შესძლებს. ასეთი პერსპექტივა მართლაც იარსებებს, თუ ცალსახად ახსნილი იქნება გეომაგნიტური ველისა და მისი ვარიაციების ადამიანზე მოქმედების მექანიზმი.

დასასრულს, გვინდა ავლნიშნოთ, რომ გეომაგნიტური ველის ცვლილებები მაგნიტური ქარიშხლების დროს შეიძლება არც იყოს

ჯანმრთელობის გაუარესების მიზეზი. ჩვენი ეს მოსაზრება გარკვეულწილად დასტურდება ცნობილი შავი ზღვისპირეთის კურორტის ურეკის ფენომენით.

მედიკოსთა წრეებში უდავოდ არის მიჩნეული, რომ ურეკის ქვიშის პლიაჟები განსაკუთრებული მაგნიტური თვისებებით ხასიათდებიან. ითვლება, რომ აქ სამკურნალო ეფექტის მთავარი მიზეზია სწორედ "მაგნიტური" ქვიშები, რომლებიც სასწაულ მოქმედებას ახდენენ ძვალ-სახსართა დაავადების მქონე ავადმყოფებზე, განსაკუთრებით ბავშვებზე. მაგრამ, ურეკის ტერიტორიაზე "მაგნიტურ" ქვიშებთან ერთად არსებობს აგრეთვე ძლიერი ლოკალური გეომაგნიტური ანომალია. ამ ანომალიას, რომელიც განთავსებულია ზღვისპირა პლიაჟზე მდინარე სუფსის შესართავის მახლობლად, ახასიათებს გეომაგნიტური ველის ნიშანცვლადი გრადიენტები. მათი სიდიდე, განსაზღვრული მინიმალური ხაზოვანი ბიჯით (5 მეტრი) არა თუ თანაზომადია, არამედ ხშირად აღემატება კიდევ საშუალო განედებზე მაგნიტური ქარიშხლების დროს დაფიქსირებული მაგნიტური ვარიაციების მნიშვნელობებს [6]. ბუნებრივია, ისმის კითხვა: თუ კი ურეკაში მაგნიტური ქარიშხლის მახასიათებელი გეომაგნიტური ფონია, რანაირად ხდება, რომ ეს ადგილი აღიარებულია, როგორც განსაკუთრებული სამკურნალო თვისებების მქონე? „მაგნიტური“ ქვიშების როლი ამ ფაქტში შეიძლება არც თუ გადამწვევტი იყოს, რადგანაც საქართველოს მთელ სანაპირო ზოლში გავრცელებული ქვიშების მაგნიტური თვისებები პრაქტიკულად ერთნაირია, რაც ჯერ კიდევ გასული საუკუნის 30-იან წლებში დაადგინა ცნობილმა გეოფიზიკოსმა მიხეილ ნოდამ [7]. ამიტომ, არ არის გამორიცხული, რომ სწორედ ურეკის ლოკალური გეომაგნიტური ანომალია თამაშობდეს გარკვეული ბიოსტიმულატორის როლს, აქაურ ქვიშებთან და განსაკუთრებით სუფთა, იონიზირებულ ჰაერთან ერთად.

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. ი. გაბისონია. გეომაგნიტური ველის პულსაციების ბიოეფექტურობასთან დაკავშირებით. სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომები, ტ.6, თბილისი, გამ. უნივერსალი 2008, გვ.43-51.
2. Т.К.Бреус, С.М.Чибисов, Р.М.Баевский, К.В. Шезбухов. Хроноструктура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М., из-во «Полиграфсервис», 2002, 231 с.
3. А.Нишида. Геомагнитный диагноз магнитосферы.М.,»Мир»,1980,299 с.
4. С.И. Рапопорт, Т.К.Бреус, Н.Г.Клейменова и др.Геомагнитные пульсации и инфаркты миокарда. Терапевтический архив, 2006,#4, с.56-60.
5. Я.М. Гогатишвили. Планетарные длиннопериодные геомагнитные пульсации и диагностика параметров околоземного космического пространства. Тбилиси, из-во GCI, 1997, 105 с.

6. Н.С.Хведелидзе, З.А.Кереселидзе, Г.Г.Беришвили, М.Г.Гиоргадзе. Особенности локальной магнитной аномалии Цкалцминда-Уреки. Тр. Института геофизики, т.60, Тбилиси, из-во «Глобус», с.98-105.
7. М.З.Нодиа. К вопросу о применимости магнитометрического метода разведки к магнитным пескам черноморского побережья. Сообщ. АН ГССР, т.1, №5, 1940, с.495-97.

## **Izolda Gabisonia. Nato Toloraia**

### **On the Issues of Bio-effectiveness of Geomagnetic Field Variations**

Variation of geomagnetic field is one of the significant natural physical phenomena concerning the Sun activity. The influence mechanism of the ambiguous. Thus, in spite of numerous researches carried out, the answer on the question “How does the magnetic field influence the human health?” is still actual. For example, the probable biological results of the coincidence of self-generated frequency of the human heart and short term geomagnetic pulsations are to be considered within the context of this problem. In particular, a healthy human individual can easily adapt the resonance within the organism, influenced by geomagnetic pulsation. If the individual’s heart is not healthy enough it may have some lethal development. Therewith, short term geomagnetic field variation (pulsation) may have positive influence on living organisms. This theory belongs to Mikhail Savin – a Russian scientist of the 80-ies of the twentieth century. In his opinion, geomagnetic pulsations stimulate the increase of mental potential that must be especially noticeable in naturally gifted individuals. According to this hypothesis a gifted person is subconsciously sensitive to Pc1-3 geomagnetic pulsations that stimulate him/her to act creatively. Concerning this issue we would like to note that like this one, some other geomagnetic field variations during a magnetic storm might not undoubtedly be the reason for aggravation of human health. This idea of ours is in some way confirmed by the phenomenon of Ureki – a Georgian Black Sea-side resort. A strong local geomagnetic anomaly together with “magnetic” sand is observed here. This anomaly is characterized by sign-changeable gradients of the geomagnetic field. Their characteristic value defined in minimal linear range (5 meters) is commensurable and in some cases exceeds geomagnetic field variations during magnetic storms on middle latitudes. Naturally, a question arises: if there is a geomagnetic background characteristic for typical magnetic storms in Ureki, then how has it happened that this area has been accepted as a resort with healing properties? The role of the “magnetic” sand might not be very essential for this phenomenon. It is quite possible that the local geomagnetic anomaly acts as a certain bio-stimulator together with the “magnetic” sand and especially the pure, ionized air.



## შორენა შარია

### მიტოქონდრიულ გენომში მუტაციებით გამოწვეული პათოლოგიები

მემკვიდრული დაავადებების უდიდესი უმრავლესობა განპირობებულია მიტოქონდრიაში გამოვლენილი სტრუქტურული და ფუნქციური დარღვევებით. ცნობილია, რომ მიტოქონდრები წარმოადგენს ეუკარიოტულ უჯრედთა ციტოპლაზმაში არსებულ ავტონომიურ ორგანოებს, რომელთაც ურთიერთშერწყმის უნარი ახასიათებთ. ადამიანის ორგანიზმის უჯრედები შეიცავს ასობით და ათასობით მიტოქონდრიას. მათი რაოდენობა და ზომა ქსოვილების ტიპზე არის დამოკიდებული. მიტოქონდრიათა რიცხვი აქტიურად ფუნქციონირებად უჯრედში მნიშვნელოვნად მეტია, ვიდრე ახალგაზრდა და ხანდაზმულ უჯრედში. ადამიანის მიტოქონდრია რამდენიმე ათეულ გენს კოდირებს. ჯერ კიდევ 1963 წელს იქნა დადგენილი, რომ მიტოქონდრიებს სხვა ორგანოებისაგან განსხვავებით, აქვთ საკუთარი გენომი, რომელიც ერთადერთი რგოლური ქრომოსომით არის წარმოდგენილი. ამჟამად ადამიანის გენომის სეკვენირება დასრულებულია, რომელიც 16569 ნუკლეოტიდურ წყვილს შეიცავს, აკოდირებს 2 რიბოსომულ, 22 ტრანსპორტულ რიბონუკლეინის მჟავებს და 13 პოლიპეპტიდს. მიტოქონდრიის გენომს ბირთვული გენომისაგან განსხვავებით გააჩნია რიგი თავისებურებები: უპირველეს ყოვლისა, მის ქრომოსომას არა აქვს ინტრონები, რის შედეგადაც შეიმჩნევა დიდი სიმკვრივე, მნიშვნელოვნად არის შემცირებული გენებს შორის შუალედები, ეუკარიოტულ დნმ-თან შედარებით[1]. გარდა აღნიშნულისა, მიტოქონდრიული მ-რნმ-ის უმრავლესობას არა აქვს 5'-3' არატრანსლირებადი თანმიმდევრობები. მიტოქონდრიული ქრომოსომის შიგნითა და გარეთა ჯაჭვებს აქვთ განსხვავებული სიმკვრივე H მძიმე და L მსუბუქი ჯაჭვის სახით. მიტოქონდრიულ დნმ-ს აქვს D მარყუჟი, რომელიც წარმოადგენს მის რეგულატორულ უბანს. D მარყუჟში ლოკალიზებულია H ჯაჭვის რეპლიკაციის საწყისი უბანი. მიტოქონდრიული დნმ-ის რეპლიკაცია წარმოადგენს ორსაფეხურიან ასინქრონულ პროცესს. გამოვლენილია განსხვავებები ბირთვული და მიტოქონდრიული დნმ-ის კოდებს შორისაც. ქრომოსომათა ანაწყოების (გენომის) გენეტიკურ მასალას შეესაბამება პლაზმონი, რომელიც შეიცავს ციტოპლ-

აზმის გენეტიკურ მასალას და არაქრომოსომული მემკვიდრეობითობის მატერიალური მატარებლები არიან. პლაზმოგენებს შეუძლიათ წარმართონ უჯრედის ზოგიერთი ნიშნის განვითარება და გააჩნიათ გაორმაგების უნარი. უჯრედში პლაზმოგენების გაქრობასთან ერთად, ქრომოსომები კარგავენ აღდგენის უნარს, ხოლო დედისეული უჯრედის დაყოფისას, ისინი ნაწილდებიან შეიღვეულ უჯრედებში. მუტაციათა სიხშირე მიტოქონდრიულ დნმ-ში ბევრად აღემატება ბირთვული დნმ-ის დაზიანებით გამოწვეულ მუტაციებს. ადამიანის მიტოქონდრიათა ქრომოსომების პოლიმორფიზმის გამოვლინებამ პოპულაციური გენეტიკისა და ანთროპოლოგიის განხრით, მკვლევართა დიდი ყურადღება მიიქცია. ამ დარგში კვლევების პიონერად ითვლება ბროუნი (Brown, 1980). იაპონიის ჩრდილოეთ კუნძულზე, ჰოკაიდოში მცხოვრებ ორიგინალურ პოპულაცია – Ainu-ს ადრე მიაკუთვნებდნენ კავკასიურ რასას. ანალიზის საფუძველზე დაყრდნობით დამტკიცდა, რომ Ai-nus-ს პოპულაციას გენეტიკური მსგავსება გააჩნია მონღოლოიდურ პოპულაციასთან. როგორც ზემოთ იყო აღნიშნული, მიტოქონდრიული დნმ შეიცავს გენებს, რომლებიც კოდირებულია ცამეტი პოლიპეპტიდით და შედის მიტოქონდრიების სუნთქვითი ჯაჭვის ხუთ კომპლექსში, აგრეთვე შეიცავს 22 ტრანსპორტული რნმ-ისა და 2 რიბოსომული რნმ-ის გენებს, დანარჩენი 70 ცილა მონაწილეობს ჟანგვითი ფოსფორილირების პროცესში და იმყოფება ბირთვული გენის კონტროლის ქვეშ. ამგვარად, მიტოქონდრიაში გამოვლენილი მემკვიდრული დაავადებები, რომლებიც გამოწვეულია ენერგეტიკული პროცესების დარღვევებით, შესაძლებელია დეტერმინირებული იყოს როგორც ბირთვული, ასევე მიტოქონდრიულ გენომში წარმოქმნილი მუტაციებით. ბირთვულ გენომში მუტაციების შემთხვევაში, მემკვიდრეობითობის მენდელისეული ტიპიდან გადახრა არ ხდება. აღწერილია დაავადებები აუტოსომურ-დომინანტური და აუტოსომურ-რეცესიული ტიპის მიხედვით. მენდელის კანონებიდან გადახრა დამახასიათებელია იმ დაავადებებისათვის, რომლებიც მიტოქონდრიულ გენომში არსებული მუტაციებითაა გამოწვეული[2].

სადღეისოდ მიტოქონდრიულ დნმ-ში აღწერილია სამი ტიპის მუტაცია: მსხვილი დელეციები, სტრუქტურული და სინთეტიკური გენების წერტილოვანი მუტაციები. მიტოქონდ-რიული დაავადებების გამომწვევ კიდევ ერთ გენეტიკურ მექანიზმს – გენთაშორისი სასიგნალო ეფექტები წარმოადგენენ. ცნობილია, რომ მიტოქონდრ-

იული დნმ-ის სინთეზი იმყოფება ბირთვული გენის კონტროლის ქვეშ. ცხადია, აღნიშნულ გენებში წარმოქმნილმა მუტაციებმა შესაძლებელია გამოიწვიოს მიტოქონდრიული დნმ-ის ასლების რაოდენობის ცვლილება და საბოლოოდ მიტოქონდრიების ფენომენის დეპლაცია (გამოფიტვა).

მიტოქონდრიული დაავადებებისათვის, რომლებიც მიტოქონდრიულ გენომში მუტაციებით არის განპირობებული, დამახასიათებელია შემდეგი საერთო კანონზომიერებები:

1. დაავადების დედის ხაზით გადაცემის ტიპი. სადღეისოდ ცნობილია, რომ ყველა მიტოქონდრია დედისეული წარმოშობისაა და აქედან გასაგებია, რომ დაავადება ადამიანს კვერცხუჯრედთან გადაეცემა. სპერმატოზოიდში არსებული მიტოქონდრიები კი გამოიყენება იმ ენერჯისათვის, რომელიც მის კვერცხუჯრედში შედწევას უზრუნველყოფს. ამგვარად, კვერცხ-უჯრედში ამა თუ იმ რაოდენობით არსებული მიტოქონდრიული მუტაციები დედის ხაზით ორივე სქესის შვილებში მემკვიდრეობს.

2. ჰეტეროპლაზმიის ფენომენი. მიტოქონდრიული პათოლოგიით დაავადებული ადამიანის უჯრედები შეიცავენ როგორც მუტანტურ, ისე ნორმალურ მიტოქონდრიებს, რომელთა განაწილება ხდება შემთხვევით, უჯრედული გაყოფის პროცესში.

3. მიტოქონდრიულ გენომში მუტაციური დაზიანების ხასიათის დამოკიდებულება კლინიკური გამოვლენის სიმძიმეზე, უჯრედში მუტანტური მიტოქონდრიული დნმ-ის შემცველობაზე, აგრეთვე განსხვავებულ ორგანოთა და ქსოვილთა ენერგეტიკულ მოთხოვნილებაზე. ენერგეტიკული სუბსტრატის არასაკმარისი მგრძობელობის მიხედვით ორგანოების განლაგება (კლებადობის ხარისხით) შემდეგი სახით არის შესაძლებელი: ცენტრალური ნერვული სისტემა, ჩონჩხის კუნთები, გულის კუნთი, თირკმლები, ენდოკრინული სისტემა. აუცილებელია აღინიშნოს, რომ მიტოქონდრიულ დაავადებათა სიმძიმე პროგრესირებს ასაკის მატებასთან ერთად, რაც დაბერების პროცესში მიტოქონდრიულ დნმ-ში სპონტანურად წარმოქმნილი მუტაციების რაოდენობრივ ზრდასთანაა დაკავშირებული.

4. სპორადული შემთხვევების მაღალი სიხშირე. მიტოქონდრიულ დნმ-ში მუტირების სიჩქარე 6-17-ჯერ მეტია, ვიდრე ბირთვულ დნმ-ში, რაც განაპირობებს მიტოქონდრიული დაავადებების მაღალ სიხშირეს და განსაზღვრავს მიტოქონდრიული გენომის მუტაციების მნიშვნელოვან როლს ადამიანთა ქრონიკულად პროგრესირებად და დეგენერატიულ დაავადებათა აღმოცენებაში. შემჩნეულია, რომ

24 წლის ასაკის ადამიანებში გულის კუნთის სისუსტისა და ბიოენერგეტიკული უკმარისობის წარმოქმნის ერთ-ერთი მიზეზია მუტაციები, რომელთა შორის უპირველეს ყოვლისა მიტოქონდრიულ გენომში გამოვლენილი დელეციები სახელდება.

მიტოქონდრიული დაავადებები ხასიათდება მნიშვნელოვანი კლინიკური გამოვლინებებით:

1. ფიზიკური განვითარების შეწყვეტა-ნანიზმით;
2. ფარისებრი ჯირკვლის დისფუნქციით;
3. ნერვული სისტემის ცალკეულ განყოფილებათა დაზიანების სიმპტომებით: კანკალი, ატაქსია, მოტორიკის დარღვევა, რაც ვლინდება მოძრაობათა კოორდინაციის მოშლით, კუნთური ტონუსის შეცვლით;
4. მიოპათიით-კუნთების სისუსტე, ატროფია, ტონუსის დაქვეითება.
5. ტუბულოპათიით, D-ვიტამინის რეზისტენტული რაქიტით.
6. მხედველობის ნერვის ატროფიით;
7. ღვიძლის უკმარისობით.

მიტოქონდრიული პათოლოგიების კლინიკური გამოვლენის ვარიაციები შეიძლება განპირობებული იყოს როგორც ზემოთ აღწერილი ჰეტეროპლაზმიის ეფექტით, ასევე ორგანოების განსხვავებული მგრძობელობით ჟანგბადის უკმარისობისადმი. მაგალითად, ღვიძლის უჯრედებში კლინიკური გამოვლინების შესაძლებლობა არ აღინიშნება მუტანტური მიტოქონდრიების 80% არსებობის შემთხვევაშიც კი. ანალოგიურ პირობებში თავის ტვინის უჯრედების ნორმალური ფუნქციონირება შეუძლებელი იქნებოდა[3].

მიტოქონდრიული დაავადებების გამოვლინების დემონსტრირებისათვის განვიხილოთ რამდენიმე სინდრომი:

1. მიტოქონდრიულ დნმ-ში მსხვილი დელეციების ან წერტილოვანი მუტაციების შედეგად წარმოქმნილი დაავადებები,
2. დაავადებები, რომლებიც განპირობებულია ბირთვული გენომის მუტაციებით და ხასიათდება გარდაქმნებით მიტოქონდრიულ დნმ-ში.

