საქართველოს სსრ

მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე

ტომი XIII, № 6

ძირითადი ქართული გამოცემა

1952

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა

თბილისი

შ ი ნ ა ა რ ს ი

მათემატიკა

დრეკადობის თეორია

ფიზიკა

გეოლოგია

მინერალოგია

ტექნიკა

ბოტანიკა

ნიადაგმცოდნეობა

ფიზიოლოგია

ისტორია

მათემატიკა

მ. ბაბუა

ფუნქციების ელიფსური განტოლების კერძო ამოხსნების მწკრივად გაშლის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ი. ვეკუამ 27.11.1951)

განვიხილოთ განტოლება:

$$\Delta u + a(x, y)\frac{\partial u}{\partial x} + b(x, y)\frac{\partial u}{\partial y} + c(x, y)\, u = 0, \qquad (E_0)$$

სადაც Δ ლაპლასის ოპერატორია, ხოლო $a(x, y)$, $b(x, y)$ და $c(x, y)$ მოცემული მთელი, ნამდვილი ფუნქციებია x და y ნამდვილი ცვლადებისა.

როგორც ცნობილია [1], ზოგადი ამოხსნა მოცემული განტოლებისა, ნებისმიერ მარტივადბმულ T არეში მოიცემა ფორმულით

391

$$u(x, y) = \mathrm{Re}\left[G(z, \overline{\zeta}, z, \overline{z})\,\Phi(z) - \int_{\zeta}^{z}\Phi(t)\,\frac{\partial}{\partial t}\,G(t, \overline{\zeta}, z, \overline{z})\,dt\right], \qquad (1)$$

სადაც $z = x + iy \in T$, $\zeta = \xi + i\eta$ ნებისმიერად ფიქსირებული წერტილია T არეში, $G(t, \tau, z, \zeta)$ (E_0) განტოლების რიმანის ფუნქციაა, რომელიც t, τ, z და ζ კომპლექსური ცვლადების მთელ ფუნქციას წარმოადგენს, ხოლო $\Phi(z)$ არის T არეში განსაზღვრული, ნებისმიერი ანალიზური ფუნქცია.

განვიხილოთ (E_0) განტოლების $u_n(x, y)$ $(n = 1, 2, \ldots)$ კერძო ამოხსნათა სისტემა:

$$u_n(x, y) = \mathrm{Re}\left[G(z, 0, z, \overline{z})\,P_n(z) - \int_{0}^{z}P_n(t)\,\frac{\partial}{\partial t}\,G(t, 0, z, \overline{z})\,dt\right], \qquad (2)$$

სადაც $P_n(z)$ არის $z = x + iy$ ცვლადის n-ური რიგის ნებისმიერი პოლინომი. $u_n(x, y)$ კერძო ამოხსნები ქმნიან ფუნქციების წრფივად დამოუკიდებელ სისტემას, $\Delta u = 0$ განტოლების შემთხვევაში წარმოადგენენ ჰარმონიულ პოლინომებს, ხოლო ზოგიერთ სხვა კერძო შემთხვევაში ცხადი სახით გამოისახებიან სპეციალური ფუნქციების საშუალებით [1].

საკითხი, სად და რისკენ შეიძლება თანაბრად შეიკრიბონ z-ცვლადის პოლინომები, დიდი ხანი არაა, რაც სავსებით გადაჭრილი იქნა ს. მ ე რ გ ე ლ ი ა ნ ი ს მიერ [2]. მივყვებით რა [3]-ში მოცემულ მეთოდს, წინამდებარე შენიშვნაში ჩვენ შევეხებით ანალოგიურ საკითხს (2) კერძო ამოხსნებისათვის.

ვთქვათ, E შემოსაზღვრული, ჩაკეტილი სიმრავლეა, ხოლო $f(x, y)$ E-ზე განსაზღვრული უწყვეტი ფუნქციაა, რომელიც (E_0) განტოლების რეგულარულ

ამოხსნას წარმოადგენს E სიმრავლის შიგა წერტილთა ერთობლიობაზე (თუ კი ასეთები არსებობენ).

ქვევით, ზოგადობის შეუზღუდველად ვიგულისხმებთ, რომ E ბმული სიმრავლეა, ე. ი. E კონტინიუმია.

სიმრავლის შიგა წერტილთა ერთობლიობა აღვნიშნოთ G-თი, ხოლო E-ს დამატება მთელს სიბრტყემდე CE-თი. ცხადია, $CE = G_0 + \sum_{i=1}^{\infty} G_i$, სადაც $G_i\,(i = 0, 1, 2, \ldots)$ — CE სიმრავლის ბმული კომპონენტებია, ამასთან G_0 მარტივადბმული არეა, რომელიც უსასრულოდ დაშორებულ წერტილს შეიცავს. ვთქვათ,

$$E_1 = \sum_{i=1}^{\infty} G_i + E,$$

ხოლო G^* ერთობლიობაა E_1 სიმრავლის შიგა წერტილებისა. ვიგულისხმოთ, რომ $G^* = G + \sum_{i=1}^{\infty} G_i$, მაშასადამე, $E_1 - G^* = E - G = \Gamma$ (ეს პირობა აუცილებელია).

შევარჩიოთ ახლა $D_1, D_2, \ldots$, მარტივადბმული არეების მიმდევრობა იმდავვარად, რომ დაცულ იქნეს პირობები:

1. $E_1 \in D_{n+1} \in D_n$, $n = 1, 2, \ldots$
2. დამატება D_n სიმრავლისა იკრიბება E_1 სიმრავლის დამატებისაკენ.

ვთქვათ, $\varphi_n(x, y)$ $(n = 1, 2, \ldots)$ შესაბამისად D_n არეებზე განსაზღვრულ ფუნქციათა მიმდევრობაა, რომელნიც თანაბრად იკრიბებიან E-ზე $f(x, y)$ ფუნქციისაკენ, და მეორე რიგამდე, ჩათვლით, აქვთ უწყვეტი წარმოებულები შესაბამის D_n-სიმრავლეებზე.

ვთქვათ, $\omega(x, y, \xi, \eta)$ (E_0) განტოლების ნორმირებული, სტანდარტული, ელემენტარული ამოხსნაა:

$$\omega(z, \zeta) = \omega(x, y, \xi, \eta) = -\frac{1}{4\pi}\Big\{\mathrm{Re}\Big[G(z, \overline{\zeta}, z, \overline{z}) \lg(z - \zeta)$$

$$- \int_{\zeta}^{z} \lg(t - \zeta) \frac{\partial}{\partial t} G(t, \overline{\zeta}, z, \overline{z})\, dt\Big] + k(z, \zeta)\Big\}, \qquad (*)$$

$$(z = x + iy, \quad \zeta = \xi + i\eta, \quad \overline{z} = x - iy, \quad \overline{\zeta} = \xi - i\eta),$$

სადაც $k(\xi, \zeta)$ ყოველი ფიქსირებული ζ-სათვის წარმოადგენს (E_0) განტოლების მთელ ამოხსნას x და y ცვლადების მიმართ (დაწვრილებით იხ. [1]).

ადვილი შესამჩნევია [4], რომ $\varphi_n(x, y)$ ფუნქცია შესაბამის D'_n არეში შემდეგი სახით შეიძლება იქნეს წარმოდგენილი ($D'_n - D_n$ არის ქვეარეა, რომელიც E_1-ს შეიცავს, ე. ი. $E \in D'_n \in D_n$):

$$\varphi_n(x, y) = v_n(x, y) - \iint\limits_{\zeta \in D'_n} \omega(x, y, \xi, \eta)\, E(x_n(\xi, \eta))\, d\xi\, d\eta, \quad \zeta = \xi + i\eta, \tag{3}$$

სადაც

$$E(\varphi_n(\xi, \eta)) = \Delta\varphi_n + a\frac{\partial\varphi_n}{\partial\xi} + b\frac{\partial\varphi_n}{\partial\eta} + c\varphi_n, \tag{4}$$

ხოლო $v_n(x, y)$ (E_0) განტოლების რეგულარულ ამოხსნას წარმოადგენს D'_n არეში x და y ცვლადების მიმართ.