კერნს-სეირის სინდრომი. ეს დაავადება პირველად აღწერეს 1958 წელს. შემთხვევათა უმეტესობა განპირობებულია მიტოქონდრიულ დნმ-ში მსხვილი დელეციებით. ყველაზე ხშირად დელეციითა ზომა 4977 ნ.წ. არ აღემატება. ძალიან იშვიათად დაავადების კლინიკურ გამოვლინებას მიტოქონდრიულ დნმ-ში თან ახლავს დუბლიკაციები ან წერტილოვანი მუტაციები. აღწერილ შემთხვევა-

თა უმრავლესობა სპორადულია, რაც შეიძლება აიხსნას მიტოქონდრიული დნმ-ის მუტირების მაღალი ხარისხით, ასევე მიტოქონდრიულ დნმ-ში მსხვილი დელეციების მქონე ოციტთა განაყოფიერებისადმი შეზღუდული უნარით. სავარაუდოა, რომ ყველაზე ხშირად დელეციები წარმოიშობა სომატური უჯრედების მიტოქონდრიებში ემბრიონალური განვითარების ადრეულ პერიოდში. კერძოსეირის სინდრომით დაავადებულთა 50%-ზე მეტს დელეციასთან ერთად აქვთ მიტოქონდრიული დნმ-ის D მარყუჟის დუბლიკაცია, რომელიც მათ დედისგან მემკვიდრეობით აქვთ მიღებული. როგორც ჩანს, ასეთი დუბლიკაციის არსებობა ხელს უწყობს დელეციის წარმოქმნას. მიტოქონდრიული გენომის დელეციების დესტაბილიზაციის კიდევ ერთი ფაქტორი შეიძლება იყოს მიტოქონდრიული დნმ-ის თანმიმდევრობათა დელეციების საზღვარზე წარმოქმნილი სარჭისმაგვარი სტრუქტურები. დელეციების შედეგად ანო-მალურად შერწყმულ გენებს შეუძლიათ მხოლოდ ტრანსკრიბირება, ტრანსლაციის უნარს კი მოკლებულნი არიან. ამგვარად, დაავადებული ორგანიზმი არ შეიცავს მათ მიერ კოდირებულ ცილებს. დაავადების პირველი სიმპტომები ვლინდება 4-დან 20 წლამდე ასაკში და მოიცავს სიმპტომების სამეულს: 1. ოფთალმოპლეგიას, რომელიც ხასიათდება ზედა ქუთუთოს დაწვეით (ფტოზით) და თვალის გუგის მოძრაობის შეზღუდვით; 2. პროქსიმალური კიდურების განყოფილებაში კუნთების პროგრესირებადი სისუსტის გამოვლინებას; 3. თვალის ბადურის პიგმენტურ დეგენერაციას. ავადმყოფობის პროგრესირებასთან ერთად აღწერილ სიმპტომებს ემატება გულის ფუნქციის დარღვევის ნიშნები, რომელიც გამოიხატება რითმის დარღვევით, ატრიოვენ-ტრიკულარული ბლოკადით, პარკუჭების გაფართოებით, აგრეთვე ნეიროსენსორული სიყრუით, მხედველობის ნერვის ატროფიით, ენდოკრინული დარღვევებით. რიგ შემთხვევაში ავადმყოფებში შეიმჩნევა ინტელექტის დაქვეითება. დაავადებულები იღუპებიან დაავადების დაწყებიდან 10-20 წლის შემდეგ გულ-სისხლძარღვთა უკმარისობით. დაავადების ზუსტი დიაგნოსტიკება ხორციელდება მიტოქონდრიული დნმ-ის ანალიზის საფუძველზე და მასში მსხვილი დელეციების გამოვლენით [2,4].

პირსონის სინდრომი წარმოადგენს მიტოქონდრიული დაავადების კიდევ ერთ მაგალითს, რომლისთვისაც დამახასიათებელია ჰეტეროპლაზმიის ეფექტის ტრანსფორმაცია. პირსონის სინდრომით

დაავადებულებს კერნს-სეირის სინდრომის მსგავსად, მიტოქონდრიულ გენომში მსხვილი დელეციების არსებობა აღენიშნებათ, თუმცა მათი უმეტესობა ლოკალიზებულია ძვლის ტვინის უჯრედთა მიტოქონდრიებში. დაავადების კლინიკური სიმპტომები დაბადების შემდეგ, პირველი დღეებიდანვე აღინიშნება: სიდეროპლასტური ანემია, რიგ შემთხვევაში პანციტოპენია (ძვლის ტვინის ყველა სისხლბადი წარმონაქმნის დათრგუნვა) და ინსულინდამოკიდებული შაქრიანი დიაბეტი, რომელიც პანკრეასის ფიბროზის შედეგად წარმოიქმნება. ამ სინდრომით დაავადებულ ადამიანთა უმეტესობა სიცოცხლის 1-2 წლის ასაკში იღუპება, თუმცა იმ ადამიანებს, რომელთა გადარჩენა შესაძლებელი ხდება ხშირი და ინტენსიური ჰემოტრანსფუზიებით, რამდენიმე წლის შემდეგ შეიძლება განუვითარდეთ კერნს-სეირის სინდრომი, ნერვულ და კუნთოვან უჯრედებში მუტანტური მიტოქონდრიული დნმ-ის შემცველობის გაზრდის გამო.

მელასის სინდრომი დაავადებაა, რომელიც განპირობებულია წერტილოვანი მუტაციებით მიტოქონდრიულ დნმ-ში. დაავადების პირველი ნიშნები უფრო ხშირად ადამიანებს 5-დან 15 წლის ასაკში აღენიშნებათ. უმეტეს შემთხვევაში აღნიშნული სინდრომი იწყება ინსულტის მსგავსი ეპიზოდებით, ფსიქომოტორული განვითარების შეწყვეტით, ავთვისებიანი შაკიკით. ინსულტების წარმოშობის მიზეზს წარმოადგენს ანგიოპათია, რომლის დროსაც ტვინის არტერიოლებისა და კაპილარების სისხლძარღვების კედლებში ადგილი აქვს მიტოქონდრიათა ჭარბ პროლიფერაციას. დაავადების პროგრესირებისას ავადმყოფში ვლინდება ნევროლოგიური სიმპტომატიკა-კუნთოვანი სისუსტე, კანკალი, ატაქსია და ნეიროსენსორული სიყრუე. რიგ შემთხვევაში ადგილი აქვს ენდოკრინულ დარღვევას შაქრიანი დიაბეტისა და ჰიპოფიზარული ნანიზმის ფორმით. განხილული კერნს-სეირისა და მელასის სინდრომის დიაგნოსტიკა ხდება ბიოქიმიური, მორფოლოგიური და მოლეკულურ-გენეტიკური მეთოდების გამოყენებით. მიტოქონდრიული დნმ-ის უფრო ხშირი მუტაციაა ერთნუკლეოტიდიანი ცვლილება A – G 3243 მდგომარეობაში. აღნიშნული მუტაციის შედეგია რიბოსომულ რნმ-სა და მატრიცულ რნმ-ს შორის ტრანსკრიპციული თანაფარდობის დარღვევა და ტრანსლაციის ეფექტურობის შემცირება. მელასის სინდრომის მეორე მუტაციას წარმოადგენს მიტოქონდრიულ დნმ-ში ცვლილება T-C 3271 მდგომარეობაში. [2,3]

მიტოქონდრიული მემკვიდრეობითობის დარღვევით გამოწვეული დაავადებებიდან ყველაზე ხშირია ლებერის მემკვიდრული ოპტიკური ნეიროპათია. ამ დაავადებისათვის დამახასიათებელია ცენტრალური მხედველობის პროგრესული ბილატერალური დაკარგვა. პირველად მხედველობის გაუარესება მქლავნდება 15-35 წლის ასაკში, შემდეგ კი თანდათან განაპირობებს სიბრმავეს. მიტოქონდრიულ დნმ-ში აღინიშნება ოთხი სხვადასხვა მუტაცია. თიოფეული მათგანის მიერ ჟანგვითი ფოსფორილირების დარღვევის უნარი დაახლოებით 50% შემთხვევაშია შესაძლებელი. აღნიშნული მუტაციები დიდ ოჯახებში ყველა წევრს გადაეცემა [5].

მიტოქონდრიულ დაავადებათა მეორე ტიპს წარმოადგენს პათოლოგიები, რომლებიც დაკავშირებულია ბირთვულ გენომში წარმოქმნილ მუტაციებთან და ცნობილია მრავლობითი დელეციების სახელწოდებით. აღნიშნული პათოლოგიები მემკვიდრეობენ მენდელისეული მემკვიდრეობითობის კანონზომიერებების შესაბამისად, უფრო ხშირად აუტოსომურ-დომინანტური ტიპის მიხედვით. დაავადებათა დამახასიათებელი ნიშანია დელეციების შემცველობა მიტოქონდრიული დნმ-ის რამდენიმე უბანში, რომლებიც არღვევენ რიგი მიტოქონდრიულ სტრუქტურასა და ფუნქციონირებას. ამ დარღვევათა წარმოქმნის მექანიზმი ბოლომდე არ არის გარკვეული. შესაძლებელია, რომ ის გამოწვეული იყოს იმ ბირთვული რეგულატორული გენების მუტაციებით, რომლებიც მიტოქონდრიული დნმ-ის რეპლიკაციას აკონტროლებენ. აღნიშნულ გენებში წარმოქმნილ მუტაციებს შეუძლიათ მიტოქონდრიულ დნმ-ში გარდაქმნების პროცესის გაადვილება, ან იმ ფაქტორთა დაქვეითება, რომლებიც ახდენს სპონტანურად წარმოქმნილი გარდაქმნების ამოცნობას ან ელიმინირებას. სადღეისოდ ცნობილია 3 ასეთი გენი – 10 q 23. 3-24, 3p14.1-21 და 4 q 35, თუმცა იდენტიფიცირებულია მხოლოდ ერთი გენი, რომელიც კოდირებს ფერმენტ ადენინ-ნუკლეოტიდ-ტრანსლოკაზა 1. ამ ფერმენტის კონცენტრაციის დაქვეითება იწვევს ადენინის მეტაბოლიზმისა და რეპლიკაციების პროცესების დარღვევებს.

მიტოქონდრიულ დნმ-ში მრავლობითი დელეციებით განპირობებული პათოლოგიების კლინიკური გამოვლინება დიდი მრავალფეროვნებით ხასიათდება. ისინი შეინიშნება სიცოცხლის 2-3 ათწლეულის მანძილზე და დაკავშირებულია ორგანიზმის მრავალი სისტემის დარღვევებთან (ნერვული, კუნთოვანი, ენდოკრინული და ა.შ.) უფრო ხშირად ავადმყოფებს აღნიშნებათ გარეგანი ოფტალ-

მოპლეგია, გენერალიზებული მიოპათია, სმენითი და მხედველობითი ნერვების დაზიანება, კატარაქტა, ზრდის შეფერხება [6,7].

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. შათირიშვილი ა., დვალიშვილი ნ. ზოგადი გენეტიკა, ილიას სახელობის უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 2015.
2. ლეჟავა თ. უჯრედის გენეტიკა, თბილისის უნივერსიტეტის გამომცემლობა. 2004.
3. Иванов В. И., Барышникова Н. В., Билева Дж. С., и др. Генетика, М., изд. «Академкнига».2006.
4. Асанов А. Ю., и др. Основы генетики и наследственные нарушения у детей., М., изд. Центр « Академия». 2003
5. ბურკაძე გ., ტურაშვილი გ., ზოგადი პათოლოგიის საფუძვლები, გამომც. შპს «ზეკარი». 2005
6. [http://vmede.org/sait/?page=10&id=msprav\\_Genetika&menu=msprav\\_Genetika](http://vmede.org/sait/?page=10&id=msprav_Genetika&menu=msprav_Genetika)
7. [http://www.24farm.ru/genetika/mitochondrialnie\\_zabolevaniya/](http://www.24farm.ru/genetika/mitochondrialnie_zabolevaniya/)

## **Shorena Sharia**

### **Mitochondrial genome mutations caused by diseases**

Currently available findings confirm the etiology of mutations (transformations) of mitochondrial DNA in case of human hereditary diseases. Mitochondrial diseases comprise a significant group of hereditary diseases due to variety of biochemical and structural changes in the mitochondria. It should be noted, that the severity of mitochondrial diseases is progressing due to aging; this is explained by an increased frequency of spontaneous mutations in mitochondrial genome in the process of aging.



## ელისაბედ შაპუა

### არის თუ არა ტვინი ჩვენი „მე“

არ ვიქნები ორიგინალური თუ ვიტყვი, რომ ამ კითხვაზე მეცნიერული პასუხის გაცემა მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების თანამედროვე პირობებშიც კი საკმაოდ ძნელია. ნეირომეცნიერების განვითარება ისე წარიმართა, რომ ჩვენი „მე“-ს ადგილზე დღესდღეობით ტვინის (თავის ტვინის) გარდა სხვა „კანდიდატი“ არ „ჩანს“, მაგრამ უნდა აღინიშნოს ისიც, რომ ნეირომეცნიერებას არ აქვს არავითარი დადასტურებული ფაქტი საიმისოდ, რომ ტვინზე, ტვინის მოქმედებაზე ვისაუბროთ როგორც ჩვენს „მე“-ზე. ამ მიმართულებით კვლევის დღევანდელი მდგომარეობით თუ ვიმსჯელებთ, შეიძლება ითქვას, რომ თავის ტვინს მეცნიერები „მიაწერენ“ ფუნქციურად იმაზე მეტს, ვიდრე ის სინამდვილეში არის.

მიუხედავად იმისა, რომ ტვინი უდაოდ არის განსაკუთრებული წარმონაქმნი ორგანიზმში, ასე ვთქვათ, ფუნქციურად ყველაზე „მძიმეწონიანი“ ორგანო, რომლის გაცოცხლების ზღვარი ყველა სხვა ორგანოს გაცოცხლების ზღვართან შედარებით გაცილებით მცირეა (სულ რამდენიმე წუთს შეადგენს), რაც მას, სიცოცხლის შენარჩუნების თვალსაზრისით, უდაო უპირატესობას ანიჭებს სხვა ორგანოებთან შედარებით, ნეირომეცნიერების მიღწევები ჯერ ვერ იძლევა იმის დაჯერების საფუძველს, რომ ტვინი არის ორგანიზმის „განმგებელი“ - მაკონტროლებელი, მაკოორდინირებელი, მაინტეგრირებელი და მარეგულირებელი, როგორც მიჩნეულია და კიდევ უარესი – ვასწავლით სკოლებსა თუ უმაღლეს სასწავლებლებში.

ღიახ, ტვინი უდაოდ დაკავშირებულია ყველა აქ ჩამოთვლილ ფუნქციასთან. მეტიც, ორგანიზმის გარშემო და მის შიგნით არაფერი ხდება ისე, რომ მან ასახვა არ ჰპოვოს ტვინში. უმცირესი დეტალიც კი არ რჩება ტვინის მხრიდან რეაგირების გარეშე, მაგრამ არავითარი მეცნიერული მტკიცებულება არ არსებობს იმისთვის, რომ ორგანიზმში მიმდინარე პროცესების „შემფასებლად“, „მარეგულირებლად“ თუ „გადაწყვეტილების მიმღებლად“ (და კიდევ სხვა) ტვინი ვაღიაროთ. სხვა „პრეტენდენტი“ რომ არ „ჩანს“ ეს არ გვაძლევს ტვინისთვის ამხელა ფუნქციური უპირატესობის მინიჭების უფლებას, პირიქით - სადად თუ შევხედავთ, ტვინის მიმართ ასეთი დამოკიდებულება არასერიოზულადაც კი გამოიყურება დღეს.

და მაინც, თუ დავუშვებთ, რომ ტვინი არის ის, ვინც ხედავს, ვისაც ესმის, ვინც ფიქრობს, ვინც იმასსოვრებს, ვისაც სწამს, ვისაც უყვარს, ვინც გადაწვევტილებებს იღებს, ვინც აკონტროლებს და ა.შ. მაშინ რამე ხელჩასაჭიდი მტკიცებულება თუ არა მონაცემი მაინც ხომ უნდა გვქონდეს იმასთან დაკავშირებით, თუ როგორ აკეთებს ის ამას? ეს ჩვენ არ ვიცით და ჩემი აზრით, ტვინის კვლევის მეთოდები და ტექნიკა ჯერ კიდევ იმდენად „უხეშია“, რომ ამ კითხვას მეცნიერული პასუხი, როგორც ჩანს, კარგა ხანს ვერც გაეცემა. საპირწონედ, ნეირომეცნიერებამ ძალიან კარგად, დადასტურებული ფაქტებით იცის, რომ ყველა ამ და სხვა ფუნქციის (რასაც ტვინის ფუნქციებს ვუწოდებთ) განხორციელებისას ტვინში ფიზიკურ და ქიმიურ დონეზე ერთი და იგივე რეაქციასთან გვაქვს საქმე - ნერვული იმპულსის (ელექტრული სიგნალის) „გარბენა“ ნერვულ ჯაჭვზე. ეს არის ტვინის უნივერსალური რეაქცია ორგანიზმზე ნებისმიერი სახის გარეგან თუ შინაგან ზემოქმედებაზე. ყოველ შემთხვევაში, დღეისთვის ეს ასე ვიცით. მაშ, რა გვაძლევს იმის საფუძველს, რომ ყველა აქ ჩამოთვლილი და კიდევ ბევრი სხვა ფუნქცია, მათ შორის კოგნიტური ფუნქციები, ტვინს „მივაკუთვნოთ“? არადა, ეს ასეა მიჩნეული და ასე ისწავლება კიდეც.

რა ვიცით ადამიანის ტვინის შესახებ? ყველა კვლევა ტვინისა ხდება „მე“-ს გარეშე და ტვინის დარღვეული მთლიანობის პირობებში. ამოვჭრათ ტვინის ნაჭერი, ჩავდეთ პეტრის ჯამში, დავასხათ მკვებავი სითხე და გამოვიკვლიოთ; ან კიდევ, მოვახდინოთ ნერვის პრეპარირება, ვიმოქმედოთ მასზე ელექტრული დენით ან ქიმიური ნივთიერებით ან ტემპერატურის ცვლილებით და სხვა; ან კიდევ, ცხოველებს ტვინში ჩავუნერგოთ ელექტროდები, გავადიზინოთ, დავაკვირდეთ და საბოლოოდ, ყველა მონაცემი იქნება იმის შესახებ თუ რა ხდება ადამიანის ტვინში მისი „მე“-ს გარეშე და ცხოველებზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგების ინტერპრეტაციების მიხედვით. დანამდვილებით კი ის ვიცით, რომ ტვინის მუშაობა ყალიბდება ცალკეული ნეირონების აქტივაციით.

რა ვიცით ნეირონების შესახებ? აგებულიებას რომ თავი დავანებოთ, ვიცით, რომ ნეირონს აქვს მოქმედების პოტენციალის (ელექტრული სიგნალების) გენერაციის უნარი; აქვს მემბრანა და გამონაზარდები და მათში ძალიან რთული ქიმიური სიციცხლეა; მემბრანაზე მიმდინარე ელექტრული ცვლილებები იმაში გამოიხატება, რომ განსაზღვრული ქიმიური იონები შედიან უჯრედში შიგ-

ნით და ძალიან ჩქარავე ტოვებენ მას; ვხედავთ ელექტრული სიგნალის „გარბენას“ ნეირონის გამონაზარდებზე; ამ გამონაზარდების დაბოლოებაში „გამოცვივდება“ ქიმიური ნივთიერებები (ნეირომედიატორები); ელექტრული სიგნალები გადაეცემა ნეირონიდან ნეირონზე და იცვლება ნეირონის აქტივაცია (ნეირონის აქტივობა შეიძლება შეიცვალოს ნეირონთან სისხლის ნაკადით მოსული ქიმიური ნივთიერების ზემოქმედებითაც, მაგ. ალკოჰოლის ზემოქმედება ცვლის ქცევას); ვიცით, რომ ნეირონები იყენებენ გენომის უმეტეს ნაწილს, რომ ნეირონები ქმნიან ცილების ყველაზე მეტ რაოდენობას ორგანიზმის ყველა დანარჩენ უჯრედთან შედარებით; ნეირონები ურთიერთქმედებენ სხვა ნეირონებთან, ისინი კიდევ სხვებთან, უამრავი ნერვული უჯრედი ერთმანეთს უცვლის ქიმიურ სიგნალებს და როგორც აღმოჩნდა: ტვინში არავითარი მდგრადი ქსელები არ არსებობს - ნეირონთა შორისი კონტაქტების რაოდენობა და ადგილები განუწყვეტლივ იცვლება. არსებობს ნეირონის ცხოვრების მეორე მხარეც - ნეირონის ელექტრული აქტივობა დაკავშირებული და დამოკიდებულია იმასთან თუ რას „აკეთებს“ ორგანიზმი, რომელშიც ეს ნეირონია მოთავსებული.

ტვინის ფუნქციების შესასწავლად ბოლო წლებამდე გამოიყენებოდა სტრუქტურულ-ფუნქციური მიდგომა, რაც გულისხმობს იმას, რომ აღწერო ტვინის სტრუქტურები და გაიგო რაზეა პასუხისმგებელი თითოეული მათგანი. უფრო ადრე საუბრობდნენ თავის ტვინის ნახევარსფეროებს შორის ფუნქციათა გადანაწილებაზე, რაც ნეირომეცნიერების დღევანდელი გადასახედიდან შორს არის ჭეშმარიტებისგან (თუმცა, ფუნქციათა ასიმეტრიული გადანაწილების საკითხი ზოგიერთ სასწავლებელში ჯერაც ისევე ისწავლება).

ტვინის კვლევის სტრუქტურულ-ფუნქციურმა მიდგომამ მოლოდინები ვერ გაამართლა მიუხედავად იმისა, რომ მე-20 საუკუნის 80-იან წლებამდე უამრავი სამეცნიერო ნაშრომი და სახელმძღვანელო „გვიმტკიცებდა“, რომ ტვინის გარკვეული სტრუქტურა განსაზღვრულ ფუნქციაზე „აგებდა პასუხს“. დღესაც კი, ჯერაც არ არის ამოღებული სახელმძღვანელოებიდან და არ შეტანილა ცვლილებები ტვინის კონკრეტულ სტრუქტურასთან კონკრეტული ფუნქციის „მიბმის“ საკითხთან დაკავშირებით, არადა, კვლევების შედეგები, უკვე კარგა ხანია სხვა რამეზე მეტყველებს. მაგალითად ტვინის სტრუქტურა - ნათხემი გამოგვადგება.

სახელმძღვანელოებში ნათხემი დაკავშირებულია მოძრაობის კოორდინაციასთან და მისი დაზიანება იწვევს ამ კოორდინაცი-

ის დარღვევას. ნათხემი აუცილებლად მოძრაობასთან, მოტორულ ფუნქციასთან არის დაკავშირებული. მაგრამ არსებობს შრომები, რომლებიც ირწმუნება, რომ ნათხემი მონაწილეობს არამხოლოდ მოტორული ფუნქციების განხორციელებაში, ნათხემი გააქტივებულია ყოველთვის როცა კი რამეს ვაკეთებთ, ის მონაწილეობს პრაქტიკულად ყველაფერში, ნათხემის აქტივობა უწყვეტად შეინიშნება. 2009 წელს სამეცნიერო ჟურნალში „Annual Review of Neuroscience“ გამოქვეყნდა სტატია „Serebellum and Nonmotor Function“ (ნათხემი და არამოტორული ფუნქციები), რომელშიც ჩანს, რომ ნათხემის აქტივაციასთან დაკავშირებულია ისეთი ფუნქციები, როგორიცაა: ყურადღება, სამუშაო მეხსიერება, დასწავლა, ენა, ტკივილი, ემოციები, სწრაფვა ნარკოტიკებისადმი. როგორც ვხედავთ, სია გრძელი და მრავალფეროვანია. მსგავსად ამისა, ცნობილია, რომ არ არის ისეთი ფუნქცია, რომლის გამოწვევაც არ შეიძლებოდეს ჰიპოკამპით, ფუნქცია - რომელშიც ჰიპოკამპი არ იქნება ჩართული.

ნეირომეცნიერების ბოლო პერიოდის კვლევები მხოლოდ იმის თქმის შესაძლებლობას გვაძლევს, რომ ტვინის ამა თუ იმ უბანზე, კონკრეტულ სტრუქტურაზე ვისაუბროთ როგორც ადგილზე, სადაც მეტ-ნაკლები ალბათობით შეიძლება „ვიპოვოთ“ განსაზღვრული ფუნქცია, მაგამ საზღვრებს უკვე არავინ ადგენს. მეტიც, 2014 წლის ფიზიოლოგიასა და მედიცინაში ნობელის პრემიის ლაურიატების ჯონ ო. კიფის, მეი-ბრიტ მოზერისა და მისი მეუღლის - ედვარდ მოზერის შრომამ სერიოზულად “შეარყია” ტვინის კვლევის სტრუქტურულ-ფუნქციური მიდგომა და ცალკეული ნეირონის დონეზე „დაიყვანა“ ფუნქციები, რომლებსაც ჩვენ ტვინის ფუნქციებს ვუწოდებთ.

ამრიგად, არ გვაქვს მცნიერული საფუძველი იმისა, რომ ტვინის რომელიმე სტრუქტურას „მივაკუთვნოთ“ რომელიმე კონკრეტული ფუნქცია. მით უფრო, რომ ტვინის არცერთი სტრუქტურა არ ფუნქციონირებს როგორც ერთიანი მთლიანი. ნებისმიერი სტრუქტურა შედგება უჯრედებისგან, ტვინის ნებისმიერი ადგილი არის ნერვული უჯრედების ერთობლიობა. ქერქი შედგება ექვსი შრისგან და თითოეული შრე შედგება ნეირონებისგან. არც ქერქის, არც რომელიმე ქერქქვეშა სტრუქტურის აქტივაციის დროს არ ხდება მისი ყველა ელემენტის ერთდროული აქტივაცია.

რაც შეეხება ცალკეული ნეირონების აქტივაციას და მათთან დაკავშირებულ კვლევის შედეგებს, ადამიანის ტვინის შემთხვე-

ვაში, ნეირომეცნიერება ჯერ დანამდვილებით და უტყუარად ვერაფერს იტყვის, რადგან, როგორც აღვნიშნეთ, ტვინის კვლევის თანამედროვე ტექნიკა ვერ იძლევა იმის შესაძლებლობას, რომ ადამიანის ტვინის უწყვეტი მოქმედება შესწავლილ იქნეს იმ ორგანიზმის ფიზიოლოგიურ-ფსიქოლოგიური მთლიანობის პირობებში, იმ სისტემის ფიზიოლოგიურ-ფსიქოლოგიურ აქტივობასთან ერთად, რომლის „შიგნითაც“ ეს ტვინი მდებარეობს. ის, რის საშუალებასაც თანამედროვე ტექნიკა გავაძლევს, არის მხოლოდ ფიზიკური და ქიმიური „მომენტებს“ ასახვა. მაგრამ სად და როგორ ხდება ამ ფიზიკურ-ქიმიური პროცესების „გარდაქმნა“ აზრად, ფერად, ბგერად, მეტიც - მუსიკად, გემოდ ან როგორ იქმნება გადაწყვეტილება, როგორ „ფორმირდება“ სიხარული, სინანული და ა.შ. ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად ნეირომეცნიერება, ჩემი აზრით, ჯერ კიდევ „თვლემს“. რადგან, რაც ვიცით ტვინის შესახებ, არის მხოლოდ მასში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური პროცესები, დანარჩენი ყველაფერი, მომიტყვევთ, მაგრამ მეცნიერთა ინტერპრეტაციის „შედგენა“. ფიზიკური და ქიმიური პროცესების თუნდაც ზედმიწევნითი სიზუსტით აღწერა მხოლოდ ფიზიკური და ქიმიური პროცესების აღწერაა და სხვა არაფერი.

„კავშირშია“ ცნობიერებასთან? XX საუკუნის 50-იანი წლებიდან ცნობილია ექსპერიმენტები, რომლებიც გვიჩვენებს, რომ ცნობიერების მანიპულაცია შესაძლებელია ტვინის ცალკეული უჯრედების სტიმულაციით. ცნობილია შემთხვევები, როცა ცალკეული უჯრედების სტიმულაციამ პაციენტს გაახსენა ის მოგონებები, რომლებიც დავიწყებული ჰქონდა. სხვა პაციენტში ჰალუცინაციები (მფრინავი პეპლების დანახვა და ა.შ.) გამოიწვია. ეს და კიდევ ბევრი სხვა ფაქტი მოწმობს იმას, რომ ნეირონების აქტივაციასთან ნამდვილად არის დაკავშირებული ცნობიერება, მაგრამ არაფრით ამტკიცებს იმას, რომ ცნობიერება არის ნეირონების აქტივაცია ან აქტივაციის შედეგი; ან თუნდაც, მხოლოდ ნეირონების აქტივაციის შედეგი. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვა: მე რომ „მე“ ვარ - ამას ვაცნობიერებ მაშინ, როცა ჩემი ნეირონები აქტიურია, მაგრამ ეს არ მაძლევს იმის თქმის (მით უფრო - მტკიცების) უფლებას, რომ „მე“ ვარ ნეირონების აქტივაცია ან ნეირონების აქტივაციის შედეგად „ვიქმნები“ „მე“. ნეირონები აქტიურია, სხვა რეჟიმით, მაგრამ ტვინი აქტიურად მუშაობს ძილის დროსაც, თუმცა ძილის დროს მე ვერაფერს, მათ შორის - ვერც ჩემს “მე“-ს ვაცნობიერებ. ტვინი გათიშული არ არის, ნეირონების უზარმაზარი რაოდენობა აქტიურია, მა-

გრამ მე მძინავს და არათუ ვერაფერს ვაცნობიერებ, ისიც კი არ ვიცი, სად არის ჩემი ძილის დროს ჩემი შინაგანი „მე“. რატომ, ნეირონები ხომ აქტიურია, რატომ არ ან ვერ „ქმნის“ ძილის დროს ნეირონების აქტივაცია ჩემს ცნობიერებას? ვფიქრობ, იმიტომ, რომ ჩემი ცნობიერება არ არის ტვინის აქტივაცია და არც მისი შედეგი. ტვინის უჯრედის სტიმულაციით შესაძლებელია შეცვალო ტვინის ზოგადი მუშაობა, მაგრამ ტვინის ზოგადი მუშაობა არ არის ჩემი შინაგანი „მე“. „მე“ არ ვარ ნეირონების ჯაჭვზე ელექტრული იმპულსის „გარბენა“. „მე“ ვარ ის, ვინც ამ „სირბილს“ „გარდაქმნის“ ფერად, სურნელად, გემოდ, ბგერად, მეტიც - მუსიკად, აზრად, გრძნობად და ა.შ. აქ ტვინის როლი შეიძლება შევადაროთ თვალის როლს მხედველობითი აღქმისას - თვალი აუცილებლად გეჭირდება იმისთვის, რომ დავინახოთ, მაგრამ ჩვენ თვალით არ „ვხედავთ“; ყური აუცილებლად საჭიროა იმისთვის, რომ გავიგონოთ, მაგრამ ჩვენ ყურით არ „გვესმის“. ყველა ის მექანიკური, ფიზიკური მომენტი, რომელიც შემდგომ ჩვენში ბგერად აღიქმება, ყურში ერთი და იგივე მექანიზმით - ნეირონზე ელექტრული იმპულსის გარბენით შემოდის, მაგრამ ამ „ფიზიკური მომენტის,, ბგერად გარდაქმნა ან მეტიც - მუსიკად „აწყობა“ ყურით არ ხდება (ამაში, არა მგონია, ვინმე შემედაოს). დიახ, ნეირონების აქტივაცია, ტვინის აქტიური მდგომარეობა (მათ შორის, სხვა ორგანოთა ანატომიური და ფიზიოლოგიური მთლიანობაც) აუცილებელია იმისთვის (და არამხოლოდ იმისთვის), რომ რამეს ვაცნობიერებდე, მაგრამ ეს არ არის იმის მტკიცებულება, რომ ცნობიერება ტვინის ფუნქციაა; ტვინის აქტივაციის შესახებ დღევანდელი მეცნიერული ცოდნა, ვერაფრით ამტკიცებს იმას, რომ ნეირონულ ჯაჭვზე ელექტრული იმპულსის „სირბილი“ არის ჩემი შინაგანი „მე“ ან ქმნის ჩემს შინაგან „მე“-ს, მთელი თავისი „მრავალწახნაგოვანი“ გამოვლინებით.

დღეის მონაცემებით არ არსებობს მეცნიერული მტკიცებულება იმისა, რაც უფლებას მოგვცემს ვთქვათ, რომ ტვინში გვაქვს რაღაც სტრუქტურები, ხვეულები, ქსოვილის „ნაჭრები“, რომლებიც ორგანიზმის კონკრეტულ ფუნქციაზე აგებენ პასუხს და მით უფრო, როგორც ვუწოდებთ - „უმაღლეს“ ფუნქციებზე, კოგნიტურ ფუნქციებზე, პიროვნების განმსაზღვრელ ფუნქციებზე. ის, რომ ჩვენ ვხედავთ გარკვეული ნეირონების გააქტიურებას ამა თუ იმ ფუნქციის განხორციელებისას, არ კმარა იმის სამტკიცებლად, რომ ეს ფუნქცია ამ ნეირონების ფუნქციაა. ვფიქრობ, რომ ჭეშმარიტების მისაგნებად და დასადგენად ნეირომეცნიერებამ კვლევის

დღევანდელი მეთოდები და მიმართულება უნდა შეცვალოს, რადგან კარგა ხანია ვეძებთ, ვიკვლევთ, მაგრამ ვერ ვპოულობთ და ამ მიდგომით, ჩემი აზრით, ვერც ვიპოვით, ვინაიდან სხვაგან და სხვა ხერხებით ვეძებთ.

დაბოლოს, როგორც თვალია საჭირო დასახნადად, როგორც ყურია საჭირო გასაგონად, როგორც გულია საჭირო სისხლის მიმოქცევისთვის, ასევე ტვინი (და არამხოლოდ ტვინი) საჭიროა ცნობიერებისთვის. მაგრამ როგორც თვალი არ არის ხედვა, ყური არ არის სმენა, გული არ არის სიცოცხლე, ასევე ტვინიც არ არის ცნობიერება. არც „მე“-ს განმსაზღვრელი ორგანოა ტვინი, ტვინი „მე“-ს მოქმედების „არენა“ უფროა, ვიდრე მისი განმსაზღვრელი. ვფიქრობ, „მე“ ბევრად ყოველისმომცველი და მთლიანია, ვიდრე ერთი, თუნდაც ძალიან მნიშვნელოვანი ორგანო, ცოცხალი სისტემის ერთი ნაწილი, რომლის სიცოცხლეს და ფუნქციონირებაც დამოკიდებულია ამ სისტემის სხვა ორგანოების სიცოცხლესა და ფუნქციონირებაზე. ჩემი აზრით, თეორიული დაშვების დონეზე კი არ არის სამართლიანი, რომ „მე“-ს მოქმედება, “უმაღლესი ფუნქციების” აღსრულება, რომლის ფიზიკურ განხორციელებაში მთელი ორგანიზმი მონაწილეობს, დაყვანილ იქნეს ერთი ორგანოს – ტვინის ფუნქციონირებაზე.

ამრიგად, ყოველივე ზემოთქმულიდან გამომდინარე, მიგვაჩნია, რომ სანამ არ არის უტყუარად დადგენილი და დადასტურებული ტვინის კონკრეტული სტრუქტურის ან სტრუქტურების მიერ კონკრეტული ფუნქციის “შესრულების” საკითხი და სანამ არ არის გარკვეული ცენტრალურ ნერვულ სისტემაში ინფორმაციის გადამუშავების მექანიზმები, სანამ არ გარკვეულა ნერვულ ქსოვილში მიმდინარე ელექტრულ-ფიზიოლოგიური პროცესების კოგნიტურ პროცესებად გარდაქმნის მექანიზმები ეგრე წოდებული “უმაღლესი ფუნქციები” არ შეიძლება ითვლებოდეს და იწოდებოდეს ტვინის ფუნქციებად.

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. Peter L., Strick M., Richard P., Dum N. and Eiez A. – `Serebellum and Non-motor Function. Annual Review of Neuroscience, Vol.32, pp.413-434.

## **Elisabed Vekua**

### **Whether the brain is our "I"**

The article refers to the Neuroscience approach to the brain function issue. The author believes that Neuroscience still does not have proper evidence of the fact that the body's physiological (including cognitive) function in the normal course of the control, coordination, assessment, regulation, and other similar functions until today to be considered as brain functions. Recent scientific researches are becoming more reject the notion of the function localization in the brain structures. On the basis of some discussions, the opinion is expressed that until it is reliably established and proved the issue of performing specific functions by certain specific structure or structures of the brain, and it is not clear the mechanisms of information processing in the Central nervous system, it is not found out the mechanisms of transformation in the nervous tissue of current electro-physiological processes into cognitive processes, the so-called "higher functions" can not be considered and called as the brain functions.



## ღალი ახალაჲ

### იმუნური უჯრედების ფუნქციური თავისებურებანი ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე

ცოცხალი არსებები წარმოადგენენ ღია სისტემას, რომელსაც გარემომცველ არესთან აქვს მრავალმხრივი კავშირი. ორგანიზმის არსებობა მისი ხელშემწყობი გარემოს გარეშე შეუძლებელია, ორგანიზმის მეცნიერულ განმარტებაში უნდა შედიოდეს მასზე გავლენის მომხდენი გარემოც. გარემო პირობების ცვლილებები ზემოქმედებს ორგანიზმზე, თუმცა ეს ზემოქმედება ჩვეულებრივ არ იწვევს ფიზიოლოგიური პროცესების სერიოზულ დარღვევებს, იმ მექანიზმების კომპლექსის წყალობით, რომლებიც უზრუნველყოფს ორგანიზმის მდგრადობას - ჰომეოსტაზს. ცნობილია, რომ ნებისმიერი სტრესოგენური ზემოქმედება იწვევს ორგანიზმის საპასუხო რეაქციას მის ყველა დონეზე - უჯრედიდან დაწყებული ორგანიზმის ფუნქციების მმართველ ზოგად სისტემამდე (1). ფსიქოგენური სტრესი აღმოცენდება ფსიქიკური ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად, უპირველესად ამოქმედდება ორგანიზმის დამცველობითი, თვითმარეგულირებელი და კომპენსატორული მექანიზმები, რომლებიც აღნიშნული ფსიქიკური ფუნქციების ოპტიმიზაციის პროცესს უზრუნველყოფენ.

ფსიქოგენური სტრესის მოდელირებისთვის გამოვიყენეთ აქტიური განრიდების რეაქციის მოდიფიცირებული მოდელი, ასევე, ცხოველების (თეთრი ლაბორატორიული ვირთაგვები) ემოციური მდგომარეობა შევაფასეთ სტრესირებამდე და სტრესირების შემდეგ „ღია ველის“ და „პროკონფლიქტური“ ტესტით. სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე მოვახდინეთ ქცევითი და ემოციური მაჩვენებლებისა და სისხლში იმუნური უჯრედების (T ლიმფოციტები) ფუნქციური თავისებურებების განსაზღვრა იმუნოფლუორესცენტული მეთოდით. კვლევის მიზანი იყო, თავის ტვინის თვითრეგულაციური მოქმედების ქცევითი კომპონენტების იდენტიფიკაცია, ქცევითი აქტების გამოვლინების კანონზომიერების დადგენა „ინფორმაციული ტრიადის“ არახელსაყრელი შერწყმით გამოწვეული ფსიქოგენური სტრესის პირობებში (სხვადასხვა ეტაპზე) და მათი გავლენა იმუნოკომპეტენტური უჯრედების (T ლიმფოციტები) ფუნქციურ თავისებურებებზე.

ფსიქოგენური სტრესი აღმოცენდება ფსიქიკური ფაქტორების ზემოქმედების შედეგად, უპირველესად იბაბება ის მექანიზმები, რო ფსიქიკურ ფუნქციებს განაპირობებენ და პირველად მოქმედებენ თავის ტვინის უმაღლეს ფუნქციებზე, როგორცაა, მესხიერება, მოტივაცია, ემოცია, გადაწყვეტილების მიღების პროცესი და სხვა. სტრესის დროს უპირველეს ყოვლისა ამოქმედდება ორგანიზმის და თვითმარეგულირებელი და კომპენსატორული მექანიზმები, რომლებიც აღნიშნული ფსიქიკური ფუნქციების ოპტიმიზაციის პროცესს უზრუნველყოფენ. (2)

1. ცხოველების (თეთრი ლაბორატორიული ვირთაგვები) ემოციური მდგომარეობის შეფასების მიზნით, გამოვიყენეთ „ღია ველის“ (3) და „პროკონფლიქტური“ (4) ტესტის მეთოდები.