თეორემა 1. იმისათვის, რომ E-ზე განსაზღვრული ნებისმიერი უწყვეტი ფუნქცია $f(x, y)$, რომელიც (E_0) განტოლების რეგულარულ ამოხსნას წარმოადგენს E სიმრავლის შიგა წერტილთა ერთობლიობაზე, გაიშალოს (2) კერძო ამოხსნათა მწკრივად, რომელიც თანაბრად იკრიბება E სიმრავლეზე $f(x, y)$ ფუნქციისაკენ, აუცილებელია და საკმარისი, რომ არსებობდეს $\varphi_n(x, y)$ $(n = 1, 2, \ldots)$ ფუნქციათა მიმდევრობა, რომელიც დამატებითად დააკმაყოფილებს პირობას:

$$\lim_{n \to \infty} \iint\limits_{\zeta \in G^*} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta = 0, \tag{5}$$

სადაც კრებადობა z-ის მიმართ თანაბარია $(z = x + iy \in E$, $\zeta = \xi + i\eta \in G^*)$.

პირობის აუცილებლობა ცხადია.

ადვილად შეიძლება დამტკიცდეს აგრეთვე საკმარისობაც. მართლაც:

$$\varphi_n(x, y) = v_n(x, y) + \iint\limits_{\zeta \in G^*} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta - \iint\limits_{\zeta \in \Gamma} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta$$
$$+ \iint\limits_{\zeta \in R_n} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta, \tag{6}$$

სადაც $z = x + iy \in D'_n$, ხოლო $R_n = D'_n - E_1$.

ი. ვეკუას [1] ერთი თეორემის საფუძველზე (რომელიც ჩვენი შემთხვევისათვის რუნგეს თეორემის ანალოგს წარმოადგენს), თუ მხედველობაში მივიღებთ (5)-ს და ცხად ტოლობას $\lim\limits_{n \to \infty} \operatorname{mes}[D_n - E_1] = 0$, ადვილად შევამჩნევთ, რომ ფორმულირებული დებულების დამტკიცებისათვის საკმარისია ვაჩვენოთ

$$\Phi(x, y) = \iint\limits_{\zeta \in \Gamma} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta, \quad (z = x + iy \in E,\ \zeta = \xi + i\eta)$$

ფუნქციის, სადაც n ფიქსირებულია, (2) კერძო ამოხსნებით თანაბარი აპროქსიმაციის შესაძლებლობა E სიმრავლეზე.

$\Phi(x, y)$ ფუნქციის თანაბარი აპროქსიმაციისათვის E-ზე საკმარისია [3], რომ ყოველი $\zeta = \xi + i\eta \in \Gamma$ და ნებისმიერი $\varepsilon > 0$-სათვის არსებობდეს (E_0) განტოლების მთელი ამოხსნა $u_\zeta(x, y) = u_\zeta(z)$, რომელიც აკმაყოფილებს პირობებს:

$$\left.\begin{aligned} &\iint\limits_{|z-\zeta|<\varepsilon} |\omega(z,\zeta)-u_\zeta(z)|\, d\xi\, d\eta < A\cdot\varepsilon, \quad \zeta=\xi+i\eta\in\Gamma, \\ &|\omega(z,\zeta)-u_\zeta(z)|<B\cdot\varepsilon, \quad |z-\zeta|\geqq\varepsilon, \quad \zeta\in\Gamma, \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

სადაც A და B აბსოლუტური მუდმივებია, ხოლო $z\in E_\zeta$ (E_ζ გარკვეული მარტივადბმული არეა, რომელიც შეიცავს E_1-ს და წერტილს $\zeta+1$)[1].

განვიხილოთ (E_0) განტოლების მთელი ამოხსნა

$$u_\zeta(z) = -\frac{1}{4\pi}\left\{\mathrm{Re}\left[G(z,\overline{\zeta},z,\overline{z})\int\limits_{\zeta+1}^{z} p_\zeta(t)\,dt - \int\limits_{\zeta}^{z}\left\{\int\limits_{\zeta+1}^{t} p_\zeta(\tau)\,d\tau \right.\right.\right.$$

$$\left.\left.\left.\times\frac{\partial}{\partial t}\,G(t,\overline{\zeta},z,\overline{z})\right\}dt\right] + k(z,\zeta)\right\}, \tag{**}$$

$$(z=x+iy, \quad \zeta=\xi+i\eta, \quad \overline{z}=x-iy, \quad \overline{\zeta}=\xi-i\eta),$$

სადაც $p_\zeta(z)$ z ცვლადის პოლინომია, რომელიც აკმაყოფილებს პირობებს:

$$\left.\begin{aligned} &|p_\zeta(z)|<A_1\,|z-\zeta|^{-1}, \quad \zeta\in\Gamma, \quad |z-\zeta|<\varepsilon \\ &|(z-\zeta)^{-1}-p_\zeta(z)|<B_1\cdot\varepsilon, \quad \zeta\in\Gamma, \quad |z-\zeta|\geqq\varepsilon, \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

სადაც A_1 და B_1 აბსოლუტური მუდმივებია. ასეთი პოლინომების არსებობა დამტკიცებულია [3] ში. ახლა (*) და (**) ფორმულებისა და (8) უტოლობის თანახმად, ადვილად შეიძლება შემოწმდეს, რომ ფუნქცია $u_\zeta(z)$ აკმაყოფილებს (7) უტოლობას, რითაც თეორემა სავსებით დამტკიცებულია.

კერძოდ, თუ სიმრავლე E წარმოადგენს არსად მკვრივ, ჩაკეტილ სიმრავლეს, რომელიც სიბრტყეს არ ჰყოფს, ხოლო $\varphi_n(x,y)$ $(n=1,2,\ldots)$ ფუნქციებად ავიღებთ x და y ცვლადების მთელ რაციონალურ ფუნქციებს (რაც, ვეიერშტრასის ცნობილი დებულების თანახმად ზოგადობას არ ზღუდავს), მაშინ, როგორც უშუალო შედეგს ზემოთ დამტკიცებული დებულებისას, ვღებულობთ:

თეორემა 2. *ყოველი E-ზე განსაზღვრული უწყვეტი $f(x,y)$ ფუნქცია გაიშლება (2) კერძო ამოხსნების მწკრივად, რომელიც თანაბრად იკრიბება E-ზე $f(x,y)$ ფუნქციისაკენ.*

მაშასადამე, სამართლიანია დებულება, რომელიც მ. ლავრენტიევის ცნობილი დებულების სრულ ანალოგს წარმოადგენს.

თუ E სიმრავლე წარმოადგენს ჩაკეტილ, მარტივადბმულ არეს, რომლისათვისაც დირიხლეს ამოცანა (E_0) განტოლებისათვის მდგრადია [5, 6], მაშინ აგება $\varphi_n(x,y)$ $(n=1,2,\ldots)$ მიმდევრობისა, რომელიც თეორემა 1-ში მოთხოვნილ პირობებს აკმაყოფილებს, ტრივიალურია.

განვიხილოთ ახლა შემთხვევა, როდესაც (E_0) განტოლებაში $a\equiv b\equiv 0$, ე. ი. განტოლება:

$$\Delta u + c(x,y)\,u = 0. \tag{9}$$

[1] იხილეთ [2, 3]-ში დამტკიცება ტექსტში მოყვანილი (8) უტოლობებისა.

ვთქვათ, E რაიმე სასრული, ჩაკეტილი, მარტივადბმული ჟორდანის არეა. როგორც ცნობილია, (E_0) განტოლებისათვის E არეში დირიხლეს ამოცანა საზოგადოდ არაა ამოხსნადი.