2. ფსიქოგენური სტრესის მოდელირება მოვახდინეთ აქტიური განრიდების რეაქციის მოდიფიცირებული მოდელით (5). აღნიშნული მოდელი იძლევა ცხოველებზე ხანგრძლივი ფსიქოგენური სტრესის მოდელირების საშუალებას, რის ფონზეც ცხოველების სხვადასხვა ქცევითი მანევრებლები განისაზღვრა.

3. სტრესირების შემდეგ ცხოველებს ჩაუტარდათ დეკაპიტაცია, სადაც მათი სისხლის ნიმუშები შევაგროვეთ იმუნოკომპეტენტური უჯრედების კონცენტრაციის დასადგენად. სისხლში აღნიშნული მანევრებლების დონე განისაზღვრა იმუნოფლუორესცენტული მეთოდით. (6)

კვლევა ჩატარებულია 200-250გრ. წონის მამრობითი სქესის 60 თეთრ ლაბორატორიულ ვირთაგვაზე. ცხოველები დაყოფილი იყო ორ ჯგუფად:

პირველი ჯგუფის ცხოველებს (საცდელი ვირთაგვები) ჩაუტარდათ ფსიქოგენური სტრესის მოდელირება, შემდეგი სქემით:

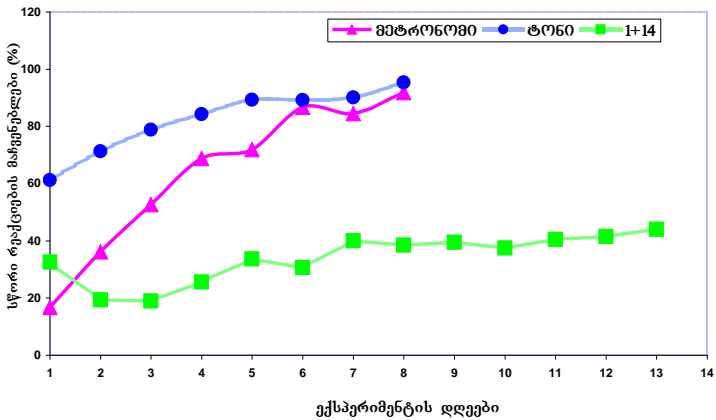
- პირველ პირობით სიგნალზე (მეტრონომი 2ჰც) - აქტიური განრიდების რეაქციის გამომუშავება და განმტკიცება;
- ორ პირობით სიგნალზე (მეტრონომი - 2ჰც; ტონი - 500ჰც) – აქტიური განრიდების რეაქციის გამომუშავება და განმტკიცება;
- ორი აქტიური განრიდების რეაქციის 14 დღიანი ერთდროული ტესტირება გელერმანის სტოქასტური პროგრამის შესაბამისად;

მეორე ჯგუფის ცხოველებზე (ინტაქტური ვირთაგვები) შევისწავლეთ ქცევითი და ემოციური მანევრებლები „ღია ველის“ და „პროკონფლიქტური“ ტესტით; შესაბამისად, ამავე ცხოველებშიც

განისაზღვრა სისხლში აღნიშნული იმუნური უჯრედების მაჩვენებელთა კონცენტრაციის დონე.

ხანგრძლივი ფსიქოგენური სტრესის მოდელირებისას ცხოველების მიერ გამოვლენილი ქცევის ანალიზმა გვიჩვენა, რომ განსხვავებული სირთულის ექსპერიმენტის პირობებში, ვირთაგვების ქცევა თვისობრივად არ იცვლება, ადგილი აქვს ქცევით აქტებს შორის თანაფარდობის შეცვლას. კერძოდ, პირველ პირობით სიგნალზე მეტრონომზე - აქტიური განრიდების რეაქციის - გამოჩვენებისა და დასწავლის (განმტკიცების) კრიტერიუმის მისაღწევად ცხოველებს დასჭირდათ 120 -160 შეუღლება (6-8 დღე), (სურ.1), ვირთგვისთვის უცნობ გარემოში, მისთვის უჩვეულო გამღიზიანებლის პირობებში ცხოველის წინაშე დგებოდა თავდაცვის ამოცანა, მას თავიდან უნდა აეცილებინა ელექტრული დენის მტკივნეული ზემოქმედება, რაც დაკავშირებული იყო გადაწყვეტილების მიღებასთან ემოციური დაძაბულობის ზრდასთან. ექსპერიმენტის ამ ეტაპზე საცდელ ვირთაგვებში ქცევითი მაჩვენებლების შედარებისას დომინირებდა – ვერტიკალური დგომები, - მისი ხანგრძლივობა მთელი ექსპერიმენტის დროს (4,7%+2,3;  $p=0,009$ )-ს შეადგენდა, გრუმინგის ხანგრძლივობის მაჩვენებელი (0,6%+0,5;) საგრძნობლად ჩამორჩებოდა ვერტიკალური (4,7%+2,3) და ჰორიზონტალური (2,6%+1,1;) დგომების ხანგრძლივობის მაჩვენებლებს (ცხრილი:1);

აქტიური განრიდების რეაქციის გამოჩვენების დინამიკა საცდელ ვირთაგვებში



სურ.1. აქტიური განრიდების რეაქციის გამოჩვენების დინამიკა საცდელ ვირთაგვებში. ჰორიზონტალურ ღერძზე – ექსპერიმენტული დღეები ვერტიკალურ ღერძზე – სწორი რეაქციების პროცენტული მაჩვენებელი.

გამოკვლევის შემდგომ საფეხურზე ტონზე - მეორე პირობით სიგნალზე 3-4 დღის განმავლობაში (60-80 შეუღლება) გამოწმობით უკვე გამოუმუშავებული აქტიური განრიდების რეაქციის სიმტკიცეს (სურ.1). ამ ვითრებაში ვირთაგვები ავლენენ გაავტომატებულ ადექვატურ თავდაცვით ქცევას, ე. ი. ისინი უკვე საექსპერიმენტო გარემოსთან ადაპტირებული ცხოველები არიან. ცნობილია, რომ ამგვარი ვითარება ნაკლები ემოციური დაძაბულობით ხასიათდება, რაც გამოვლინდა ქცევით აქტებს შორის ურთიერთ თანაფარდობითი ცვლილებებით, კერძოდ, საცდელ ცხოველებში მეტრონომთან შედარებისას იზრდება „გრუშინგისა“ (2,1+1,1;  $p=0,005$ ) და ჰორიზონტალური დგომების (3,9+0,7;  $p=0,009$ ) ხანგრძლივობის მაჩვენებელი, ხოლო მცირდება ვერტიკალური დგომების (1,9%+0,8;  $p=0,009$ ) ხანგრძლივობა. (ცხრილი 1.)

**ცხრილი №1. ქცევითი მაჩვენებლების სტატისტიკური შეფასება აქტიური განრიდების რეაქციის გამოუმუშავება - განმტკიცებისა და ერთი ცდის განმავლობაში ორი აქტიური განრიდების რეაქციის ერთდროული ტესტირების პერიოდში საცდელ ვირთაგვებში**

ქცევითი ფორმები	I ეტაპი (1)		II ეტაპი (2)		III ეტაპი (3)		P 1-2	P 2-3
	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD		
ვერტიკალური დგომები	4,7	2,3	1,9	0,8	4	0,9	0,009	0,0001
ჰორიზონტალური დგომები	2,6	1,1	3,9	0,7	0,3	0,2	0,009	0,02
თავის აწევა	22,2	7,8	25,3	6,2	13,6	4	0,04	0,05
ფეკალური ბოლუსები	5,6	1,7	2,7	0,5	5,2	1,1	0,001	0,0001
სიგნალშორის გადასვლები	3,4	1,2	1,7	0,5	3,8	1,4	0,009	0,003
გრუშინგი	0,6	0,5	2,1	1,1	0,1	0,1	0,005	0,02

მრავალრიცხოვანი ექსპერიმენტული კვლევებიდან ცნობილია, რომ აღნიშნული ქცევითი რეაქციები ასახავს ცხოველის ემოციურ მდგომარეობას. ვერტიკალური დგომები ვირთაგვის ძლიერი ემოციური დაძაბულობის გამომხატველია, „გრუშინგი“ კი საშუალო სიძლიერის კონფლიქტურ სიტუაციაში აღმოცენდება, ძლიერი ემოციური დაძაბულობის დროს ის არ გამოვლინდება. ცნობილია, რომ ვირთაგვების მიერ გამოვლენილი ამგვარი ქცევა რთული ამოცანის გადაჭრის დროს ემსახურება ემოციური დაძაბულობის განმუხტვას და განიხილება, როგორც თვითრეგულაციური ქცევა (7) .

ექსპერიმენტის მესამე საფეხურზე - ორი აქტიური განრიდების რეაქციის ერთდროული 14 დღიანი ტესტირებისას სწორი პასუხების პროცენტული მაჩვენებლები 30-45%-ს არ აღემატება, რაც შენარჩუნებული იყო 14 დღის განმავლობაში (სურ.1). ექსპერიმენტის ამ ეტაპზე აქტიური განრიდების რეაქციის ფორმირება ვერ მოხერხდა, რადგან თავის ტვინი ფუნქციონირებს „ინფორმაციული ტრიადის“ (ინფორმაციის რაოდენობა, ამ ინფორმაციის გადამუშავებისა და გადაწყვეტილების მიღებისათვის საჭირო დრო და ამ გადაწყვეტილების მიღების მოტივაციის დონე) ფაქტორების არახელსაყრელი შერწყმის პირობებში. კერძოდ, ცხოველი ხანგრძლივი დროის მანძილზე განიცდის პრაგმატული ინფორმაციის დეფიციტს. აღნიშნული ვითარება ძლიერ სტრესულ ზეგავლენას ახდენს ცხოველის უმაღლესი ნერვული მოქმედების ფუნქციებზე, ე. ი. ორი აქტიური განრიდების რეაქციის ერთდროული 14 დღიანი ტესტირებისას ცხოველები ქრონიკული ფსიქოგენური სტრესის პირობებში იმყოფებიან. ტესტირების ამ ეტაპზე ვერტიკალური დგომების ( $4+0,9$ ;  $p=0,0001$ ) მაჩვენებელი სტატისტიკურად სარწმუნოდ მნიშვნელოვნად აღემატება ყველა სხვა ქცევით მაჩვენებლებს (ცხრილი 1).

ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სამივე საფეხურზე ცხოველების მიერ გამოვლენილი ქცევა მნიშვნელოვნად ზრდის პათოლოგიის განვითარების ე. წ. „ფარულ პერიოდს“. აღწერილი ქცევა განიმარტება, როგორც ბიოლოგიურად დადებითი სტრესის გამოვლინება, რომელიც ასახავს თავის ტვინის თვითრეგულაციურ მოქმედებას. ტვინის თვითრეგულაციური მოქმედების გაძლიერება უნდა იწყებოდეს დაავადების წინა სტადიაზე, როდესაც ეს მექანიზმები კარგად არის გამოსატყულები. მათმა მიზანდასახულმა გაძლიერებამ შეიძლება გადამწყვეტი როლი ითამაშოს ტვინის და სტრესოგენური ფაქტორებისადმი ორგანიზმის რეზისტენტობის ამადლებაში (8).

ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა საფეხურზე სტრესირებამდე და სტრესირების შემდეგ შევისწავლეთ ცხოველების ემოციური მდგომარეობა „ღია ველის“ და პროკონფლიქტური“ ტესტის საშუალებით. ინტაქტურ ვირთაგვებთან შედარებით თავდაცვითი რეაქციების გამომუშავება - განმტკიცების შემდეგ „ღია ველში“ ტესტირებისას აღინიშნებოდა კვლევითი აქტიურობის შემცირების ტენდენცია, ხოლო გაიზარდა მოძრაობის აქტიურობის ლატენტიური პერიოდი ( $P=0,001$ ) და გრუმინგის ხანგრძლივობა ( $P=0,003$ ).

„ღია ველში“ კვლევითი აქტიურობის შემცირება ემოციური დაძაბულობის გაძლიერებაზე მიუთითებს (3). (ცხრილი 2.)

**ცხრილი №2. ქცევითი მაჩვენებლების სტატისტიკური შეფასება “ღია ველის” ტესტით ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე საცდელ ვირთაგვებში**

ქცევითი ფორმები	ინტაქტური (1)		I ეტაპი(2)		II ეტაპი (3)		III ეტაპი (4)		P 1-2	P 2-3	P 3-4
	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD			
ცენტრში შესვლა	1	1	2	0,5	2,8	0,7	3,5	1,1	0,008	0,05	0,08
გადაკვეთილი კვადრატები	37,5	15,6	27,8	19,7	15,5	8,9	5,7	3,6	0,1	0,05	0,003
ვერტიკალური დგომები	17,2	4,9	10,5	4,8	8,7	5,5	3,4	1,9	0,003	0,2	0,007
სოროს რეფლექსი	4,4	1,7	2,5	0,7	1,4	0,7	0,7	0,6	0,004	0,002	0,02
თავის აწევა	20,6	9,7	15,5	2,6	12,1	4,6	6,3	2	0,07	0,03	0,001
ფეკალური ბოლუსები	2	2	0,7	1,2	0,5	0,6	0,3	0,7	0,06	0,3	0,2
ლატენტური პერიოდი	0,8	0,3	3	1,2	5	0,5	6,7	1,3	0,05	0,0001	0,001
გრუმიინგი	16,3	5,4	28,3	8,9	43,5	15,1	88,3	28,7	0,001	0,009	0,003

ამ მოსაზრების მართებულობაზე მიუთითებს აგრეთვე „პროკონფლიქტურ“ სიტუაციაში ცხოველების ტესტირების შედეგებიც. ინტაქტურ ვირთაგვებთან შედარებით საცდელ ვირთაგვებში აქტიური განრიდების რეაქციის გამომუშავებასა (P=0,001) და მათი ერთდროული 14 დღიანი ტესტირების (P=0,002) შემდეგ სარწმუნოდ შემცირდა დენით დასჯილი წყლის სმის აქტების რაოდენობა.

**ცხრილი №3. ქცევითი მაჩვენებლის სტატისტიკური შეფასება “პროკონფლიქტური” ტესტით ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე საცდელ ვირთაგვებში**

დენით დასჯილი წყლის სმის აქტების რაოდენობა	ინტაქტური(1)		I ეტაპი(2)		II ეტაპი(3)		III ეტაპი (4)		P 1-2	P 2-3	P 3-4
	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD			
საცდელი ვირთაგვები	8,4	4,5	3	0,7	1,5	0,7	0,6	0,5	0,001	0,002	0,004

ამრიგად, ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სამივე საფეხურზე „ღია ველისა“ და „პროკონფლიქტური“ ტესტის მიხედვით ცხოველებში დომინირებს შიშისა და შფოთვის რეაქციები.

ექსპერიმენტული კვლევის მეორე ეტაპზე, სტრესის განვითარების სამივე საფეხურზე, ინტაქტურ ცხოველებთან შედარებით, სტრესირებული ცხოველების სისხლში განსაზღვრეთ იმუნოკომპეტენტური უჯრედების ფუნქციური თავისებურებანი.

იმუნური უჯრედების მეტაბოლიზმის შესწავლის დროს, ფსიქოგენური სტრესის განვითარების პირობითი რეფლექსის გამომუშავება - განმტკიცებისას, ექსპერიმენტის პირველ და მესამე ეტაპზე, როდესაც ცხოველებში დომინირებდა ვერტიკალური დგომები, რაც ცხოველის ემოციური დაძაბულობის უკიდურესი გამომხატველი იყო, ირგანიზმში მიმდინარე მეტაბოლური ცვლილებებიდან იმუნოკომპეტენტური უჯრედები გააქტიურა, რაც გულისხმობს ორგანიზმის დამცველობითი თვითმარეგულირებელი და კომპენსატორული მექანიზმების ჩართვას, ხოლო კვლევის მეორე ეტაპზე – განმტკიცებული თავდაცვითი რეაქციების ფონზე, ანუ საექსპერიმენტო გარემოსთან ცხოველების ადაპტაციისას შეიცვალა ქცევით აქტებს შორის თანაფარდობა - გაიზარდა „გრუმინგის“ ხანგრძლივობა და შემცირდა ემოციური დაძაბულობის გამომხატველი ქცევა – ვერტიკალური დგომები. ცნობილია, რომ „გრუმინგო“ ცხოველს კონფორტული მდგომარეობის შენარჩუნებასა და უარყოფითი ემოციური დაძაბულობის გამოსატვაში უწყობს ხელს (9), რის საფუძველზეც იმუნოლოგიური პარამეტრების (T ლიმფოციტების ჯგუფები) გააქტიურება შემცირდა, დაუბრუნდა ნორმას ანუ ფონურს.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ სტრესის დროს იმუნოლოგიური პარამეტრების ცვლილებების ეფექტი დამოკიდებულია სტრესის გავლენის ხასიათზე, სიმძლავრეზე, მის ხანგრძლივობაზე (10), ასევე ინდივიდუალურ თავისებურებებზე (11). ძალზედ გამანადგურებლად მოქმედებს გამდიზიანებელი სტრესორი იმუნურ სისტემაზე. სტრესის დროს იმუნოდეპრესიას უკავშირებენ სისხლის შრატში გლუკოკორტიკოიდული ჰორმონების კონცენტრაციის ზრდას, ლიმფოციტების გადანაწილებას, იმუნურ პასუხში უჯრედების განცალკავებას T – სუპრესორების აქტივიზაციას (12), აგრეთვე უჯრედული და ჰუმორული იმუნიტეტისა და მეტაბოლური ფაქტორების დისბალანსს, ანტიგენური ჰომეოსტაზის დარღვევებს, ავტოიმუნური დარღვევების წარმოშობას და ადაპტაციური სისტემების სარეზერვო საშუალებების დაუძღვრებას (გამოფიტვას) (13).

**ცხრილი №4. იმუნური მაჩვენებლების სტატისტიკური შეფასება ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე საცდელ ვირთაგეგმაში**

იმუნური უჯრედები	ინტაქტური (1)		I ეტაპი (2)		II ეტაპი (3)		III ეტაპი (4)		P
	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD	საშ	SD	
CD 3	12,1	1,8	14,5	2	13,1	2,5	15,6	2,3	0,006 0,1 0,001
CD4	9,2	1,6	12,4	2,5	9,5	1,6	12	2,4	0,003 0,3 0,006
CD8	8,3	1,1	10,3	1,8	9,7	3	10,6	1,9	0,008 0,1 0,003
CD4/CD8	1,3	0,1	1,6	0,4	1,3	0,2	1,6	0,5	0,01 0,2 0,02
CD16	6,6	1	9,4	1,5	7	2,2	9,7	2,7	0,001 0,2 0,003
CD20	6,6	1,7	8,4	1,3	6,4	1,7	8,9	1,7	0,01 0,3 0,005
CD45	10	2,9	12,6	1,3	9,8	3,1	17,3	5,1	0,005 0,4 0,009

ცნობილია, რომ თუ სტრესორის ზემოქმედება გრძელდება ინტენსიურობის ზრდით, იმუნური სისტემის აღდგენის პერიოდი ნაკლებად მიმდინარეობს ან საერთოდ არ არსებობს. სტრესორის მოქმედების შეწყვეტა კი, იწვევს იმუნური პასუხის აღდგენას (12). ჩვენი ექსპერიმენტული გამოკვლევებით, კი, მივიღეთ განსხვავებული პასუხი - ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე ცხოველების მიერ გამოვლენილი ქცევითი მაჩვენებლებისა და შინაგან გარემოში იმუნური უჯრედების მეტაბოლური ცვლილებები თვითრეგულაციური, კომპენსატორული ხასიათისაა, რამაც განაპირობება იმუნური სისტემის ლიმფოციტების დიფერენცირება, განცალკავება და მნიშვნელოვანი ზარდა, რაც სტრესირების დროს ორგანიზმის მიერ გამოვლენილი ქცევის დამცველობითი და თვითმარეგულირებელი ბუნებისაა, ე. ი. სტრესული ზემოქმედებისადმი ორგა-



ნიშნის მდგრადობის გაძლიერების მანიშნებელი. აღნიშნული მდგომარეობა არ განიხილება, როგორც პათოლოგია, იგი მნიშვნელოვან როლს თამაშობს სტრესოგენურ გარემოსთან ინდივიდის ადაპტაციაში.