ჩვენ ქვევით, E არის დამატებით შეზღუდვის პირობებში, ვაგებთ $\varphi_n(x,y)$ $(n = 1, 2, \ldots)$ ფუნქციათა მიმდევრობას, რომელიც თეორემა 1-ში მოთხოვნილ ყველა პირობას აკმაყოფილებს.

ვთქვათ,

$$\Phi_n(z) = X_n(x, y) + iY_n(x, y), \quad (z = x + iy \in D_n, \; X_n + iY_n \in G)$$

ფუნქციაა, რომელიც კონფორმულად G-ს გადასახავს (G სიმრავლეა E სიმრავლის შიგა წერტილებისა) D_n არეზე; ამასთან,

$$\Phi_n(0) = 0, \quad \Phi'_n(0) > 0, \quad (n = 1, 2, \ldots)$$

(ზოგადობის შეუზღუდველად ვგულისხმობთ, რომ $z = 0$ ეკუთვნის G-ს). $\Phi_n(z)$ ფუნქციის შექცეული ფუნქცია აღვნიშნოთ $\Phi_n^{-1}(z)$-ით. ცხადია,

$$\left.\begin{array}{l} \lim\limits_{n\to\infty} \Phi_n(z) = z, \quad \lim\limits_{n\to\infty} \Phi_n^{-1}(z) = z, \quad z \in E, \\ \qquad\qquad \lim\limits_{n\to\infty} \Phi'_n(z) = 1, \quad z \in G \end{array}\right\} \tag{10}$$

სადაც პირველ ორ ტოლობაში კრებადობა თანაბარია E-ზე, ხოლო მესამე ტოლობაში — G სიმრავლის ყოველ ჩაკეტილ ქვესიმრავლეზე.

ვთქვათ, $u(x, y)$ (E_0) განტოლების E-ზე უწყვეტი და G-ში რეგულარული ამოხსნაა.

განვიხილოთ მიმდევრობა ფუნქციებისა:

$$\varphi_n(z) = \varphi_n(x, y) = u(X_n(x, y), Y_n(x, y)), \quad n = 1, 2, \ldots \tag{11}$$

სადაც

$$X_n(x, y) + iY_n(x, y) = \Phi_n(z), \quad (z = x + iy \in \overline{D}_n, \; X_n + iY_n \in E).$$

დავუქვემდებაროთ ახლა E არე შემდეგ შეზღუდვას:

$$\iint\limits_F |\Phi'_n(z)|^2 \, d\xi \, d\eta \leqq M \operatorname{mes} F, \tag{12}$$

სადაც $F \in D_n$ ნებისმიერი ღია სიმრავლეა, ხოლო M მუდმივია დამოუკიდებელი F და n-საგან $(n = 1, 2, \ldots)$ (ვარსკვლავისებური არეებისათვის (12) — ტრივიალურად შესრულებულია).

(12)-ის მხედველობაში მიღებით, ადვილად შეიძლება დამტკიცდეს, რომ მიმდევრობა $\varphi_n(x, y)$ აკმაყოფილებს (5) პირობას და, მაშასადამე, (10)-ის თანახმად, თეორემის ყველა მოთხოვნას.

მართლაც,

$$\begin{aligned} E(\varphi_n(\zeta)) &= E[\varphi_n(X_n(\xi, \eta), Y_n(\xi, \eta))] \\ &= c(\xi, \eta)\, u(X_n, Y_n) - c(X_n, Y_n)\, u(X_n, Y_n)\, |\Phi'_n(\zeta)|^2. \\ &\quad (\zeta = \xi + i\eta, \quad \Phi_n(\zeta) = X_n(\xi, \eta) + iY_n(\xi, \eta)); \end{aligned}$$

აქედან

$$\iint\limits_{D'_n} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta = \iint\limits_{D'_n} \omega(z, \zeta)\, u(X_n, Y_n)\, c(\xi, \eta)\, d\xi\, d\eta$$

$$-\iint\limits_{D'_n} \omega(z, \zeta)\, c(X_n, Y_n)\, u(X_n, Y_n)\, |\Phi'_n(\zeta)|^2\, d\xi\, d\eta \tag{13}$$

$$(z = x + iy \in E, \quad \zeta = \xi + i\eta \in D'_n, \quad n = 1, 2, \ldots).$$

ადვილი შესამჩნევია, რომ (13) ტოლობის მარჯვენა მხარეში მდგომი პირველი შესაკრებები ჰქმნიან ინტეგრალების აბსოლუტურად თანაბარხარისხოვნად უწყვეტ ოჯახს z და n-ის მიმართ ($z \in E$, $n = 1, 2, \cdots$). ვაჩვენოთ, რომ მეორე შესაკრებების სიმრავლესაც იგივე თვისება გააჩნია.

მართლაც, ცნობილი უტოლობის თანახმად, გვაქვს:

$$\left| \iint\limits_{D'_n} \omega(z, \zeta)\, u(X_n, Y_n)\, c(X_n, Y_n)\, |\Phi'_n(\zeta)|^2\, d\xi\, d\eta \right|^2$$

$$\leqq \iint\limits_{D'_n} |\Phi'_n(\zeta)|^4\, d\xi\, d\eta \cdot \iint\limits_{D'_n} |\omega(z, \zeta)\, u(X_n, Y_n)\, c(X_n, Y_n)|^2\, d\xi\, d\eta$$

$$\leqq M_1 \cdot \iint\limits_{D'_n} |\omega(z, \zeta)\, u(X_n, Y_n)\, c(X_n, Y_n)\, d\xi\, d\eta, \tag{14}$$

სადაც M_1 მუდმივია, დამოუკიდებელი z და n-საგან. მართლაც,

$$\iint\limits_{D'_n} |\Phi'_n(\zeta)|^4\, d\xi\, d\eta = \iint\limits_{D''_n} |\Phi'_n[\Phi_n^{-1}(z)]|^2\, dx\, dy$$

$$\leqq \iint\limits_{G} |\Phi'_n[\Phi_n^{-1}(z)]|^2\, dx\, dy = \lim_{m \to \infty} \sum_{i, j = 1}^{m} |\Phi'_n[\Phi_n^{-1}(z_{ij})]|^2\, \Delta x_i\, \Delta y_j$$

$$= \lim_{m \to \infty} \sum_{i, j = 1}^{m} |\Phi'_n[\Phi_n^{-1}(z_{ij})]|^2 \iint\limits_{F_{ij}} |\Phi'_n(\zeta)|^2\, d\xi\, d\eta$$

$$\leqq M \lim_{m \to \infty} \sum_{i, j = 1}^{m} |\Phi'_n[\Phi_n^{-1}(z_{ij})]|^2\, \operatorname{mes} F_{ij} \leqq M \iint\limits_{D_n} |\Phi'_n(\zeta)|^2\, d\xi\, d\eta < M_1.$$

ცხადია, (14) უტოლობის მარჯვენა მხარე წარმოადგენს ინტეგრალების აბსოლუტურად თანაბარხარისხოვნად უწყვეტ ოჯახს. მაშასადამე, აბსოლუტურად თანაბარხარისხოვნად უწყვეტ ოჯახს ჰქმნის ინტეგრალების შემდეგი სიმრავლეც

$$\iint\limits_{G} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta, \quad z \in E, \quad \zeta = \xi + i\eta \in G.$$

თუ ახლა მხედველობაში მივიღებთ ცხად ტოლობას

$$\lim_{n \to \infty} E(\varphi_n(\xi, \eta)) = 0,$$

სადაც კრებადობა თანაბარია G სიმრავლის ყოველ ჩაკეტილ ქვესიმრავლეზე, გვაქვს

$$\lim_{n\to\infty} \iint\limits_{G} \omega(z, \zeta)\, E(\varphi_n(\zeta))\, d\xi\, d\eta = 0, \quad \zeta = \xi + i\eta \in G,$$