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. **Меерсон Ф.З.** Адаптация, стресс и профилактика – Москва. Наука. 1981. с.278.
2. **Кулагин В.К.** Патологическая физиология травмы и шока – Л., Медицина. 1978. с.296.
3. **Хананашвили М. М.** Психогенный стресс: теория, эксперимент, практика. Вестник, Российской Академии Медицинских Наук. Москва. Медицина. 1998. с.13-16.
4. **Hall C.S.** Emotional behavior in the rat. I. Defecation and urination as measures of individual differences in emotionality. J.Comp. Psychol. 1934. V. №2, P.385-403.
5. **Korda M.J., Biggio G.** Stress and gabaergic transmission biochemical and behavior studies. Advances in biochemical psychopharmacology. 1986, V.41, P.121.
6. **Хананашвили М. М.** Психогенный стресс: теория, эксперимент, практика. Вестник Российской Академии Медицинских Наук. Москва. Медицина. 1989. с.13-16.
7. **ტატიშვილი ნ., სოსელია თ.** იმუნოლოგიური მეთოდები კლინიკაში. თბილისი. 1989. გვ. 107-108.
8. **Хананашвили М. М., Реберг Г.** Саморегуляция поведения в условиях возрастающих нагрузок на аналитико-синтетическую деятельность мозга у кошек. Журн. В.Н.Д. 1981. т. 31. №4. с. 123- 129.
9. **ხანანაშვილი მ.** ინფორმაციული სტრესი. საქართველოს მეცნ. ეროვნ. აკად. გამომცემლობა. თბილისი, 2008. გვ. 24-25.
10. **Devidze N., Gogoberidze M., Orjonikidze T. S.** Behavior of rats in the conditions of psychogenic stress. Proc. Georgian Acad. Sci. Biol. Ser. 1997, v.23, №1-6; p.17-20.
11. **Корнева Е.А., Шхинек Э.К.** Гормоны и иммунная система, Москва. Наука. 1998. с.251.
12. **Dantzer R.** Stress and immunity: What have We learned from psychoneuroimmunology//ActaPhysiol Scand. Suppl. 1997, v.640, p.43-46.
13. **Горизонтов П.Д., Белоусова О.И., Федотова М.И.** Стресс и система крови, Москва. Медицина. 1983. с.20.

14. **Dantzer R.** Stress and immunity: What have We learned from psycho-neuroimmunology//ActaPhysiol Scand. Suppl. 1997, v.640, p.43-46.

**Lali Akhaladze**

### **Functional peculiarities of immune cells at various phases of psychogenic stress development**

Live creatures are an open system that has a multilateral connection with the surrounding area. The existence of the organism is impossible without the help of the supportive environment, the scientific explanation of the organism must also be included the environment influencing on it. Changes in environmental conditions affect the organism, but these effects usually do not cause serious violations of physiological processes, thanks to the complexity of mechanisms that provide the body's sustainability - homeostasis. It is known that any stressful effect causes the response of the organism to all its levels - from the cell to the general system organizing the functions of the organism. Psychogenic stress is emerging as a result of mental factors, first of all will be activated the organism's defender, self-regulatory and compensating mechanisms that ensures the optimization of these mental functions.

For modeling psychogenic stress, we used the modulated model of active diversion reaction, as well as the emotional state of the animals (white laboratory rats) is assessed before stress and after stress with the "open field" and "proconflict" test. At different stages of stress development, we define behavioral and emotional indicators and functional peculiarities of immune cells (T lymphocytes) in blood with immunofluorative method. The goal of the research was to identify the behavioral components of self-regulating behavior of the brain, to determine the regularity of detecting of behavioral acts in the conditions of psychogenic stress caused by adverse combinations of the "informative trid" and their impact on functional specifications of immunocompetent cells (T lymphocytes).

It can be assumed that at the initial stage of stress - behavioral reaction indicators revealed by animals in the experiments of different complexity and the metabolic changes of immunological indicators on the background of this behavior are self-regulatory and compensative character, which induces the differentiation of immunocompetent cells - lymphocytes, separation and significant growth, which is the protective and self-regulating nature of the behavior revealed

by the body during stress, that's the indicator of strengthening the body's stability to stress impact. This condition is not considered as a pathology and it plays an important role in the individual's adaptation in the stressed environment.

## მელორ ალფინიამ

### შავი ზღვის ნაპირდაცვა რკინა-ბეტონის კონსტრუქციებით და მისი ემბატიური შედეგები

ზღვების (ოკეანეების) სანაპიროებისა და პლაჟის ზოლების ჩამოყალიბება და განვითარება, ხანგრძლივი დროის მანძილზე, ბუნებრივი პირობების გავლენით მიმდინარეობდა. გეოლოგიურ წარსულში, ბუნებრივი პირობების საკმაოდ შესამჩნევი ცვლილებების მიუხედავად, პლანეტის ლანდშაფტის ფრიად დინამიური ობიექტი - სანაპირო ზონა შედარებით სტაბილურობას ინარჩუნებდა, თავისი წონასწორობის მდგომარეობის ფარგლებში უმნიშვნელო ცვლილებებს განიცდიდა და ბუნებრივი განვითარების ტენდენციით ხასიათდებოდა.

ცხადია, რომ ზღვის ნაპირები და პლაჟის ზოლები საკუთარ ბუნებრივ მისიებს ასრულებდნენ, ბუნებრივი იერ-სახის შენარჩუნებას ცდილობდნენ. ზღვის ნაპირების მნიშვნელოვანი ცვლილებები მეოთხეულის ბოლო - ვიურმული გამყინვარების დასასრულიდან (დაახლოებით 18 ათასი წლის წინ) დაფიქსირდა. პოლოცენის (ბოლო 10-11 ათასი წწ) კლიმატური ოპტიმუმის ფაზაში, ხმელეთის დიდი სივრცე (უმთავრესად მთიანეთები და პოლარული სექტორი) თოვლისა და მყინვარული საფარებისაგან განთავისუფლდნენ.

გამყინვარების შემდგომი ტრანსგრესიის გამო ოკეანის დონის აწევამ საკმაოდ ფართო რეზონანსი მიიღო და სანაპიროს ფართო (20 მლნ კმ<sup>2</sup>) ზოლი ზღვამ დაიკავა. შავი ზღვის დონემ კი 100-110მ-ით აწევა განიცადა, შუა პოლოცონში (6 ათასი წლის წინ) სტაბილური ხასიათი მიიღო.

სწორედ, პოსტგლაციალურ ეტაპზე შავი ზღვის სანაპირო ზონამ განსაკუთრებული სირთულის მრავალგვარი ცვლილებები განიცადა. ზღვის დონის ახალი დონის შესაბამისად, აბრაზიისა და აკუმულაციური პროცესების მორიგეობის კვალდაკვალ, სანაპიროს ახალი იერ-სახის ჩამოყალიბებას უნდა ჰქონოდა ადგილი. კერძოდ, ზღვის მიერ დატბორილი სანაპირო ხმელეთი იმყოფებოდა რა მუდმივი და ძლიერი გარდაქმნის პირობებში, იმ საწყისი ზედაპირების როლს ასრულებდნენ, რომლებსაც მომავალში შეეღფად ანუ წყალქვეშა სანაპირო ფერდობებად გადაქცევა ელოდა.

ამასობაში, ტალღების მოქმედებით, სანაპიროს ხაზების მოსწორება და ფართო მარჩხოვების ფორმირება წარიმართა. ზღვაში დაძირული ფრაგმენტების ფსკერული აბრაზიის შედეგად, ნგრეული მასალა ზღვის კიდისაკენ მოძრაობდა, რამაც სანაპირო აკუმულაციური ფორმების შექმნას დაუდო სათავე, რასაც უწყობდა წყლის არტერიების მიერ ალუვიური მასალის შესართავებთან დალექვა და შემდგომ პლაჟის მკვებაგ მასალად გადაქცევა.

ზღვის ნაპირების მორფოლოგიურ-დინამიკური ნიშნების აღწერილი მექანიზმი საქართველოს ზღვისპირა ზოლისთვისაც გამო-ნაკლისი არაა. მისი ჩამოყალიბებაც უმთავრესად კავკასიის ბუნების განვითარების ჰოლოცენურ პერიოდში წარიმართა. დაც შეეხება, შავი ზღვისპირეთის სანაპირო ზონის დინამიური წონასწორობის ახალი მდგომარეობის ჩამოყალიბებას, ის ამ ბოლო 80-100 წლის მანძილზე მიმდინარეობა. ცხადია, რომ ეს ცვლილებები ბუნებრივ ფაქტორებთან ერთად (ზღვის დონის აწევა, ალუვიონის შემცირება და შთანთქმა წყალქვეშა კანიონების მიერ, პლაჟის მასალის მუდმივი ხეხვა და სხვ) ხელოვნურ - ნგრეული მასალის ადამიანის არა-გონივრულ სამეურნეო საქმიანობას (Зенкович, 1987) უკავშირდება. მათ შორისაა: მდინარეთა წყლის ნაკადების რეგულირება, ალუვიონის გაზიდვა სამშენებლო მიზნით, ჰიდროელექტროსადგურებისა და პორტების მშენებლობა, არაეფექტური ნაპირდაცვა და სხვ.

ნავსადგურების მშენებლობისა და “ქვედა წარეცხვების” მაგალითები საქართველოს შავი ზღვის სანაპიროზე არც თუ იშვიათია:

1. გაგრის სანაპირო კონტურის გასწვრივ გავრცელებული ნატანის ნაპირისგასწვრივი უწყვეტი ბუნებრივი ნაკადის სიმძლავრე 30 ათას მ<sup>3</sup> შეადგენდა [Божич, 1927; Зенкович, 1948; Кикнадзе, 1977]. მდ. ჟოეკვარას შესართავთან გემების მისადგომი შემომზღუდავი მოლის (პრინც ოლდენბურგსკის მიერ) აგების (1914-1916 წლები) გამო, აღნიშნული ნაკადის დისკრეტულობამ, ნატანის დეფიციტი და პლაჟის მკვეთრი შემცირება [Божич, 1938], ხოლო 50-60-იან წლებში პლაჟის გაზიდვამ მისი მასალის ბალანსის დარღვევა და პლაჟის წარეცხვის მკვეთრი ზრდა გამოიწვია. მდგომარეობის გამოსწორების მიზნით, სანაპირო პერიმეტრის ქარზურგა უბანში, პირველად [XX ს-ის 20-იანი წლები] შავი ზღვის სანაპიროზე, ბუნის სერია ააშენეს [Божич, 1938]. ამ ღონისძიებამ დადებითი ეფექტი ვერ მოიტანა. ბუნის სამხრეთ „ქარზურგა უბანზე“ პლაჟებს აშკარა წარეცხვა დაეტყო, ხოლო სანაპირო ნაგებობები და კომუნიკაციები აქტიურ ნგრევას დაექვემდებარა. ნაპირის აბრაზიას ვერც ნაპირსამაგრი კედლის [სიგრძე 6 მ] აშენებამ [1931 წ] უშველა. ნაპირგამაგრების შემდგომი ღონისძიებებიც (კედლები, ბუნის სერია, ტალღმჭრელები) უშედეგო გამოდგა. ამ ნაგებობების მნიშვნელოვანი ნაწილი ძლიერი შტორმების [1967-1968 წწ] შედეგად დაზიანდნენ, უკვე 80-იან წლებში თავიანთ ფუნქციასაც ვერ ასრულებდნენ, თუმცა „ქვედა წარეცხვების“ პროვოცირება და ნგრევის პროცესი უკვე ახალი გაგრის მიდამოებში გავრცელდა.

2. აჭარის სანაპირო პერიმეტრის ზოლში გაგრის ანალოგიური სურათი შეიქმნა. ნაპირგასწვრივი ნატანი მასალის უწყვეტი [50კმ] ნაკადი, ადამიანის ჩარევამდე, მდ. ჭოროხის დელტიდან მდ.

ნატანების შესართავამდე ვრცელდებოდა [Кикнадзе, 1977], თუმცა ბათუმის პორტის ექსპლოატაციაში შესვლის [1878წ] შემდეგ პორტის მოვლების მიერ, პლაჟის მასალის „თავისუფალი“ გადაადგილების შეფერხების გამო, სანაპიროს მახინჯაური-ქობულეთის მონაკვეთზე, ნატანი მასალის მწვავე დეფიციტიანი ავარიული ავტონომიური ქვესისტემები შეიქმნენ, ხოლო შედარებით სტაბილური ნაპირი გონიო-ბათუმის სანაპირო პერიმეტრზე იქნა შენარჩუნებული.

ნავსადგურის აკვატორიის შტორმებისაგან დაცვისა და ფსკერის მოხილვის თავიდან აცილების მიზნით, 170მ სიგძის დეზი ააგეს, რომლის ქარპირა მხარეზე პლაჟის აკუმულაცია, დეზის ქარზურგა მონაკვეთი კი ავარიულ მდგომარეობაში აღმოჩნდა.

როგორც ჩანს, პლაჟის მასალის დამჭერი დეზის „მოღურმა ეფექტმა“ მდ. ჭოროხის შესართავიდან კონცხის მიმართულებით გავრცელებული ნაკადის გაწყვეტა და მოძრაობის შეფერხება გამოიწვია, რომელმაც პლაჟები გარეცხვის, ხოლო მიმდებარე საინჟინრო კომუნიკაციები ნგრევის საშიშროების ქვეშ დააყენა.

3. ოჩამჩირის რეიდის ჩრდილო პერიფერიის ზღვის კიდეზე სამხედრო ნავსადგური [1934-1936 წწ] და მისი შემომზღუდავი მოლი ააშენეს. ამ ფაქტმა პლაჟის ნაკადის მოძრაობის ბუნებრივი რეჟიმი ანთროპოგენურ სტადიაში გადაიყვანა, ნეგატიური ცვლილება მოახდინა და ძირითადი ნაპირის ნგრევა (Алпенидзе, 1975) გამოიწვია. კარტოგრაფიული მასალის ურთიერთშედარების საფუძველზე ცნობილი გახდა, რომ 50-იან წლებში ზღვის კიდემ და თიხებით აგებული კლიფმა 130-150მ-ით უკან დაიხია, 15კმ ფართობის დაჭაობებული ფრაგმენტი შეიწირა და ქალაქის დასახლებას ნგრევით დაემუქრა. ნაპირგამაგრების დაწყებამდე (50-იანი წლები) ზღვის სანაპიროს უკან დახევამ 250მ [Алпенидзе, 1975] შეადგინა. ნაპირის ბეტონის ნაგებობებით (60 ბუნა და 4კმ-ის სიგრძის კედელი) გამაგრების (ღირებულება 11.7მლნ. დოლარი) მიუხედავად, ოჩამჩირის ნავსადგურის უშუალოდ მიმდებარე ძირითადი ნაპირი ამჟამადაც კი ინტენსიურად ირეცხება.

ზღვის კიდის პირზე განლაგებული სამრეწველო ან/და სატრანსპორტო კომუნიკაციების აბრაზიისაგან დაცვის მიზნით ბუნის სერიით შემოზღუდვის გამო ნატანის ნაკადის გაწყვეტისა და „ქვედა წარეცხვის“ ფორმირების შედეგების მაგალითებია:

1. გაგრაში თხემის უბნის ციცაბო სანაპიროზე [სურ. 1] ვიწრო პლაჟის კიდეზე, რკინიგზის ხაზის აბრაზიისაგან დაცვის მიზნით, ბუნის სერია [32 ბუნა და ტალღისმჭრელი] ააშენეს, ხოლო ბუნებსშორისი „ჯიბეებში“ ნატანი მასალა მოზიდეს და კენჭნარით ამოავსეს. უნის სერიის მშენებლობამ სანაპიროს ჩრდილო-დასავლური მხრიდან მოძრაი, ნატანის ნაპირისგასწვრივი ნაკადი გაწყვეტილი აღმოჩნდა. ნაკადის ქარზურგა ნაწილის ნატანი მასალის

დეფიციტმა პლაჟის კვება შეწყვიტა, ხოლო „ქვედა წარეცხვები“ 5კმ სანაპირო კონტურზე [Пешков, 2005] დაფიქსირდა.

ანალოგიური სიტუაცია შეიქმნა რკინიგზის სადგური „თხემის“ ზღვისპირა კიდეზეც. ბუნის სერიის აგებამ, ამ მონაკვეთზე ნაპირის ბუნებრივი პროცესის მსველელობა მკვეთრად შეცვალა. ბუნის სერიის ნაკვეთურების შევსებასთან ერთად, ამ ნაგებობებს ნაპირდაცვითი ფუნქცია დაეკარგა და „ქვედა წარეცხვის“ აქტიურობა გამოავლინა.

მსგავსი ფაქტი დადასტურდა მდ. რეპრუას შესართავის ზღვისპირა უბანზეც, სადაც ბუნის სერიის მიერ ნატანის დისკრეტული ნაკადი გაერცვლდა და წყალმომარაგების სათავე ნაგებობასთან ავარიული მდგომარეობა შეიქმნა. ამ ნაგებობის ფასადზე ბეტონის ბლოკების, როგორც დროებითი ღონისძიების, ჩაწობა გახდა აუცილებელი. მოგვიანებით, ამ უბანზე ძვირადღირებული ორტრავერსიანი წყალქვეშა ტალღამჭრელი ააგეს, თუმცა მას დადებითი ეფექტი არ მოჰყოლია. პირიქით, ამ ნაგებობების მიღმა ნაპირის კონტურზე, გაგრის ცნობილი პარკის წინ, სიტუაცია კიდევ უფრო გამწვავდა - პლაჟის სიგანე 3-5მ-მდე შემცირდა.



2. კურორტ გაგრის ზღვის სანაპირო ხაზის უკან დახევა და პლაჟების წარეცხვა გასული საუკუნის დასაწყისში [Божич, 1927] შეინიშნებოდა. ავარიული მდგომარეობის სტაბილიზაციის მიზნით გაგრის ზღვის კიდეზე 32 ბუნის სერია მოეწყო, ხოლო მის ზურგის პერიფერიაზე ტალღამრიდი კედლის აგება გახდა აუცილებელი. ამ კედლის უმთავრეს დანიშნულება, ტალღის ენერჯის არიდებასთან ერთად, სანაპირო ზოლის კეთილმოწყობის ფუნქციაც გააჩნდა, რაც

დასვენების მიზნით დატვირთვის დანიშნულებას ასრულებდა. ყოველი ბუნის აგების შემდეგ, მის მეზობლად ქვედა წარეცხვის ახალი აგარიული ფრაგმენტები ჩნდებოდა, რაც ახალი უბნის ნაპირდაცვის მიზანშეწონილობას ქმნიდა.

გასულ საუკუნეში ფართო პლაჟები საკმაოდ გავრცელებული მოვლენა იყო. მათი ფორმირება მდინარეების უხვი მყარი ნატანი მასალის ნაპირთან შემოდინებასა და ზღვისპირზე სივრცებრივ გადანაწილებას უკავშირდებოდა. ჭარბი ატმოსფერული ნალექები და ხშირი ეროზიული ქსელი სანაპირო ზონის ნატანის მასალით უზრუნველყოფას ემსახურება. დასავლეთი საქართველოს 150 დიდი და მცირე მდინარის მიერ შავ ზღვაში ყოველწლიურად 4,5 მლნ მ<sup>3</sup> ქვიშისა და კენჭნარის ჩატანას აქვს ადგილი. მათ მიერაა ფორმირებული განიერი პლაჟები, აკუმულაციურ-დეფლტური (ბიჭვინთის, სოხუმის, კოდორის, ბურუნ-ტაბიეს) წარმონაქმნები, კოლხეთის ვრცელი ვაკე.