თანაბრად $z = x + iy \in E$ მიმართ, რაც უნდა გვეჩვენებინა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ა. რაზმაძის სახელობის
თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 27.11.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. И. Н. Векуа. Новые методы решения эллиптических уравнений. М.—Л., 1948.
2. С. Н. Мергелян. О представлений функций рядами полиномов на замкнутых множествах. ДАН СССР, т. LXXV, № 3, 1951.
3. С. Н. Мергелян. О теореме М. А. Лаврентьева. ДАН СССР, т. LXXVII, № 4, 1951.
4. М. Б. Гагуа. Об аппроксимации непрерывных функций специальными решениями эллиптических дифференциальных уравнений. Сообщения АН Груз. ССР, т. XI, № 4, 1950.
5. М. В. Келдыш. О разрешимости и устойчивости задачи Дирихле. Успехи мат. наук, выпуск VIII, 1941.
6. В. К. Карабегов. О разрешимости и устойчивости задачи Дирихле для линейных уравнений эллиптического типа. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата ф.-м. наук, 1950.
7. I. L. Walsch. Über die Entwicklung einer annalytischen Function nach Polynomen. Matematische Annalen. Band 36, pp 412—436, 1926.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 6, 1952

მათემატიკა

ა. ბენდუქიძე

ორმაგი რიცხვითი მწკრივების მძლავრი შეჯამებადობა

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. კუპრაძემ 13.11.1951)

ორმაგი მწკრივების შეჯამებადობებთან დაკავშირებული საკითხები განხილულია ვლ. ჭელიძის შრომებში [1,2,3,4,5], რომლებშიც ავტორმა მეტად საინტერესო შედეგები მიიღო. წინამდებარე შრომის მიზანია ზოგიერთი აღნიშნული შედეგის გავრცელება ორმაგი რიცხვითი მწკრივების ე. წ. მძლავრი მეთოდით შეჯამებადობის შემთხვევისათვის.

ვთქვათ, მოცემულია ორმაგი რიცხვითი მწკრივი

$$\sum_{i=0}^{\infty} \sum_{k=0}^{\infty} a_{i, k}. \tag{1}$$

აღვნიშნოთ

$$S_{m, n}=\sum_{i=0}^{m} \sum_{k=0}^{n} a_{i, k}.$$

ვთქვათ, p ნებისმიერი დადებითი რიცხვია. ჩვენ ვიტყვით, რომ ორმაგი მწკრივი (1) H_p შეჯამებადია S ჯამისაკენ, თუ

$$\lim_{m, n \rightarrow \infty} \sigma_{m, n}^{p}=0,$$

სადაც

$$\sigma_{m, n}^{p}=\frac{1}{(m+1)(n+1)} \sum_{i=0}^{m} \sum_{k=0}^{n}\left|S_{i, k}-S\right|^{p}.$$

ჩვენ ვიტყვით, რომ ორმაგი (1) მწკრივი $H_{p}^{(\lambda)}$ შეჯამებადია S ჯამისაკენ, თუ

$$\lim_{(m, n)_{\lambda} \rightarrow \infty} \sigma_{m, n}^{p}=0,$$

ე. ი. ყოველი დადებითი ε რიცხვისათვის არსებობს ისეთი ნატურალური N რიცხვი, რომ

$$\left|\sigma_{m, n}^{p}-S\right|<\varepsilon, \quad \text{როცა} \quad m>N,\ n>N,\ \frac{1}{\lambda} \leqq \frac{m}{n} \leqq \lambda,$$

სადაც λ მოცემული რიცხვია $\geqq 1$.

თეორემა 1. თუ ორმაგი (1) მწკრივი H_p ($H_{p}^{(\lambda)}$) შეჯამებადია S ჯამისაკენ, მაშინ აღებული მწკრივი H_q ($H_{q}^{(\lambda)}$) შეჯამებადია იმავე ჯამისაკენ ნებისმიერი q-სათვის, რომელიც $<p$.

დამტკიცება. ვთქვათ, ε მოცემული დადებითი რიცხვია. ავიღოთ ისეთი $\delta > 0$, რომ $\delta^p + 2\delta^q \leqq \varepsilon$. რადგან ორმაგი (1) მწკრივი $H_p (H_p^{(\lambda)})$ შეჯამებადია S ჯამისაკენ, მოიძებნება ისეთი ნატურალური N რიცხვი, რომ

$$\frac{1}{(m+1)(n+1)} \sum_{i=0}^{m} \sum_{k=0}^{n} |S_{i,k} - S|^p < \delta^p,$$

$$\text{როცა } m > N,\ n > N \left(\frac{1}{\lambda} \leqq \frac{m}{n} \leqq \lambda \right). \tag{2}$$

(m, n) წყვილთა სიმრავლე გავყოთ სამ A, B, C ქვესიმრავლედ შემდეგი წესით:

$$(m, n) \in A, \quad \text{თუ } |S_{m,n} - S| \geqq 1,$$
$$(m, n) \in B, \quad \text{თუ } 1 > |S_{m,n} - S| > \delta,$$
$$(m, n) \in C, \quad \text{თუ } |S_{m,n} - S| \leqq \delta.$$

რადგანაც ეს სიმრავლეები წყვილ-წყვილად არ იკვეთება[1], შეგვიძლია დავწეროთ:

$$\sigma_{m,n}^q = \frac{1}{(m+1)(n+1)} \left\{ \sum_{(i,k) \in A} |S_{i,k} - S|^q + \sum_{(i,k) \in B} |S_{i,k} - S|^q \right.$$
$$\left. + \sum_{(i,k) \in C} |S_{i,k} - S|^q \right\} < \frac{1}{(m+1)(n+1)} \left\{ \sum_{(i,k) \in A} |S_{i,k} - S|^p \right.$$
$$\left. + \sum_{(i,k) \in B} \frac{1}{|S_{i,k} - S|^{p-q}} |S_{i,k} - S|^p + \delta^q (m+1)(n+1) \right\} < \sigma_{m,n}^p$$
$$+ \frac{1}{\delta^{p-q}} \sigma_{m,n}^p + \delta^q.$$

ავიღოთ ახლა $m > N,\ n > N \left(\frac{1}{\lambda} \leqq \frac{m}{n} \leqq \lambda \right)$. თანახმად (2) უტოლობისა, მივიღებთ

$$\sigma_{m,n}^q < \delta^p + 2\delta^q \leqq \varepsilon,$$

ე. ი.

$$\lim_{m,n \to \infty} \sigma_{m,n}^q = 0.\text{[2]}$$

თეორემა დამტკიცებულია.

ადვილი დასამტკიცებელია შემდეგი

თეორემა 2. თუ ორმაგი (1) მწკრივი H_q $(H_q^{(\lambda)})$ შეჯამებადია S ჯამისაკენ და ამ მწკრივის კერძო ჯამები $S_{m,n}$ შემოსაზღვრულია, მაშინ აღებული მწკრივი $H_p (H_p^{(\lambda)})$ შეჯამებადია იმავე ჯამისაკენ ნებისმიერი p-სათვის, რომელიც $> q$.

---

[1] რომელიმე ამ სიმრავლეთაგან შეიძლება ცარიელიც იყოს.

[2] λ—შეჯამებადობის შემთხვევაში $\lim\limits_{(m,n)_\lambda \to \infty} \sigma_{m,n}^q = 0$.

შევნიშნოთ, რომ თუ მწკრივის კერძო ჯამები არაა შემოსაზღვრული, თეორემა 2 შეიძლება სამართლიანი არ იყოს.