აკუმულაციის წარმართვა ბუნებრივი განვითარების რეჟიმში ყალიბდებოდა. ზღვის ნაპირების წარეცხვები გვიან პოლოცენური ეპოქის ბუნებრივ პროცესებს უკავშირდება. ნაპირების ევოლუციის ბოლო ეტაპზე დაფიქსირებული წარეცხვის აქტივიზაცია კი ნატანის ბიუჯეტის ხელოვნური შერყევითაა გამოწვეული, რომლის გამო-მწვევ მიზეზს მდინარეთა ხელოვნური დარეგულირება წარმოადგენს.

ამ მხრივ, თვალსაჩინო მაგალითებად გამოდგება მდ.მდ. ენგურის, გუმისთისა და ჭოროხის ჰეს-ების მშენებლობა და კაშხლების აგებასთან დაკავშირებული ნეგატიური მოვლენები:

1. მდ. ენგურის ქვემო დინებაში ჰეს-ის მადლივი კაშხლის (დაბა ჯვართან) ექსპლოატაციაში შესვლის დღიდან (1978წ) მისი პლაჟწარმომქნელი ნატანის ჩამონადენის მოცულობა 92%-ითაა [Джаошвили, 1986] შემცირებული. თუკი 1978 წლამდე ამ მდინარეს ზღვისპირზე 370 ათასი მ<sup>3</sup> პლაჟის წარმომქმნელი ნატანი გამოჰქონდა, ამჟამად მისი მოცულობა მხოლოდ 29 ათას მ<sup>3</sup> შეადგენს. ამის გამო, მდ. ენგურის შესართავისპირა დელტის შესამჩნევი წარეცხვა კაშხლის აგებისთანვე დაფიქსირდა. ზღვის კიდის უკან დახევის ტემპიც წლების განმავლობაში თანდათან მატულობდა და 80-იან წლებში 5-7მ/წწ შეადგინა.

ენგურჰესის მშენებლობის შედეგად ნატანის ბალანსი დარღვეულია აგრეთვე მდ. ერისწყლის (ამჟამად, სარინი არხი) შესართავის მიდამოებში. ამ მდინარის პლაჟწარმომქმნელი ნატანი (4850მ<sup>3</sup>) მასალა, წყლის ჭავლთან ერთად, ზღვაში საკმაოდ შორს გადაიტანება. ჩხადია, რომ არხის შესართავთან წყლის ჭავლის „მოლური ეფექტის“ ფორმირებას აქვს ადგილი. ამის გამო, მდ. დალიძის დელტის მხრიდან ნატანი მასალის ნაკადის მნიშვნელოვანი ნაწილი არხის შესართავის წინ - მის მარჯვენა ნაპირზე ილექება,



სადაც მან მცირე ზომის კონცხისებრი შვერილის წარმოქმნაც უკვე მოასწრო.

2. მდ. ჭოროხის კალაპოტის დარეგულირებამდე პლაჟური ფრაქციის ნატანი მასალის მოცულობა 2,5 მლნ მ<sup>3</sup>-ს შეადგენდა. აქედან, 600 ათასი მ<sup>3</sup> ალუვიური მასალა (24%) სამშენებლო ინდუსტრიაში გამოიყენებოდა და სანაპიროს ფორმირებაში მონაწილეობას [Джаошвили, 1986] არ ღებულობდა. ამ მდინარის შესართავთან ფორმირებული ნაპირისგასწვრივი ნაკადის სიმძლავრე 80 ათას მ<sup>3</sup>-ს შეადგენდა და ქ. ბათუმისაკენ მიემართებოდა. ცხადია, რომ ბათუმის სანაპირო ზოლის ფორმირებაში, მდ. ჭოროხის ალუვიონის მხოლოდ 3 % ღებულობდა მონაწილეობას. დანარჩენი ალუვიონი (1,8 მლნ. მ) წყალქვეშა კანიონში იკარგებოდა, ხოლო მცირე ნაწილი (10-12 %) ზვირთცემის ზოლში ცვეთას ხმარდებოდა.

ამჟამად მდინარის ნატანი მასალის დიდი ნაწილი კაშხლების წინა წყალსაცავებში იღეკება. ამიტომ, მდ. ჭოროხის შესართავისპირა ზოლში გამოტანილი პლაჟშემქმნელი მასალის მოცულობა 65%-ით შემცირდა. შავარაუდოდ, მომავალი 10 წლის განმავლობაში მისი უფრო მეტი (95 %-მდე) დაცემა მოსალოდნელი.

ამრიგად აღმოჩნდა, რომ ზღვის ნაპირები – ბუნებრივი გარემოს საკმაოდ მოწყვლადი ბუნებრივი წარმონაქმნები გარე ზემოქმედების მიმართ ადვილად რეაგირებენ და შთამბეჭდავ გარდაქმნებს განიცდიან. მათი შენარჩუნებისა და დაცვის მიზნით საუკუნეების მანძილზე გამოყენებული რკინა-ბეტონის ნაგებობების ნაპირსამაგრი ნაგებობების დიდი ნაწილი ამჟამად დანგრეული და მწყობრიდან გამოსულია [Меладзе, 1993]. ზოგიერთი სახის კონსტრუქციები ნაპირდაცვას ამჟამადაც ემსახურება და გამოიყენება კიდევაც, თუმცა ნაკლებად ჩანს მათი ეკონომიკური ეფექტურობა, ხშირად კი ასეთი ნაგებობები სოციალურად მიუღებელი, ეკოლოგიურად საფრთხიანი და მეურნეობრივად მიზანშეუწონელია.

ნაპირდაცვის ყველაზე გავრცელებული და პროგრესიული მიდგომა - სანაპირო ზონის ნატანი მასალით ხელოვნური (Пешков, 2005) კვებაა. ამ მეთოდის გამოყენება, კაპიტალურ (ბეტონის) ნაგებობების მშენებლობასთან შედარებით, რამდენიმე დადებით ელემენტს შეიცავს: 1. პლაჟების ხელოვნური კვებას ეკონომიკური თვალსაზრისით საკმაოდ ეფექტურობა გააჩნია - იგი რამდენადმე იაფია; 2. საკმაოდ ადვილად შეიცავს რეგულირების ბერკეტებსა და მართვის მექანიზმებს; 3. მიღწეულია სანაპიროს „ბეტონის ჯუნგლის“ ნაცვლად პლაჟების სანიტარულ-ჰიგიენური მდგომარეობის გაუმჯობესება; 4. პლაჟის ფართო ზოლი განიხილება, როგორც დრეკადი ნაპირსამაგრი ნაგებობა, რომელიც ამა თუ იმ ტალღურ რეჟიმთან შესაბამისობაში მოდის და საკუთარი იერ-სახის ცვლილებას განიცდის; 5. ხელოვნური პლაჟი იმეორებს ბუნებრივი წარმონაქმნის

იერ-სახეს და საკურორტო ზონას ათავისუფლებს ბეტონური ჯუნგლისაგან; 6. ხელოვნური თავისუფალი პლაჟი საკმაოდ მდგრადია და ხანგრძლივი საექსპლუატაციო დრო გააჩნია; 7. საკურორტო-რეკრეაციულ ზოლები რეკრეანტთა ატრაქციულობისა და ესთეტიკური მოთხოვნილების დაკმაყოფილების ობიექტებს წარმოადგენენ.

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. ალფენიძე მ., ლომთათიძე ზ. შავი ზღვა: აბიოტური და ბიოტური ფაქტორების დინამიკა. მეორე გადამუშავებული გამოცემა. აფხაზეთის მეცნ. აკადემია. თბ., 2016.-312 გ.  
<https://drive.google.com/file/d/0B2VAaKxYsWISRUObE9FdnQtazQ/view?pref=2&pli=1>
2. Алпенидзе М.Д. Темп абразии и величины деформации морского берега в пределах г. очамчире. Респ.науч.конф. молод. учен., Тб., 1975.
3. Божич П.К. К изучению движения береговых наносов Черного моря. Изв. Центр. Гидрометбюро, вып. 7, М., 1927.
4. Божич П.К. Размыв морского берега в Гаграх. Учен. зап. МГУ, № 19, 1938. с.51-64.
5. Джаошвили Ш.В. Речные наносы и пляжеобразование на Черноморском побережье Грузии, Тб., 1986.
6. Зенкович В.П. Из Зарубежного опыта морской берегозащиты. в сб.: Природные основы берегозащиты, наука, М., 1987. с.149-153.
7. Кикнадзе А.Г. Динамические системы и бюджет наносов вдоль Черноморских берегов Грузии. В сб.: Человек и окружающая среда, ``Алашара``, Сухуми, 1977.
8. Кикнадзе А.Г. Современное состояние и задачи инженерной защиты побережья Черного моря в пределах Грузинской ССР. Охрана природы. Тб., Мецниереба, 1981.
9. Кикнадзе А.Г., Меладзе Ф.Г., Сакварелидзе В.В. Защита Черноморского побережья Грузии от размыва морем. ГрузНИИНТИ, Тб., 1984. - 52 с.
10. Меладзе Ф.Г. Инженерные решения защиты морских берегов. ГТУ, Тб., 1993., с.208.
11. Пешков А. М. Галечные пляжи неприливых морей. Основные проблемы теории и практики. Краснодар., 2005.

## **Мелор Алпенидзе**

### **Берегозащита берега Черного моря железобетонными конструкциями и ее негативные последствия**

Рассмотрены: причины абразии природных и антропогенных процессов морских берегов, их последствия и необходимость берегозащиты; условия строительства традиционных берегозащитных сооружений железобетонной конструкции (серия бун, волноломы, фасонные блоки, волноотбойные и подпорные стены).

Приведены примеры: причин возникновения аварийных участков берега моря и типы их защиты традиционными сооружениями.

Проведен анализ: О негативном последствии берегозащиты железобетонными сооружениями („нызовые размывы“, разрушения берегов и берегозащитных сооружений).

Предложены: современные оригинальные и оптимальные мероприятия берегозащиты – искусственные подпитки пляжей, периодическое пополнение межбунных отсеков, строительство свободных пляжей, рефулирование песка, репассинг, воздержание от строительства железобетонных берегозащитных сооружений.

## რეზიუმე თოლორღაზა, მიკაბ ბონბაპი

### მდინარე ხოლაშენისხევის კალაპოტის ტრანსფორმაციის პროგრამის კარტოგრაფიული ანალიზი

კახეთი - საქართველოს უმშვენიერესი და უმდიდრესი კუთხე, თავისი მრავალფეროვანი ბუნებით, ელდარის დაბლობიდან აღმოსავლეთ კავკასიონის მწვერვალებამდე, ერთ-ერთ მჭიდროდ დასახლებულ და ათვისებულ მხარეს წარმოადგენს საქართველოში. ალაზნისა და იორის შენაკადებით დასერილ აღმოსავლეთ კავკასიონის სამხრეთ ფერდობზე და ცივ-გომბორის ქედის კალთებზე ინტენსიურად მიმდინარეობს ეროზიული, მეწყრული, ღვარცოფული პროცესები, რასაც ხელს უწყობს იურული, ცარცული და მესამეული ასაკის ადვილადშლადი დანალექი ქანების ინტენსიური გამოფიტვა, ატმოსფერული ნალექების დროსა და სივრცეში მკვეთრი ცვალებადობა, ამასთან დაკავშირებული მდინარეთა ჰიდროლოგიური რეჟიმის მკვეთრად გამოხატული სეზონურობა, სეისმური მოვლენების გააქტიურება და სხვა მრავალი მიზეზი. მეწყრული და ღვარცოფული მოვლენების წარმოქმნა-განვითარება დაკავშირებულია რიგ ბუნებრივ ფაქტორებთან, რომლებიც ძალზე ნოყიერ ნიადაგს ქმნიან მათი გააქტიურებისთვის. აღმოსავლეთ კავკასიონის სამხრეთ ფერდობისა და ცივ-გომბორის ქედის მკვეთრად დანაწევრებული რელიეფი, ტექტონიკური რღვევების სიხშირე და სირთულე, ნალექების არასტაბილური და სპონტანური ხასიათი, მდინარეთა ხეობების მორფოლოგიური თავისებურებანი, ამგებელი ქანების ადვილად შლადობა, განაპირობებს ღვარცოფული ნაკადებისა და მეწყრული მოვლენების წარმოქმნის ინტენსიურობას, რაც კახეთს ამ მოვლენების კლასიკურ მხარედ წარმოგვიდგენს [1].

მდ. ხოლაშენის ხევი ალაზნის მარჯვენა შენაკადია და მას ალავერდის მონასტრიდან 3,5-4 კმ-ში უერთდება. იგი სათავეს იღებს ცივ-გომბორის ქედის ჩრდილო-აღმოსავლეთ კალთებიდან, რომელიც ძირითადად აგებულია ცარცული და მესამეული ასაკის დანალექი წყებებით. მდინარის მიერ აქ ჩაჭრილია ღრმა ხეობა, საიდანაც მას დიდი რაოდენობით ქვა-ღორღი ჩამოაქვს, რაც კალაპოტის ფსკერის ამადლებასა და გაფართოებას იწვევს. ეს პროცესი განსაკუთრებით შესამჩნევია ხოლაშენისხევთან მდ. შავკაბას შეერთების ადგილიდან ქვევით, სადაც მდინარე ბოლო წლებში 130 მეტრის სიგანეზე გაფართოვდა. კალაპოტისა და ჭაღის დაახლოებით 1,5 კმ<sup>2</sup> (139 ჰა) ფართობი ქვა-ღორღით დაიფარა, რის შედეგად მდინარემ სიღრმე დაკარგა და წყალდიდობისას მიმდებარე ტერიტორიების დატბორვა დაიწყო. წყალმოვარდნების შედეგად ასობით ჰექტარ სასაოფლო-სამეურნეო სავარგულებს, საკარმიდამო ნაკვეთებსა და შენობა-ნაგებობებს (ბადაგონის ღვინის ქარხანა, მეცხოველეობის ფერმები)

სერიოზული ზიანი მიაყენა (სურ.1,2). მდინარე ალავერდის სამონასტრო კომპლექსსაც მიაღვა და პრობლემები მასაც შეუქმნა.



**სურ. 1 მდ.ხოდაშნისხევის კალაპოტი „ბადაგონის“ ღვინის ქარხანასთან**

ხოდაშნისხევის აუზი გეომორფოლოგიური თვალსაზრისით ფრიად განსხვავებულ არეალებშია მოქცეული, სადაც რელიეფის სხვადასხვა გენეტიკურ-მორფოლოგიური ტიპები გამოიყოფა. ალუვიური ვაკე აუზის ქვედა ნაწილში მყარი მასალის დაგროვების ზონას წარმოადგენს.



**სურ. 2 მდინარე ხოდაშნისხევის კალაპოტი „ბადაგონთან“ ახლოს**



**სურ. 3. მდ.ხოდაშნისხევის ქვემო წელი, მარცხენა ნაპირი**

აღუვიურ პროლუვიურ ვაკეს აუზის უფრო ზედა, შედარებით ვიწრო ზოლი აქვს დაკავებული და ძირითადად, დროებითი ნაკადების მიერ გამოტანილი პროლუვიონითაა შექმნილი. წყვეტილნაოჭა და მონოკლინური აღნაგობის განაპირა სტრუქტურულ (ნეოგენური გაღუნვები, კირქვული ქანები) მთისწინეთებს ზ.დ.-დან 800 მ-ზე მაღლა აუზის ფართო ზოლი უკავიათ. ასეთ რელიეფში ვითარდება ეროზიული და დენუდაციური პროცესები, რომელთაც წარმოქმნეს ხრამები, ხეხვები, ღარტაფები და სხვ. ფორმები. თანამედროვე ეგზოლინამიკური პროცესები მიმდინარეობა რიგი ბუნებრივი და ანთროპოგენური ფაქტორების ურთიერთქმედებაზე დამოკიდებული და მათი მოქმედების რიგითობითაა განსაზღვრული[1].

ხოდაშნისხევის მიერ შექმნილი პრობლემების აღმოსაფხვრელად ბოლო წლების განმავლობაში ტარდებოდა რიგი საინჟინრო-ტექნიკური (ნაპირ-სამაგრი, კალაპოტის ჩაღრმავება-გასწორება და სხვ.) სახის სამუშაოები (სურ.2). ასე მაგალითად, 2011 წელს ივნისის წყალდიდობის შედეგების აღმოსაფხვრელად (დაზარალდა ალავერდის მონასტრი) და შემდგომი უსაფრთხოების უზრუნველსაყოფად მდინარე შეგკაბას კალაპოტს ნაწილობრივ შეეცვალა მიმართულება, ხოლო მდ. ხოდაშნისხევის მარჯვენა სანაპიროზე, ბადაგონის ქარხნის ზევით, დამონტაჟდა ბეტონის ფილები. 2017 წელს შესრულებულია 200000 ლარის კალაპოტის გაწმენდითი სამუშაოები[4], თუმცა კარტომეტრიულ გეოგრაფიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ ამ ღონისძიებებს მნიშვნელოვანი შედეგები არ მოყოლია.

ხეობაში მიმდინარე ვეგეტაციის დინამიკური პროცესების შესწავლის მიზნით, 2015-2017 წ.წ. სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გეოგრაფიის მიმართულების საველე პრაქტიკის ფარგლებში, ჩვენს მიერ ჩატარებულია გეოგრაფიულ კარტომეტრიული კვლევები.



**ნახ.1** მდინარე ხოდაშნისღელის კალაპოტი (დღევანდელი ბადაგონის).



**ნახ.2.** მდინარე ხოდაშნისხევის კალაპოტი (ბადაგონის ტერიტორიასთან).თანამედროვე მდგომარეობა ორთოფოტოს ფრაგმენტი.  
<http://www.mygeorgia.ge/>

მიღებული შედეგების სივრცული განფენილობის მოწესრიგება ხდებოდა 1:10,000 და 1:25,000 მასშტაბების სატელიტური და საბჭოთა ტოპოგრაფიული რუკების ელექტრონული ვერსიების ეგზემპლარებზე და ჩვენს მიერ ბადაგონის ღვინის ქარხნის მიმდებარე ტერიტორიაზე მდინარის ტერიტორიასთან) 1970-იანი წლების მდგომარეობა. 1:25000 მასშტაბის ტოპო რუკის ფრაგმენტი კალაპოტში

ჩატარებული საველე ტოპოგრაფიული აგეგმვების მონაცემებით შედგენილ გეგმაზე. გაზომვების შედეგად მდინარე ხოდაშენისხევის აუზის ფართობმა 96,227კმ<sup>2</sup> შეადგინა. ამასთან, შესართავსა და თელავი-ახმეტის შემაერთებელ გზამდე ეს მონაცემი მხოლოდ 11,76 კმ<sup>2</sup> შეადგენს. მთავარი მდინარის მთლიანი სიგრძე - 34,09 კმ-ს, ვარდნა  $H_{მდ} = h_{სათ} - h_{უკს} = 1690,0 \text{ მ} - 408,5 \text{ მ} = 1281,5 \text{ მ-ს}$ , ხოლო მდინარის საერთო დახრილობა კი 0,0811% (81,1‰) შეადგენს. ფიზიკურ-გეოგრაფიული თავისებურებების მიხედვით მდინარის კალაპოტი ჩვენს მიერ შემდგენიარადაა გადანაწილებული: 1) შესართავი - I ხიდი, 2) I ხიდი - შავკაბა, 3) შავკაბა - II ხიდი, 4) II ხიდი - ვიწროები, 5) ვიწროები - მდ. ნანახშირალი წყალი, 6) მდ. ნანახშირალიწყალი - სათავე. აქედან კალაპოტის დახრილობით განსაკუთრებით გამოირჩევა სათავიდან ვიწროებამდე მონაკვეთი – 85,37‰, რაც მდინარის ადიდებისას წყლისა და ნაშალი მასალის შეთანაწყობით მნიშვნელოვანი კინეტიკური ენერჯის მატარებელი ხდება.

**ცხრილი 1. მდ. ზემო ხოდაშენისხევის ჰიდრომეტრული მონაცემები.**

მონაკვეთები	დატბორვის ფართობები კმ <sup>2</sup>		კალაპოტის სიგრძეები კმ		საშ. სიგანე კმ	
	სატელოტი	ტოპორუკის ელექტრონული	სატელოტი	ტოპორუკის ელექტრონული	სატელოტი	ტოპორუკის ელექტრონული
შესართავი - I ხიდი	0,724	0,466	10,48	10,36	0,069	0,045
I ხიდი - შავკაბა	0,309	0,421	2,08	2,09	0,149	0,203
შავკაბა - II ხიდი	0,168	0,261	1,27	1,59	0,132	0,164
II ხიდი - ვიწროები	0,194	0,158	1,98	1,89	0,098	0,084
სულ	1,395	1,212	15,78	15,93	0,088	0,076



საველე კვლევებმა და არსებული კარტოგრაფიული მასალის კარტომეტრიულმა ანალიზმა აჩვენა, რომ აუზის ჰიდროგრაფიული ქსელი შენაკადებით, ორი გაუდინარი ტბითა და 8 წყაროთია წარმოდგენილი. ამასთან, შენაკადების საერთო სიგრძემ 23,85 კმ შეადგინა, მათ შორის მარჯვენა შენაკადებმა - 14,66 (მდ. შავკაბასთან ერთად 39,34) კმ, მარცხენამ 25,879 კმ (ცხრ 1).

**ცხრილი 2.**

**მდინარე ხოდაშნისხევის აუზის მახასიათებლები**

მდინარე ხოდაშნისხევის აუზის მახასიათებლები							
ობიექტები	აუზის ფართობი კმ <sup>2</sup>	აბსოლუტური სიმაღლეები	ქსელის სიგრძე, კმ	ქსელის სისშირე კმ/კმ <sup>2</sup>	მდინარეთა და მათი მონაკვეთების სიგრძეები კმ	მდინარის ვარდნა მ	მდინარის დახრილობა, I/°= ‰
<b>ხოდაშნის ხევი</b>	S <sub>1</sub> =11,76	H <sub>შეს.</sub> =408,5	L <sub>მარჯ.</sub> =14,66		l <sub>1</sub> =10,48		
შესართავი-I ხიდი	S <sub>2</sub> =84,47	H <sub>სათ.</sub> =1715,0	L <sub>მარგ.</sub> =25,88		l <sub>2</sub> =19,59		
I ხიდი-II ხიდი	S <sub>ით</sub> =96,23 S <sub>ხორ</sub> =10,88	L <sub>ბთ.</sub> =30,07; L <sub>შობ.</sub> =1,55 L <sub>შ.კაბა</sub> =23,85; <b>სულ=94,46.</b>		0.88	L <sub>ბთ.</sub> =30,07	1307,0	0,043% =43,46‰
II ხიდი-ვიწები	S <sub>ბთ.</sub> : <b>107,11</b>	აკედან L <sub>მარ</sub> =14,31					
		407,5-589,5			10,48	182,0	0,017% =17,36‰
ვიწ-ბი.მდ. ნანახშირალი წყ. მდ.		589,5-710,0			3,64	120,5	0,033% =33,11‰
ნანახშირალი წყ. მდ.		710,0-775,9			1,43	65,9	0,046% =46,08‰
ნანახშირალი წყ. სათავე		775,9-1049,0			4,85	274,0	0,056% =56,48‰
		1049,0-1715,0			6,29	666,0	0,106% =105,88‰
<b>ხორხლის რიყე</b>	10,88	H <sub>შეს.</sub> =408,5 H <sub>სათ.</sub> =550,0	5,78+8,28	1.27	L=8,28	141,5	0,017% =17,10‰

შავკაბა	S <sub>ა</sub> =27,0 4	H <sub>შეს.</sub> =650,5 H <sub>სათ.</sub> =1475, 0	16,81+7,8 7	0,91	L=7,87	824,5	0,105%= 104,76‰
			სულ =23,85 შრ.=9,09	1,16	შრობ. =5,0		
ნანახში- რალი წყალი	0,38		შრ.=3,67		4,29+	იკარგება:0,380	
ტბა უძირო	0,10	940,0					
ტბა უსახე- ლო	0,92	1242,0					

მდინარეების კალაპოტში მიმდინარე პროცესები მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული აუზში არსებულ მეტეოროლოგიურ პირობებზე. მდინარე ხოდაშნისხევის აუზში მოსალოდნელი მაქსიმალური ნალექების დასადგენად შევარჩიეთ რეგიონთან ახლომდებარე თელავის, ახმეტისა და ნაფარეულის მეტეოსადგურების მონაცემები (ცხრ.4), საიდანაც ჩანს, რომ ყველაზე მეტი ნალექიანობით გამოირჩევა მაისი, შესაბამისად - 145, 123 და 132 მმ (3). თუ ჩავთვლით, რომ ხოდაშნისხევის აუზი თანაბარი მანძილითაა დაშორებული თელავისა და ახმეტის მეტეოსადგურებიდან და მოვახდენთ ამ მონაცემების კორექტირებას მივიღებთ ნალექის ფენის სიმაღლეს მოცემული აუზისათვის  $Y = \frac{123\text{მმ}+145\text{მმ}}{2} = 134 \text{ მმ}$ . ამ შემთხვევაში აუზში მოსული ნალექის მთლიანი რაოდენობა  $W=107,11\text{კმ}^2 \cdot 134 \text{ მმ} = 0,0143\text{კმ}^3$  ტოლია.

1891 წლის 1 ივლისს თელავში დაფიქსირებული ნალექების დღე-ღამური მაქსიმალური რაოდენობა - 116 მმ ახლოსაა ყველაზე ნალექიანი თვის მთლიან გასაშუალოებურ (134 მმ) მაქსიმალურ რაოდენობასთან (86,57%) (ცხრ.3), რაც გვაფიქრებინებს, რომ ნალექების ასეთი რაოდენობის მოსვლა შემდეგშიც არ გამოირიცხება. ეს კი სავალალო შედეგის მომტანი შეიძლება გახდეს მდინარის ქვედა ზონის კალაპოტისა და მიმდებარე ტერიტორიებისათვის [3]

**ცხრილი №3. ნალექების საშუალო თვიური რაოდენობა და წლიური ჯამი მმ-ში**

მეტსადგური	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	წელი	
თელავი	33	40	60	83	145	126	80	64	72	68	51	38	860
ხმელთა	43	51	64	86	123	118	72	59	66	74	63	38	857
აფარეული	28	42	55	90	132	112	81	69	76	70	54	36	845

**ცხრილი №4. მდინარე ხოდაშნისხევის აუზის ობიექტების გეოგრაფიული კოორდინატები და აბსოლუტური სიმაღლეები**

ობიექტები	კოორდინატები		აბსოლუტური სიმაღლე	
	φ	λ		
<b>ხოდაშნისხევი</b>	შესართავი	42°02',026	45°24',350	404,5
	ხიდი	41°58',335	45°20',459	592,7
	ხეობის შევიწროება	41°57',224	45°17',719	760,0
	სათავე	41°52',694	45°16',315	1690,0
-----	ზემო ხიდი	41°57',011	45°18',789	710,0
Google Satellite-ს რუკებზე	შესართავი	42°02',554	45°21',640	
	ხიდი კვ. ალვანი	42°02',554	45°21',923	
	დეღტის დასაწყისი	41°59',592	45°21',001	
	მეორე შესართავი	42°02',201	45°27',180	
<b>შავკაზა</b>	შესართავი	41°57',553	45°19',873	657,5
	სათავე	41°53',200	45°17',796	1475,0
<b>ხორხლის დელე</b>	შესართავი	42°02',390	45°24',538	408,5
	სათავე	41°59',115	45°20',753	550,0
<b>ტბა უძირო</b>	ცენტრი	41°56',517	45°18',257	940,0
<b>ტბა უსახელო</b>	-----	41°55',754	45°16',785	1242,0

აგეგმვის შედეგებმა აჩვენა, რომ მდინარეს უფრო მარჯვენა ნაპირის მორეცხვის ტენდენცია აქვს, რაც ადგილმდებარეობის ფიზიკურ-გეოგრაფიული თავისებურებებისა და კორიოლისის ძალის მოქმედების შედეგი შეიძლება იყოს (სურ 4). ასე მაგალითად, 2014 წლამდე, ქარხნის დამცავი ჯებირი, თითქმის 20 მეტრის სიგრძეზე მთლიანად ან ნაწილობრივ იყო დანგრეული.



**სურ. 4. მდ. ხოდაშნისხევის კალაპოტის გაფართოვება მარჯვენა მხარეს**



**სურ. 5. მდინარე ხოდაშნისხევის კალაპოტი ალავერდის მონასტერთან**

ამგვარად, მდ. ხოდაშნისხევის აუზის თანამედროვე აზევეების ზონაში მიმდინარეობს ჭარბი გამოფიტვისა და დენუდაციის

პროცესები, რომელთა პროდუქტები გრავიტაციის ძალით ხეობის ფსკერზე და ფერდობებზე გროვდება; უფრო ქვევით, ხეობის შუაწელში, სათავეში დაგროვილი მყარი მასალის ტრანზიტი ხდება და მეწყერ-ღვარცოფები წარმოიქმნება. ამჟამად აქ, გამოფიტვისა და გრავიტაციის ძალით, დიდძალი ნაშალი მასაა დაგროვილი, რაც თავსხმა წვიმების შემთხვევაში კატასტროფული ღვარცოფული ნაკადის წარმოქმნის უდიდეს საშიშროებას ქმნის, თანამედროვე დაძირვისა და ჭარბი აკუმულაციის ზონაში კი ალუვიურ-პროლუვიური ნაფენები წარმოიქმნება.

მდ. ხოდაშნისხევი ალავერდის ტაძართან მკვეთრად უხვევს მარჯვნივ, რაც მდინარის შეგუბებას იწვევს (სურ. 5). ამის შემდეგ ხოდაშნისხევი მდ ალაზნის კალაპოტის პარალელურად მიედინება და ალავერდის ტაძრიდან 3,5 კმ-ზე უერთდება მას. რამდენადაც მდინარეს მუდმივად ჩამოაქვს მყარი მასალა და აგროვებს დინების ქვემო წელში, ამდენად კალაპოტის დონე მაღლა იწვევს, რაც წყალმოვარდნის დროს ზრდის დატბორვის ალბათობას. ამ დროს განსაკუთრებით ზარალდება ალავერდის მონასტრის ტერიტორია, სადაც ნაპირზე გადმოსული მდინარის ნაკადი იჭრება. ხოდაშნისხევის კალაპოტის თანამედროვე მდგომარეობის შესაფასებლად და ახლო მომავლის პროგნოზირების მიზნით მიგვაჩნია, რომ აუცილებელია მდინარის ქვემოწელის მთელ პერიმეტრზე ტოპო-გეოდეზიური სამუშაოების (კალაპოტისა და მისი მიმდებარე ტერიტორიის მსხვილმასშტაბიანი აგეგმვა, მდინარის კალაპოტის ღერძის ნიველირება) ჩატარება, რომლის საფუძველზე შედგენილი გეგმა, გრძივი და განივი პროფილები მდინარის კალაპოტის თანამედროვე და პროგნოზული მოდელის შექმნის საშუალებას მოგვცემს. აუცილებელია ასევე, მსგავსი სამუშაოების ჩატარება მდინარის ზემო წელში, აქ დაგროვილი ნაშალი მასალის პარამეტრების დასადგენად. 3 წლის წინ აქ ჩატარებულია მნიშვნელოვანი ნაპირდაცვითი ღონისძიება – რამდენიმე ათეული მეტრის სიგრძეზე მოეწყო ორსაფეხუიანი გაბიონები, რამაც ნაწილობრივ გაანეიტრალა სტიქიის საფრთხე. პრობლემის აღმოსაფხვრელად, ჩვენი აზრით, აუცილებელია ხოდაშნისხევის კალაპოტის მკვეთრი მოსახვევის “შერბილება” ამ ადგილზე მისი გაფართოების გზით, რაც აქ ჭარბი ნატანის დაგროვებას შეამცირებს და გაადვილებს ნაკადის გადაადგილებას ალაზნისკენ. შესაბამისად, შემცირდება და შესაძლოა, აღმოიფხვრეს დატბორვის შანსიც.

### **გამოყენებული ლიტერატურა:**

1. გარემოს ეროვნული სააგენტოს ყოველწლიური ბიულეტენი, 2016წ.
2. მდინარეთა აუზების ინტეგრირებული მართვა  
[nala.ge/climatechange/uploads/ TrainingModules/3\\_7.pdf](http://nala.ge/climatechange/uploads/TrainingModules/3_7.pdf)

3. კახეთის მაგისტრალური გაზსადენის თელავი-ახმეტა. საქართველოს...moe.gov.ge/res/images/filemanager/daskvnebinebartvebi/gacemuli/gzsh12.pdf
4. სახელმწიფო შესყიდვების ერთიანი ელექტრონული სისტემა.  
[https://www.georoad.ge/.../2017%20wlis%](https://www.georoad.ge/.../2017%20wlis%20)
5. <http://www.mygeorgia.ge/>
6. საქართველოს საკადასტრო,  
<http://gisapps.n.reestri.gov.ge/geocadastr/>

### **revaz Tolordava, merab gongadze**

#### **Geographical and cartometric analysis of transformation of the riverbed of river Khodasheniskhevi**

Work covers the analysis of the behavior of exodynamic processes ongoing in the river-bed of the river Khodasheniskhevi to the geographic-physical characteristics of the river basin. Formation/development of landsliding and mud torrents is connected to the number of natural factors, creating pretty solid basis for their activation. Deeply fragmented relief of Tsiv-Gombori Range, frequency and difficulty of tectonic fissures, instable and spontaneous nature of precipitations, morphologic characteristics of the river gorges, easy breakdown of constructing rocks, all these initiates the intensity of mud streams and landsliding activities.

Due to the flowage of the river Khodashniskhevi, the river-bed and overflow land were all covered with stones and crushed rocks, thus, nearby territories were flooded during the flood, incurring significant damage to the hundreds of hectares of agricultural holdings, households and premises. Thus, it is necessary to provide various researches, providing the prognosis of the acts of God. Based on the geographic-cartographic researches, relevant recommendations are elaborated for regulating the river-bed processes.

## პოპ კოესანტია, იზოლდა ჰინჯარაშვილი

### სამეგრელოს მიწის რესურსების კარტოგრაფირება

თანამედროვეობის იმ უმთავრეს პრობლემათა შორის, რომელთა გამოვლინებები მიმართულია საზოგადოების წინააღმდეგ და ემუქრება ცოცხალ ბუნებას - ნიადაგური და მცენარეული საფარის მომავალი თაობისათვის გარანტირებული შენარჩუნება წარმოადგენს. ნიადაგური საფარის დაცვა და ხარისხობრივი გაუმჯობესება კაცობრიობის ერთ-ერთი უმთავრესი პრობლემაა. გარემოსა და მისი ელემენტების შენარჩუნება და გაუმჯობესება - პოტენციური პროდუქტიულობის განვითარების (ზრდის) ხელსაყრელი პირობების შექმნაშია გამოხატული და, საბოლოო ჯამში, რეგიონების მდგრადი განვითარების ეკონომიკური განვითარებისკენაა მიმართული.

საყოველთაოდ ცნობილია, რომ ამჟამად მსოფლიოს ნიადაგური (მიწის) რესურსები და, მათ შორის, საქართველოს საკმაოდ შეზღუდული მიწის რესურსები ინტენსიურ დეგრადაციას განიცდის. მისი მიზეზი ნიადაგის ქარისმიერი (დეფლაცია) და წყლისმიერი (ეროზია) გადარეცხვის პროცესების გააქტიურება წარმოადგენს. ამავდროულად, ამ ნეგატიური მოვლენების ფართო განვითარება დაკავშირებულია ნიადაგდაცვითი ფუნქციების მოშლასთან, ეროზიული და მეწერული ფერდობრივი პროცესების განვითარებასა და ნიადაგების გაბინძურება-გაჭუჭყიანების ინტენსიფიკაციასთან. სამეგრელოს მიწის რესურსებიც ძლიერ დეგრადაციას განიცდის. ამ უარყოფით პროცესებთან ერთად სამეგრელოს მიწების უდიდეს პრობლემას ჭაობებისა და დაჭაობებული ადგილების ფართო გავრცელება (სამეგრელოს ვაკე-დაბლობი და სანაპირო ზოლი) ქმნის. რეგიონის საშუალომთიანი და მაღალმთიანი ჰიფსომეტრიული დონეები კი (წალენჯიხის, ჩხოროწყუს, მარტვილის რაიონების ფარგლებში) რელიეფის ძლიერი სიღრმითი დანაწევრებისა და ე.წ. ბედლენდის (Badland - უვარგისი, ალქატი მიწები) მეტ-ნაკლებად სუსტი გავრცელების მიუხედავად, სამეგრელო ისე, როგორც მთელი საქართველო - მცირემიწიან რაიონად ითვლება.

ასევე სამეგრელოს მცენარეული საფარის უმთავრესი ეფექტურობა მისი ნიადაგდაცვით როლშია ასახული, რომლის ფუნქციებას ეკრანირებისა და ფიქსირების კანონზომიერი კომბინაცია განაპირობებს. ამ მოვლენის დეტალების გათვალისწინებით ნიადაგის

მიერ წყლისა და მინერალური ნივთიერებების შეკავების, ასევე მასების გადატანის უნარების შემცირების შედეგად ეკოსისტემების კატასტროფულ ცვლილებების გამოწვევას უნდა ველოდოთ. მათ შორისაა, დაჩქარებული ეროზიის პროცესი, რომლის უმთავრესი გამოძვვევი მიზეზი ურწყულ მოწათმოქმედებაა.

რეგიონის მიწის რესურსების შეფასების, რაციონალური გამოყენებისა და ათვისების ერთ-ერთი მნიშვნელოვან ფაქტორს ჭაობიანი მიწების ამოშრობა, მისი ნაყოფიერების გაზრდა და გამოყენება წარმოადგენს. სამეგრელოში თანამედროვე ჭაობების მიერ დაკავებული ფართობი 7663 ჰა-ს შეადგენს ანუ მას 76,6 კმ<sup>2</sup> მიწები აქვს დაკავებული. იმის მიუხედავად, რომ გასულ საუკუნეში აქ ჭაობების დაშრობა ინტენსიურად მიდიოდა, რომელმაც მოსალოდნელი საგრძნობი დადებითი შედეგები ვერ მოგვცა და, შესაბამისად, მიწის რესურსების პოტენციალის ზრდასა და განვითარებასაც ადგილი არ ჰქონია. გასული საუკუნის 90-იან წლებში კი სამეგრელოს მიწების არარაციონალურმა ათვისებამ კიდევ უფრო დაამძიმა მიწათმოწყობისა და რესურსული ათვისების პერსპექტივა. ამას დაემატა სამეგრელოში 2005 წლის მდგომარეობით არსებული საშრობი და სარწყავი არხებისა და ქსელების მთლიანი მოშლა და უმოქმედობის გამოწვევა. ამავე დროს, ნიადაგდაცვითი ღონისძიებების პრაქტიკაში გაუტარებლობის გამო - გაუარესდა სამელიორაციო სისტემების მდგომარეობა. საშრობი არხების მოშლამ კი დაჭაობებული ფართობების ზრდა და ჭაობებური ლანდშაფტების დამკვიდრება განაპირობა. ნიადაგის ეროზიულმა და მეორადი დაჭაობების პროცესებმა მწყობრიდან გამოიყვანა სასოფლო-სამეურნეო საჭიროებისათვის გამოსაყენებელი მასივები. ამიტომ, სამეგრელოს მიწის რესურსების რაციონალური (გონივრული) ათვისების თვალსაზრისით, აგრეთვე თანამედროვე სტანდარტების მიღწევის გათვალისწინებით, მიწის რესურსების გეოგრაფიულ შეფასებას დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. დაჩქარებას მოითხოვს მიწის ინვენტარიზაციის სამუშაოების ბოლომდე ჩატარება, რაც ხელს შეუწყობს საბარგულთა შემადგენლობის საბოლოო დაზუსტებასაც (მიქაძე... 2011).