მართლაც, ვთქვათ,

$$a_{i,k}=\begin{cases}(k+1)^{\frac{\alpha}{q}}-k^{\frac{\alpha}{q}}, & \text{თუ } i=0,\ k=0,\ 1,\ldots,\\ k^{\frac{\alpha}{q}}-(k+1)^{\frac{\alpha}{q}}, & \text{თუ } i=1,\ k=0,\ 1,\ldots,\\ 0, & \text{თუ } i>1,\ k=0,\ 1,\ldots,\end{cases}$$

სადაც α და q დადებითი რიცხვებია და, ამას გარდა, $\alpha<1$.

ცხადია, რომ

$$S_{m,n}=\begin{cases}(n+1)^{\frac{\alpha}{q}}, & \text{თუ } m=0,\ n=0,\ 1,\ldots,\\ 0, & \text{თუ } m>1,\ n=0,\ 1,\ldots.\end{cases}$$

აქედან ჩანს, რომ აღებული მწკრივი კრებადია და მისი ჯამი $S=0$. ადვილი შესამოწმებელია აგრეთვე, რომ ეს მწკრივი $H_q^{(\lambda)}$ შეჯამებადია 0-საკენ. ამავე დროს იგი არაა $H_p^{(\lambda)}$ შეჯამებადი არც ერთი S-საკენ, თუკი $p>q$, ხოლო $\alpha\geqq\frac{q}{p}$.

მართლაც,

$$\sigma_{m,n}^{p}=\frac{1}{(m+1)(n+1)}\left\{\sum_{k=0}^{n}\left|(k+1)^{\frac{\alpha}{q}}-S\right|^{p}+m(n+1)\,|S|^{p}\right\}$$

და, თუ $S\neq0$, გვექნება

$$\sigma_{m,n}^{p}>\frac{m}{m+1}\,|S|^{p};$$

თუკი $S=0$:

$$\sigma_{m,n}^{p}=\frac{1}{(m+1)(n+1)}\sum_{k=0}^{n}(k+1)^{\frac{\alpha p}{q}}\geqq\frac{1}{(m+1)(n+1)}\sum_{k=0}^{n}(k+1)$$

$$=\frac{n+2}{2(m+1)}>\frac{1}{2\lambda}.$$

ამრიგად, ორივე შემთხვევაში

$$\lim_{(m,n)_\lambda\to\infty}\sigma_{m,n}^{p}>0,$$

ე. ი. აღებული მწკრივი არაა $H_p^{(\lambda)}$ შეჯამებადი[1].

თეორემა 3. თუ ორმაგი მწკრივი (1) კრებადია და ჯამად S რიცხვი აქვს ამასთან ამ მწკრივის კერძო ჯამები აკმაყოფილებს პირობებს

$$\lim_{m\to\infty}\frac{S_{m,n}}{(m+1)^{\frac{1}{p}}}=0 \quad \text{ფიქსირებული } n\text{-სათვის,} \tag{3}$$

[1] დამტკიცებული თეორემები და მოყვანილი მაგალითი გვიჩვენებს, რომ შესწავლისათვის საინტერესოა მცირე p-ს შემთხვევა.

$$\lim_{n\to\infty} \frac{S_{m,n}}{(n+1)^{\frac{1}{p}}} = 0 \quad \text{ფიქსირებული } m\text{-სათვის}, \tag{4}$$

მაშინ ალებული მწკრივი $H_p^{(\lambda)}$ შეჯამებადია S რიცხვისაკენ ნებისმიერი λ-სათვის, რომელიც $\geqq 1$.

დამტკიცება. რადგანაც ორმაგი მწკრივი (1) კრებადია და ჯამად S რიცხვი აქვს, ამიტომ ნებისმიერი დადებითი ε რიცხვისათვის მოიძებნება ისეთი ნატურალური N_1 რიცხვი, რომ

$$|S_{i,k} - S|^p < \frac{\varepsilon}{4}, \text{ როცა } i > N_1,\ k > N_1. \tag{5}$$

შემდეგ, (3) და (4) პირობების ძალით მოიძებნება ისეთი ნატურალური რიცხვი $N_2 < N_1$, რომ

$$|S_{i,k} - S|^p < \frac{\varepsilon(i+1)}{4\lambda(N_1+1)}, \text{ როცა } i > N_2,\ 0 \leqq k \leqq N_1, \tag{6}$$

$$|S_{i,k} - S|^p < \frac{\varepsilon(k+1)}{4\lambda(N_1+1)}, \text{ როცა } k > N_2,\ 0 \leqq i \leqq N_1. \tag{7}$$

ბოლოს, რადგანაც N_2 რიცხვი ფიქსირებულია, მოიძებნება ისეთი ნატურალური რიცხვი $N > N_2$, რომ

$$\frac{1}{(m+1)(n+1)} \sum_{i=0}^{N_2} \sum_{k=0}^{N_2} |S_{i,k} - S|^p < \frac{\varepsilon}{4}, \text{ როცა } m > N,\ n > N. \tag{8}$$

ავიღოთ ახლა მთელი დადებითი რიცხვები m და n ისე, რომ $m > N$, $n > N$, $\frac{1}{\lambda} \leqq \frac{m}{n} \leqq \lambda$, სადაც λ მოცემული რიცხვია $\geqq 1$.

რადგანაც

$$\sigma_{m,n}^p = \frac{1}{(m+1)(n+1)} \sum_{i=0}^{m} \sum_{k=0}^{n} |S_{i,k} - S|^p \leqq \frac{1}{(m+1)(n+1)} \left\{ \sum_{i=0}^{N_2} \sum_{k=0}^{N_2} + \sum_{i=N_2+1}^{m} \sum_{k=0}^{N_1} + \sum_{i=0}^{N_1} \sum_{k=N_2+1}^{n} + \sum_{i=N_1+1}^{m} \sum_{k=N_1+1}^{n} \right\},$$

(5)—(8) უტოლობათა ძალით ადვილად მივიღებთ

$$\sigma_{m,n}^p < \frac{\varepsilon}{4} + \frac{\varepsilon(m+1)(N_1+1)(m-N_2)}{4\lambda(N_1+1)(m+1)(n+1)} + \frac{\varepsilon(n+1)(N_1+1)(n-N_2)}{4\lambda(N_1+1)(m+1)(n+1)} + \frac{\varepsilon(m-N_1)(n-N_1)}{4(m+1)(n+1)} < \varepsilon,$$

როცა

$$m > N,\ n > N,\ \frac{1}{\lambda} \leqq \frac{m}{n} \leqq \lambda.$$

ამრიგად,

$$\lim_{(m,n)_\lambda \to \infty} \sigma_{m,n}^p = 0.$$

თეორემა დამტკიცებულია.

შედეგი. თუ ორმაგი მწკრივი (1) კრებადია და ჯამად S რიცხვი აქვს და, ამას გარდა,

$$\lim_{m+n\to\infty} (m+1)^{1-\frac{1}{p}} a_{m,n} = 0, \tag{9}$$

$$\lim_{m+n\to\infty} (n+1)^{1-\frac{1}{p}} a_{m,n} = 0, \tag{10}$$

მაშინ ალებული ორმაგი მწკრივი $H_p^{(\lambda)}$ შეჯამებადია S ჯამისაკენ ყოველი p-სათვის, რომელიც $\leqq 1$ და ნებისმიერი λ-სათვის, რომელიც $\geqq 1$.

მართლაც, გვაქვს:

$$\frac{S_{m,n}}{(m+1)^{\frac{1}{p}}} = (m+1)^{1-\frac{1}{p}} \sum_{k=0}^{n} \left(\frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^{m} a_{i,k} \right).$$

დავაფიქსიროთ n. რადგან $p \leqq 1$, (9) ტოლობის თანახმად მივიღებთ:

$$\lim_{m\to\infty} \frac{S_{m,n}}{(m+1)^{\frac{1}{p}}} = \sum_{k=0}^{n} \lim_{m\to\infty} (m+1)^{1-\frac{1}{p}} \lim_{m\to\infty} \left(\frac{1}{m+1} \sum_{i=0}^{m} a_{i,k} \right)$$

$$= \sum_{k=0}^{n} \lim_{m\to\infty} (m+1)^{1-\frac{1}{p}} \lim_{m\to\infty} a_{m,k} = 0.$$

მაშასადამე, შესრულებულია თეორემის (3) პირობა. ასევე ვაჩვენებთ, რომ შესრულებულია (4) პირობა. ამრიგად, ალებული მწკრივი $H_p^{(\lambda)}$ შეჯამებადია S ჯამისაკენ, თუ $p \leqq 1$, ნებისმიერი λ-სათვის, რომელიც $\geqq 1$.

თუ (3) და (4) პირობებიდან ერთი მაინც არაა დაცული, თეორემა 3 შეიძლება სამართლიანი არ იყოს. მართლაც, თუ ორმაგი მწკრივის ზემოთ მოყვანილ მაგალითში ავიღებთ $q = 1, \alpha = \frac{1}{p}$, მივიღებთ კრებად ორმაგ მწკრივს, რომელიც არაა $H_p^{(\lambda)}$ შეჯამებადი. ამის მიზეზი ისაა, რომ არაა შესრულებული (4) პირობა.

(3) და (4) პირობების შესრულება, საზოგადოდ, არ უზრუნველყოფს კრებადი ორმაგი მწკრივის H_p შეჯამებადობას.

მართლაც, ავიღოთ მწკრივი, რომლის წევრები შემდეგნაირადაა განსაზღვრული:

$$a_{i,k} = \begin{cases} (k+1)^{\frac{1}{2p}} - k^{\frac{1}{2p}}, & \text{თუ } i = 0,\ k = 0,\ 1, \ldots, \\ k^{\frac{1}{2p}} - (k+1)^{\frac{1}{2p}}, & \text{თუ } i = 1,\ k = 0,\ 1, \ldots, \\ 0, & \text{თუ } i > 1,\ k = 0,\ 1, \ldots. \end{cases}$$

ეს მწკრივი კრებადია და მისი ჯამი $S=0$. ადვილი შესამოწმებელია აგრეთვე, რომ ამ მწკრივის კერძო ჯამები აკმაყოფილებს (3) და (4) პირობებს; მიუხედავად ამისა, აღებული მწკრივი არაა H_p შეჯამებადი არავითარი ჯამისაკენ.

შევნიშნოთ აგრეთვე, რომ არსებობს განშლადი ორმაგი მწკრივები, რომლებიც H_p შეჯამებადია ნებისმიერი p-სათვის.

მართლაც, ვთქვათ,

$$a_{i,k} = \begin{cases} 1, & \text{თუ } i = 2^l \ (l = 1, 2, \ldots), \ k = 0, \\ -1, & \text{თუ } i = 2^l + 1 \ (l = 1, 2, \ldots) \ k = 0, \\ 0 & \text{სხვა შემთხვევაში.} \end{cases}$$

ცხადია, რომ

$$S_{m,n} = \begin{cases} 1, & \text{თუ } m = 2^l, \ n = 0, 1, \ldots, \\ 0, & \text{თუ } m \neq 2^l, \ n = 0, 1, \ldots \end{cases}$$

აქედან ჩანს, რომ არ არსებობს $\lim\limits_{m,n\to\infty} S_{m,n}$, ე. ი. მწკრივი განშლადია; ამავე დროს იგი H_p შეჯამებადია $S = 0$-საკენ ნებისმიერი p-სათვის.

მართლაც, გვაქვს $(m > 1)$:

$$\sigma_{m,n}^p = \frac{1}{(m+1)(n+1)} \sum_{l=0}^{\mu} \sum_{k=0}^{n} |S_{2^l,k}|^p,$$

სადაც მთელი რიცხვი μ განისაზღვრება უტოლობიდან $2^\mu \leqq m < 2^{\mu+1}$.

ცხადია, რომ

$$\sigma_{m,n}^p \leqq \frac{1}{(m+1)(n+1)} (n+1) \frac{\ln m}{\ln 2} = \frac{1}{\ln 2} \cdot \frac{\ln m}{m+1},$$

საიდანაც

$$\lim_{m,n\to\infty} \sigma_{m,n}^p = 0.$$

ამრიგად, H_p შეჯამებადობის (აგრეთვე H_p^α შეჯამებადობის) და კრებადობის პროცესები ორმაგი მწკრივების შემთხვევაში არ შეიძლება შედარებულ იქნეს ერთმანეთთან.

ს. კიროვის სახელობის
საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 15.11.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. В. Г. Челидзе. Об одной теореме о двойном степенном ряде. ДАН СССР, т. LIII, № 8, 1946.
2. В. Г. Челидзе. Чезаровское суммирование двойных числовых рядов. Сообщения АН ГССР, т. VIII, № 3, 1947.
3. В. Г. Челидзе. Взаимоотношение между Чезаровскими и Абелевскими суммированиями двойных рядов. Сообщения АН ГССР, т. VIII, № 6, 1947
4. ვ. ჭელიძე. ორმაგი მწკრივების შეჯამებადობა. თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტის შრომები, ტ. XVI, 1948.
5. В. Г. Челидзе. О преобразовании двойных последовательностей. Труды Тбилисского математического института, т. XVII, 1949.

დრეკადობის თეორია

გ. ხატიაშვილი

შედგენილი ცილინდრული ძელის დეფორმაციის საკითხისათვის დატვირთული გვერდითი ზედაპირის შემთხვევაში

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. კუპრაძემ 7.2.1952)

1. ერთგვაროვანი პრიზმატული ძელის დეფორმაციის ამოცანა, როდესაც ძელის ქვედა ფუძე დამაგრებულია, ზედა ფუძე თავისუფალია ძალვებისაგან, ხოლო გვერდით ზედაპირზე მოქმედებენ ძალვები, რომელთა მდგენელები საკოორდინატო ღერძებზე არ არიან დამოკიდებული z-ზე, ამოხსნილი იყო სხვადასხვა ავტორის მიერ [3, 4].

აღნიშნული ამოცანა სხვადასხვა მასალისაგან შედგენილი ძელისათვის, როდესაც პუასონის კოეფიციენტი ყველა ძელისათვის ერთი და იგივეა, ამოხსნილია წინამდებარე შრომაში.

2. ამოცანის დასმა: ვთქვათ, გვაქვს სხეული, შედგენილი რიგი პარალელური ძელებისაგან, რომლებიც ერთმანეთს არ ეხებიან და შემოსაზღვრული არიან ცილინდრული ზედაპირით. სივრცე ცილინდრულ ზედაპირსა და ძელებს შორის ავსებულია დრეკადი გარემოთი; ცილინდრის მსახველებიც ძელების პარალელურია.

ასეთი ძელის xoy სიბრტყით კვეთა შედგება S_j $(j = 1, 2, \ldots, m)$ არეებისაგან, რომლებიც შეესაბამებიან ძელებს და S_0 არისაგან, რომელიც შეესაბამება შემომსაზღვრელ გარემოს; თუ L_j-ით აღვნიშნავთ S_j არეთა საზღვრებს, მაშინ S_0 არის საზღვარი იქნება $L_1, L_2, \ldots, L_{m+1}$, რომელთაგან უკანასკნელი შეიცავს ყველა დანარჩენს.

ქვევით ყველგან ნაგულისხმევია, რომ L_j $(j = 1, 2, \ldots, m+1)$ კონტურებზე შემოვლა ხდება საათის ისრის საწინააღმდეგოდ, ამასთანავე n ნორმალი ყოველთვის მარჯვნივაა მიმართული.