სამეგრელოს მიწის რესურსების კარტოგრაფირება შესაძლებელია თითოეული რაიონის მიწის ინდექსისა და მისი საკადასტრო რუკების ანალიზის, გასული საუკუნის 90-იან წლებში მიწების მდგომარეობის შესახებ ინფორმაციაზე დაყრდნობის, მიწის რესურსების პოტენციალის უახლესი ცვლილებებისა და სხვათა გათვალისწინებით.



გასული საუკუნის 90-იანი წლების რეფორმით სამეგრელოს მიწების ნაწილი მოსახლეობას გადაეცა. კერძო საკუთრებაში გადაცემული მიწის ფართობებმა 92737 ჰა შეადგინა. აქედან, სასოფლო-სამეურნეო დანიშნულების მიწები იყო 90995 ჰა, ხოლო დანარჩენი (1742 ჰა) არასასოფლო-სამეურნეო მიზნებისთვის იყო განკუთვნილი. რეგიონის ადმონისტრაციულ საზღვრებში მოქცეული მიწის რესურსების ტრანსფორმაციის შესახებ წარმოდგენას იძლევა გასული საუკუნის 90-იანი წლებისა და ამჟამად არსებული რესურსების რაოდენობრივი მაჩვენებლების შედარება (სამეგრელოს მიწის, 2004). იგი შესაძლებელი გახდა რეგიონის მიწის ფონდის შესახებ სტატისტიკური და თვით ავტორის მიერ ადგილზე მოპოვებული მონაცემების დამუშავებით მიღებული შედეგების საფუძველზე. ბოლო მონაცემების მიხედვით სამეგრელოს მიწის ფონდის ჯამური ფართობი 442375 ჰა-ს შეადგენს. ნაშრომში მოტანილია მიწის რესურსების სტრუქტურული სურათი (ცხრილი 1), რომელიც ნათელ წარმოდგენას იძლევა რეგიონში განვითარებული სასოფლო-სამეურნეო საქმიანობისა და მათ მიერ დაკავებული მიწის ფართობების გადააწილების შესახებ.

**ცხრილი 1. სამეგრელოს რაიონების მიწის რესურსები სასოფლო-სამეურნეო სავარგულების მიხედვით. ფართობები მოცემულია ჰა-ში**

რაიონი	საერთო ფართობი	სასოფლო სამეურნეო მიწები	სახნავი	ხეხილის ბაღი	ჩაი	ციტრუსები	ვენახი	სხვა მრავალწლიანი ნარგავები, თხილი	სამოკარი	სათიბი
აბაშა	32252	20754	12791	965	68	–	7	688	6235	–
ზუგდიდი	69207	35893	14197	440	5370	468	348	6698	8900	–
მარტვილი	88060	31523	9773	649	2822	–	694	1109	16313	163
სენაკი	52071	21924	9696	307	1212	150	110	2951	7198	24
ჩხოროწყუ	61936	21218	4843	528	2975	9	205	1222	11437	–
წალენჯიხა	64668	13573	3886	145	2914	–	160	1213	5075	80
ხობი	67601	29942	12447	531	1432	377	37	1447	12592	11
ქ. ფოთი	6580	858	313	–	25	–	272	32	5	–
სულ	442375	175685	67134	3565	16818	1004	1833	11995	67887	278

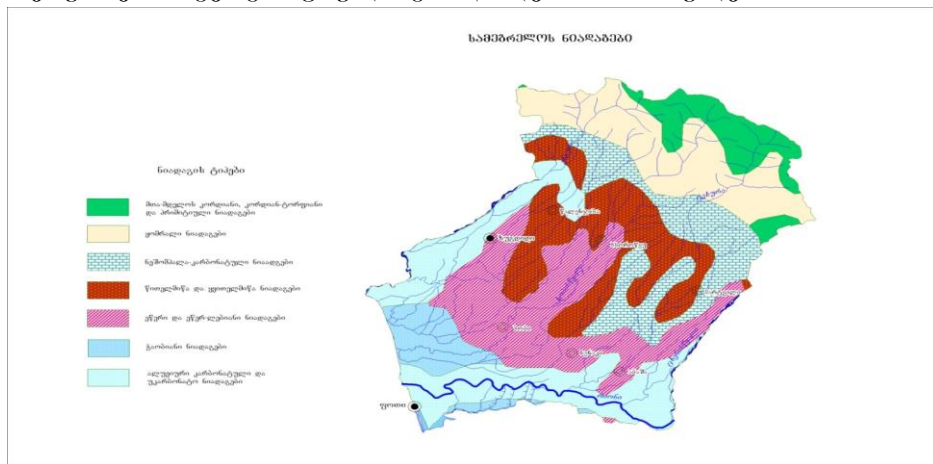
ამავე დროს, მიწის ფონდის ათვისების ხვედრითი მაჩვენებლების მისაღებად, საინტერესოა ამ რესურსების საერთო სტრუქტურული ნიშნები ანუ ამ მიწებზე წარმოდგენილი ბუნებრივი და ხელოვნური კომპონენტების სივრცობრივი და რაოდენობრივი მახასიათებლების თანამედროვე მდგომარეობა. აქ დიდი ინტერესი აქვს რეგიონის მიწის ფონდების თუ რა წილი აქვს დაკავებული ტყეებსა და ბუჩქნარებს, ტბებსა და წყალსაცავებს, მდინარეებსა და ჭაობებს, მაგისტრალურ არხებსა და შიდა სატრანსპორტო ქსელებს, ადგილობრივ გზებს, შენობებსა და ნაგებობებს, სამხედრო თუ სხვა პოლიგონებს, ეროზირებულ და დამეწყვირდ ფრაგმენტებს, დაბინძურებულ და კარიერულ უბნებსა და ა.შ. მათ შესახებ კრებისითი მონაცემები მოტანილია ცხრილში 2.

**ცხრილი 2. სამეგრელოს რაიონების მიწის რესურსების არასასოფლო-სამეურნეო სტრუქტურა. ფართობები მოცემულია ჰა-ში**

რაიონი	ტყე-ბუჩქნარი	შენობებითა და გზებით დაკავებული მიწები	მდინარეებით ნაკადულებით	წყალსაცავებითა და ტბოებით	ტბებით	ჭაობებით	გამოყენებული მიწები	მაგისტრალური	ეროზირებული და დამეწყვირდო	კლდეებით, სრამებით, ქვიშრობებით,
აბაშა	2352	1731	1958	210	–	24	5223	–	1841	3181
ზუგდიდი	17596	5953	4317	54	–	196	3720	458	1666	1889
მარტვილი	45344	2209	1613	–	–	50	7321	–	605	6568
სენაკი	19048	3011	1487	631	–	254	3470	2246	1500	1933
ჩხოროწყუ	27693	1381	991	91	–	–	10539	22	2830	7667
წალენჯიხა	41972	1197	464	1447	1	76	5939	–	484	5396
ხობი	23250	2897	1698	25	–	6918	487	2385	–	447
ქ. ფოთი	695	1154	505	56	2345	145	739	9	–	1449
სულ	177950	19533	13033	2514	2346	7663	37338	5120	8926	28530

სამეგრელოს მიწის რესურსების რაციონალური და გონივრული ათვისება-გამოყენების მიზნით, უმთავრეს გეოგრაფიულ ამოცანას წარმოადგენს აგრარულ-რესურსული პოტენციალის ახალ სისტემებზე დაყრდნობით კადასტრიტრება-კარტოგრაფირება, რომელიც ჯერ არაა დასრულებული. მსგავსი სამუშაოების შესრულებითა

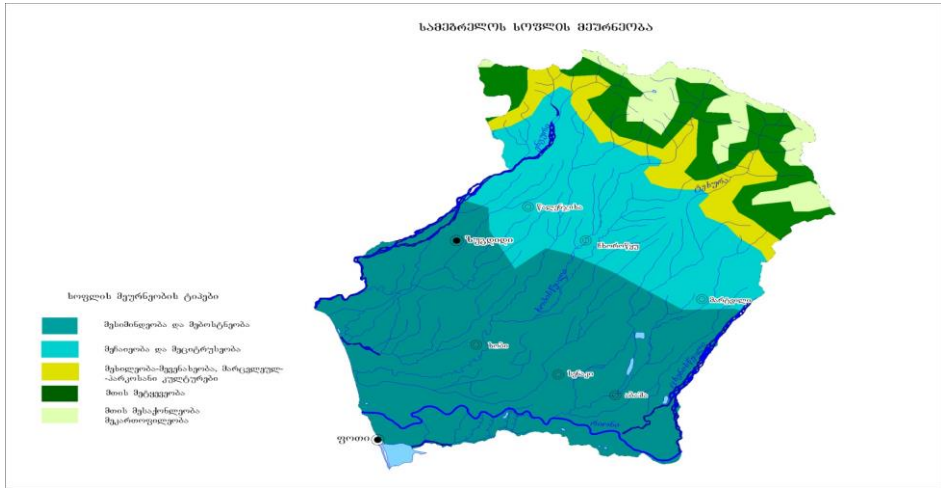
და საბაზო რუკების შედგენის საფუძველზე ყოველწლიურად შეიძლება მიწის რესურსების სტრუქტურული ცვლილებების შეფასება და რეალური მონიტორინგის სისტემის ამოქმედება-დაწესება. აღნიშნული მასალის განზოგადობისა და სივრცობრივი სხვადასხვაობის წარმოდგენის შედეგად ავტორის მიერ შემუშავებულია სამეგრელოს ძირითადი ნიადაგური რესურსების გეოინფორმაციული რუკა, რომელიც (ნახ.1) შედარებით ამომწურავად გამოხატავს აქ მიწის რესურსების გეოგრაფიული განაწილების სირთულეს.



ნახ. 1.

სოფლის მეურნეობის განვითარება კი უშუალო კავშირშია მიწის რესურსებთან, კერძოდ მიწათმოქმედების პერსპექტივას რეგიონში ყველაზე ხელსაყრელი აგროკლიმატური და ნიადაგ-კლიმატური პირობები გააჩნია. ზემოთმოცემული მასალებისა და თვით ავტორის ემპირიული დაკვირვების მონაცემების საფუძველზე შევადგინეთ სამეგრელოს სოფლის მეურნეობის გეოინფორმაციული რუკა (ნახ.2), სადაც ნათლად ჩანს სოფლის მეურნეობის დარგების გავრცელების ზონები რეგიონის ტერიტორიაზე.

ამრიგად, სამეგრელოს აღმონისტრაციულ საზღვრებში მოქცეული მიწის რესურსების ტრანსფორმაციის შედეგების, მიწის ფონდის შესახებ სტატისტიკური და თვით ავტორის მიერ ადგილზე მოპოვებული მონაცემების დამუშავებით მიღებული შედეგების საფუძველზე, შექმნილია მიწის რესურსების სტრუქტურული სურათი რომელიც ნათელ წარმოდგენას იძლევა რეგიონის სასოფლო-სამეურნეო და არასასოფლო-სამეურნეო მიწის ფართობების გადააწილების შესახებ.



ნახ. 2.

ზემოთაღნიშნული მასალის განზოგადოებისა და სივრცებრივი სხვადასხვაობის წარმოდგენის შედეგად ავტორის მიერ შემუშავებულია სამეგრელოს ძირითადი ნიადაგური რესურსების გეოინფორმაციული რუკა, რომელიც ამომწურავად გამოხატავს აქ მიწის რესურსების გეოგრაფიული განაწილების სირთულეს. ასევე ემპირიული დაკვირვების მონაცემების საფუძველზე შევადგინეთ სამეგრელოს სოფლის მეურნეობის გეოინფორმაციული რუკა სადაც ნათლად ჩანს სოფლის მეურნეობის დარგების გავრცელების ზონები რეგიონის ტერიტორიაზე

**გამოყენებული ლიტერატურა**

1. აღფენიძე მ., სეფერთელაძე ზ., დავითაია ე., ხარაძე კ. საქართველოს ფიზიკური გეოგრაფია, თბ. 2009.
2. კობახიძე ე., საქართველოს ბუნებრივი სიმდიდრეები. თბ.,1973.
3. მიქაძე ი., ეკოლოგია. თბ. 2011.
4. სამეგრელო (მ. არდიასა და ჭ. ჯანელიძის რედაქციით), თბილისი-ზუგდიდი, 1999.
5. სამეგრელო-ზემო სვანეთის მხარის მიწის ფონდის განაწილების ანგარიში 2001 და 2004 წლების მიხედვით. ზუგდიდი 2004.
6. ურუშაძე თ., საქართველოს ძირითადი ნიადაგები, 1994.

**Koba Korsantia, Izolda Chincharashvili**

## **Mapping of land resources of Samegrelo region**

Aim of the work is mapping of land resources of Samegrelo region by means of geo-informational system. According to the above-mentioned the following works have been implemented:

Comparison of land resources, which are located within administrative borders of the region, structural picture of land resources has been created on the basis of statistical information about land and results of reprocessing of the data acquired by the author on site, which gives a clear view on distribution of agricultural and nonagricultural lands in the region.

As a result of generalization of the above-mentioned material and surface differences the author elaborated geo-informational map of main soil resources in Samegrelo, which gives detailed information about complicity of geographic distribution of land resources. Also, based on the data of empirical observation the author elaborated geo-informational map of agriculture in Samegrelo, where it is clearly shown zones of widespread of agriculture fields on the territory of the region.

სარჩევი  
CONTENT

მათემატიკა და კომპიუტარული მეცნიერებაები

*Nugzar Kereselidze. Integratwed Mathematical and Computer Models of The Information Warfare. . . . .* 5

**ნუგზარ კერესელიძე.** ინფორმაციული ომის გაერთიანებული მათემატიკური და კომპიუტერული მოდელები. . . . . 23

**ინგა გაბისონია.** ფურიეს მწკრივების ჰარდის მეთოდით შეჯამებადობის საკითხის შესახებ. . . . . 25

**Inga Gabisonia. Fourier Rov of Hardy Embodies Method Segments The Issue. . . . .** 30

ფიზიკა

**Темур Гоголадзе, Александр Миминошвили.** Динамика изменения электролитного обмена плазмы крови и электровозбудимости миокарда при остром сепсисе. . . . . 31

**თემურ გოგოლაძე, ალექსანდრე მიმინოშვილი.** მიოკარდის ელექტრო-აგზნებადობის და სისხლის პლაზმის ელექტროლიტური ბალანსის დარღვევის დინამიკის შესწავლა მწვავე ექსპერიმენტალური სეფსისის დროს. . . . . 36

**როინ ბერია, ნატო თოლორაია.** დროით არეში სასრული სხვაობებისა და კირხოფის კომბინირებული მეთოდი ელექტროდინამიკის ამოცანებში. . . . . 37

**Roin Beria, Nato Toloraya.**The Combined Finite-Difference Method in The Time Domain and Kirchhoff in Electrodynamics Problems. . . . . 51

**ნანა მაისურაძე, ნანო ბაქრაძე.** დასასმელი ამოცანების როლი ფიზიკური აზროვნების განვითარებაში. . . . . 52

**Nana Maisuradze, Nano Bakradze.** The Role of Set Tasks in Development of Physical Thinking. . . . . 57

**ვარადებული (გენო) ნურნუმია, მანუჩარ ნურნუმია.** ლაზერული დიაგნოსტიკის პრინციპები, ყველაზე ტიპური მაგალითები. . . . . 58

**Varadebul (Geno) Tsurtsumia, Manuchar Tsurtsumia.** Principles of Lazear Diagnostics. The Most Typical Examples. . . . . 62

ბიოლოგია

**შორენა შარია.** მიტოქონდრიულ გენომში მუტაციებით გამოწვეული პათოლოგიები. . . . . 63

**Shorena Sharia. Mitochondrial Genome Mutations Caused by Diseases. . . . .** 80

**ელისაბედ ვეკუა.** არის თუ არა ტვინი ჩვენი „მე“. . . . . 81

**Elisabed Vekua. Whether the Brain Is Our "I". . . . .** 88

<b>ლალი ახალაძე.</b> იმუნური უჯრედების ფუნქციური თავისებურებანი ფსიქოგენური სტრესის განვითარების სხვადასხვა ეტაპზე .....	89
<b>Lali Akhaladze.</b> <i>Functional peculiarities of immune cells at various phases of psychogenic stress development</i> .....	99

**გეოგრაფია**

<b>მელორ ალფენიძე.</b> შავი ზღვის ნაპირდაცვა რკინა-ბეტონის კონსტრუქციებით და მისი ნეგატიური შედეგები. ....	100
<b>Мелор Алпенидзе.</b> <i>Берегозащита берега Черного моря железобетонными конструкциями и ее негативные последствия.</i> ....	107
<b>რევაზ თოლორდავა, მერაბ გონგაძე.</b> მდინარე ხოდაშენისხევის კალაპოტის ტრანსფორმაციის გეოგრაფიულ-კარტომეტრიული ანალიზი. ....	108
<b>Revaz Tolordava, Merab Gongadze.</b> <i>Geographical and Cartrometric Analysis of Transformation of The Riverbed of River Khodasheniskhevi.</i> ....	118
<b>კობა კორსანტია, იზოლდა ჭინჭარაშვილი.</b> სამეგრელოს მიწის რესურსების კარტოგრაფირება. ....	119
<b>Koba Korsantia, Izolda Chincharashvili.</b> <i>Mapping of land resources of Samegrelo region.</i> ....	125

## ავტორებისათვის

სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის შრომებში (საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სერია) გამოსაქვეყნებლად მოტანილი ან გამოგზავნილი მასალა უნდა იყოს აკრეფილი ფონტით AcadNusx (ზომა - 12, ინტერვალი - 1,5). სქოლიო უნდა იყოს ასევე AcadNusx-ში (ზომა - 10, ინტერვალი - 1,5). უცხო ენებზე აკრეფილი ტექსტი უნდა იყოს აკრეფილი Times New Roman-ში, ძირითადი ტექსტის ან სქოლიოს შესაბამისი ზომებით. სტატიას თან უნდა ახლდეს რეზიუმე (დაახლოებით 1000 ასო-ნიშანი, ნახევარი გვერდიდან ერთ გვერდამდე) ქართულ და ინგლისურ ენებზე. სქოლიოს დაკაბადონების წესების შესახებ იხ. „შრომები“ (საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სერია), ტ. X თბ., 2011 ვებ-გვერდზე:

[http://sou.edu.ge/index.php?lang\\_id=GEO&sec\\_id=170](http://sou.edu.ge/index.php?lang_id=GEO&sec_id=170)

### რედაქციის მისამართი:

სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტი,  
ქ. თბილისი, 0186,  
ანა პოლიტკოვსკაიას ქ. №9,  
ტელ.: 254-14-12

**E-mail:** [zpapaskiri@gmail.com](mailto:zpapaskiri@gmail.com)

**Web-site:** <http://www.sou.edu.ge>



სოხუმის სახელმწიფო უნივერსიტეტის

შრომები

XVII

*ზუსტ და საბუნებისმეტყველო მეცნიერებათა სერია*

PROCEEDINGS OF SOKHUMI STATE UNIVERSITY

XVII

*Exact And Natural Sciences Series*

ტირაჟი: 100 ეგზემპლარი.