კოორდინატთა სათავე მოვათავსოთ ქვედა ფუძის ინერციის მიყვანილ ცენტრში, ox და oy ღერძები მივმართოთ ინერციის მიყვანილი მთავარი ღერძების გასწვრივ, oz ღერძი კი ცილინდრის მსახველის პარალელურად [1], ძელზე მოქმედი მოცულობითი ძალები მივიჩნიოთ ნულის ტოლად.

$\lambda_j, \mu_j, E_j, \sigma_j$-ით $(j = 1, 2, \ldots, m)$ აღვნიშნოთ ძელების შესაბამისი დრეკადი მუდმივები, ხოლო $\lambda_0, \mu_0, E_0, \sigma_0$-ით — შემომსაზღვრელი გარემოსი; მივიღოთ, რომ $\sigma_j = \sigma_0 = \sigma$ $(j = 1, 2, \cdots, m)$.

დავუშვათ, რომ შედგენილი ძელის ქვედა ფუძე დამაგრებულია, ზედა ფუძე თავისუფალია ძალვებისაგან, ხოლო გვერდით ზედაპირზე მოქმედი ძალ-

ვების მდგენელები საკოორდინატო ღერძებზე შესაბამად არიან $\tau_1(x, y)$, $\tau_2(x, y)$ და $\tau_3(x, y)$; ამასთანავე ვიგულისხმოთ, რომ გადაადგილების u, v, w კომპონენტები უწყვეტი რჩებიან ერთი არედან მეორეში გადასვლისას, ხოლო გამყოფი ზედაპირის ელემენტებზე მოქმედი ძალები სიდიდით ტოლნი არიან და ნიშნით საწინააღმდეგო.

განსახილველი ამოცანა მათემატიკურად ასე ჩამოყალიბდება: ვიპოვოთ ძაბვის $\tau_{11}, \tau_{12}, \ldots, \tau_{23}$ კომპონენტები, რომლებიც სხეულის მიერ დაკავებულ მთელ არეში აკმაყოფილებენ წონასწორობის ერთგვაროვან განტოლებებს

$$\frac{\partial \tau_{11}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{12}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{13}}{\partial z} = 0,$$
$$\frac{\partial \tau_{21}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{22}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial z} = 0, \tag{1}$$
$$\frac{\partial \tau_{31}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{33}}{\partial z} = 0$$

და თავსებადობის ერთგვაროვან პირობებს

$$\Delta\tau_{11} + \frac{1}{1+\sigma}\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0, \qquad \Delta\tau_{12} + \frac{1}{1+\sigma}\frac{\partial^2 T}{\partial x \partial y} = 0,$$
$$\Delta\tau_{22} + \frac{1}{1+\sigma}\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0, \qquad \Delta\tau_{13} + \frac{1}{1+\sigma}\frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} = 0, \tag{2}$$
$$\Delta\tau_{33} + \frac{1}{1+\sigma}\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0, \qquad \Delta\tau_{23} + \frac{1}{1+\sigma}\frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} = 0,$$

სადაც

$$T = \tau_{11} + \tau_{22} + \tau_{33} \quad \text{და} \quad \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}.$$

ამასთანავე, საძიებელი ძაბვის კომპონენტები უნდა აკმაყოფილებდნენ შემდეგ სასაზღვრო პირობებს

$$\tau_{11}\cos nx + \tau_{12}\cos ny = \tau_1,$$
$$\tau_{21}\cos nx + \tau_{22}\cos ny = \tau_2, \tag{3}$$
$$\tau_{31}\cos nx + \tau_{32}\cos ny = \tau_3$$

გარე ზედაპირზე, ხოლო

$$[\tau_{11}\cos nx + \tau_{12}\cos ny]_j = [\tau_{11}\cos nx + \tau_{12}\cos ny]_0,$$
$$[\tau_{21}\cos nx + \tau_{22}\cos ny]_j = [\tau_{21}\cos nx + \tau_{22}\cos ny]_0, \quad (j = 1, 2, \ldots, m) \tag{4}$$
$$[\tau_{31}\cos nx + \tau_{32}\cos ny]_j = [\tau_{31}\cos nx + \tau_{32}\cos ny]_0$$

გამყოფ ზედაპირებზე, სადაც j და 0 არეთა ნომრებს აღნიშნავენ. აგრეთვე, გამყოფ ზედაპირებზე გადაადგილების კომპონენტებისათვის გვექნება:

$$u_j = u_0, \; v_j = v_0 \; \text{და} \; w_j = w_0 \quad (j = 1, 2, \ldots, m). \tag{5}$$

3. დასმული ამოცანის ამოხსნა ვეძებოთ შემდეგი სახით:

$$\tau_{11} = E_j\left[\frac{\partial^2 \Phi}{\partial y^2} - (aF + bf) - b\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2 x - \frac{1}{3}x^3\right)\right],$$

$$\tau_{22}=E_j\left[\frac{\partial^2\Phi}{\partial x^2}-(aF+bf)-a\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2y-\frac{1}{3}y^3\right)\right],$$

$$\tau_{33}=E_j\Big[\sigma\Delta\Phi+2(aF+bf)+a\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2y-\frac{1}{3}y^3\right)+b\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2x\right.$$

$$\left.-\frac{1}{3}x^3\right)+a\left(yz^2-\frac{1}{3}y^3\right)+b\left(xz^2-\frac{1}{3}x^3\right)-2cz\Big],\quad (j=0,1,\ldots,m)$$

$$\tau_{12}=-E_j\frac{\partial^2\Phi}{\partial x\partial y},$$

$$\tau_{13}=E_j\left[z\left(a\frac{\partial F}{\partial x}+b\frac{\partial f}{\partial x}\right)+z\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2-x^2\right)b+\frac{\partial\omega}{\partial x}+cx\right],\qquad (6)$$

$$\tau_{23}=E_j\left[z\left(a\frac{\partial F}{\partial y}+b\frac{\partial f}{\partial y}\right)+z\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2-y^2\right)a+\frac{\partial\omega}{\partial y}+cy\right].$$

ადვილი შესამოწმებელია, რომ ძაბვის (6) კომპონენტები აკმაყოფილებენ წონასწორობის (1) განტოლებებს, თავსებადობის (2) პირობებს და აგრეთვე სასაზღვრო (3) და (4) პირობებს, თუ $F(x,y)$, $f(x,y)$, $\omega(x,y)$ და $\Phi(x,y)$ ფუნქციები განსაზღვრულია შემდეგნაირად:

$$\Delta F=0,\ \Delta f=0,\ \Delta\omega=0,\ \Delta\Delta\Phi=0\ S_j \text{ არეში},\ (j=0,1,2,\ldots,m)$$

$$\frac{dF}{dn}=\left(y^2-\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2\right)\cos ny,$$

$$\frac{df}{dn}=\left(x^2-\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2\right)\cos nx,$$

$$E_0\frac{d\omega}{dn}=-cE_0(x\cos nx+y\cos ny)+\tau_3,$$

$$E_0\left(\frac{\partial\Phi}{\partial x}+i\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right)=i\int\limits_{L_{m+1}}(\tau_1+i\tau_2)\,ds+iE_0\int\limits_{L_{m+1}}(aF+bf)(\cos nx+i\cos ny)\,ds$$

$$+iE_0b\int\limits_{L_{m+1}}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2x-\frac{1}{3}x^3\right)\cos nx\,ds-E_0a\int\limits_{L_{m+1}}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2y-\frac{1}{3}y^3\right)\cos ny\,ds,$$

L_{m+1} კონტურზე;

$$E_j\left(\frac{dF}{dn}\right)_j-E_0\left(\frac{dF}{dn}\right)_0=(E_j-E_0)\left(y^2-\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2\right)\cos ny,$$

$$E_j\left(\frac{df}{dn}\right)_j-E_0\left(\frac{df}{dn}\right)_0=(E_j-E_0)\left(x^2-\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2\right)\cos nx,$$

$$E_j\left(\frac{d\omega}{dn}\right)_j-E_0\left(\frac{d\omega}{dn}\right)_0=-c(E_j-E_0)(x\cos nx+y\cos ny),$$

$$E_j\left(\frac{\partial\Phi}{\partial x}+i\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right)_j-E_0\left(\frac{\partial\Phi}{\partial x}+i\frac{\partial\Phi}{\partial y}\right)_0=i\int\limits_{L_j}[E_j(aF+bf)_j$$

$$-E_0(aF+bf)_0](\cos nx+i\cos ny)\,ds$$

$$+ ib(E_j - E_0)\int\limits_{L_j}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2x - \frac{1}{3}x^3\right)\cos nx\, ds$$

$$- a(E_j - E_0)\int\limits_{L_j}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2y - \frac{1}{3}y^3\right)\cos ny\, ds,$$

L_j კონტურებზე $(j = 1, 2, \ldots, m)$.

თუ ვისარგებლებთ ტოლობებით

$$\sum_{j=0}^{m} E_j \iint\limits_{S_j} x dx dy = 0, \quad \sum_{j=0}^{m} E_j \iint\limits_{S_j} y dx dy = 0 \quad \text{და} \quad \sum_{j=0}^{m} E_j \iint\limits_{S_j} xy dx dy = 0, \tag{7}$$

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ F და f ფუნქციების არსებობის აუცილებელი და საკმარისი პირობები დაცული იქნება; რაც შეეხება ω ფუნქციას, მისი არსებობის აუცილებელი და საკმარისი პირობა გვაძლევს

$$c = \frac{\oint\limits_{L_{m+1}} \tau_3 ds}{2 S_E}, \tag{18}$$

სადაც

$$S_E = \sum_{j=0}^{m} S_j E_j.$$

როგორც ცნობილია [1],

$$\frac{\partial \Phi_j}{\partial x} + i\frac{\partial \Phi_j}{\partial y} = \varphi_j(\zeta) + \zeta\overline{\varphi'_j(\zeta)} + \overline{\psi_j(\zeta)}, \tag{9}$$

სადაც $\zeta = x + iy$, $\varphi_j(\zeta)$ და $\psi_j(\zeta)$ ცალსახა ანალიზური ფუნქციებია S_j $(j = 1, 2, \ldots, m)$ არეში, ხოლო S_0 არეში $\varphi_0(x)$ და $\psi_0(x)$ ფუნქციებს შემდეგი სახე აქვთ:

$$\varphi_0(\zeta) = \sum_{j=1}^{m} \gamma_j \ln(\zeta - \zeta_j) + \varphi^*(\zeta),$$
$$\psi_0(\zeta) = \sum_{j=1}^{m} \gamma'_j \ln(\zeta - \zeta_j) + \psi^*(\zeta). \tag{10}$$

აქ ζ_j წერტილები აღებულია L_j $(j = 1, 2, \ldots, m)$ კონტურების შიგნით, $\gamma_j = \alpha_j + i\beta_j$ და $\gamma'_j = \alpha'_j + i\beta'_j$ $(j = 1, 2, \ldots, m)$, ხოლო $\varphi^*(\zeta)$ და $\psi^*(\zeta)$ ცალსახა ანალიზური ფუნქციებია S_0 არეში.

მივიღებთ რა მხედველობაში (9) და (10) ტოლობებს, Φ ფუნქციის კერძო წარმოებულთა სხვაობის ცალსახობა L_j $(j = 1, 2, \ldots, m)$ კონტურებზე გვაძლევს:

$$2\pi i(\gamma_j - \overline{\gamma'_j})E_0 = i\oint\limits_{L_j}[E_j(aF + bf)_j - E_0(aF + bf)_0](\cos nx - i\cos ny)\, ds$$

$$-ib\,(E_j-E_0)\oint\limits_{L_{m+1}}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}\,y^2x-\frac{1}{3}\,x^3\right)\cos nx$$

$$+\,a(E_j-E_0)\oint\limits_{L_j}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}\,x^2y-\frac{1}{3}\,y^3\right)\cos ny\,ds. \tag{11}$$

ხოლო Φ ფუნქციის კერძო წარმოებულთა ცალსახობა L_{m+1} კონტურზე იძლევა

$$E_0\sum_{j=0}^{m}2\,\pi i\,(\gamma_j-\overline{\gamma'}_j)=i\oint\limits_{L_{m+1}}(\tau_1+i\tau_2)\,ds+iE_0\oint\limits_{L_{m+1}}(aF+bf)_0\,(\cos nx+i\cos ny)\,ds$$

$$+\,ibE_0\oint\limits_{L_{m+1}}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}y^2x-\frac{1}{3}\,x^3\right)\cos nx\,ds-aE_0\oint\limits_{L_{m+1}}\left(\frac{\sigma}{1+\sigma}x^2y-\frac{1}{3}\,y^3\right). \tag{12}$$

განვსაზღვრავთ რა (11)-დან $(\gamma_j-\overline{\gamma'}_j)$ სხვაობებს და შევიტანთ მათ მნიშვნელობებს (12)-ის მარცხენა მხარეში, მაშინ არსი და წარმოსახვითი ნაწილების გატოლება მოგვცემს:

$$\Bigg[E_0\oint\limits_{L_{m+1}}(aF+bf)\cos ny\,ds+\sum_{j=1}^{m}\oint\limits_{L_j}E_j\,(aF+bf)_j\cos ny\,ds$$

$$-\sum_{j=1}^{m}\oint\limits_{L_j}E_0\,(aF+bf)_0\cos ny\,ds\Bigg]+\frac{a\sigma}{1+\sigma}\Bigg[E_0\oint\limits_{L_{m+1}}x^2y\cos ny\,ds$$

$$+\sum_{j=1}^{m}(E_j-E_0)\oint\limits_{L_j}x^2y\cos ny\,ds\Bigg]-\frac{a}{3}\Bigg[E_0\oint\limits_{L_{m+1}}y^3\cos ny\,ds$$

$$+\sum_{j=1}^{m}(E_j-E_0)\oint\limits_{L_j}y^3\cos ny\,ds\Bigg]=-\oint\limits_{L_{m+1}}\tau_2\,ds,$$

$$\Bigg[E_0\oint\limits_{L_{m+1}}(aF+bf)\cos nx\,ds+\sum_{j=1}^{m}\oint\limits_{L_j}E_j\,(aF+bf)_j\cos nx\,ds$$

$$-\sum_{j=1}^{m}\oint\limits_{L_j}E_0\,(aF+bf)_0\cos nx\,ds\Bigg]+\frac{b\sigma}{1+\sigma}\Bigg[E_0\oint\limits_{L_{m+1}}y^2x\cos nx\,ds$$

$$+\sum_{j=1}^{m}(E_j-E_0)\oint\limits_{L_j}y^2x\cos nx\,ds\Bigg]-\frac{b}{3}\Bigg[E_0\oint\limits_{L_{m+1}}x^3\cos nx\,ds$$

$$+\sum_{j=1}^{m}(E_j-E_0)\oint\limits_{L_j}x^3\cos nx\,ds\Bigg]=-\oint\limits_{L_{m+1}}\tau_1\,ds.$$

გამოვიყენებთ რა აქ კვადრატულ ფრჩხილებში მოთავსებულ გამოსახულებებზე გრინის ფორმულებს, შედგენილი არეების შემთხვევაში (იხ. ა. რუხაძე [2]), მივიღებთ:

$$a = -\frac{1}{2\, I_{xE}} \oint\limits_{L_{m+1}} \tau_2\, ds, \quad b = -\frac{1}{2\, I_{yE}} \oint\limits_{L_{m+1}} \tau_1\, ds,$$

სადაც

$$I_{yE} = \sum_{j=0}^{m} E_j I_{yj} \quad \text{და} \quad I_{xE} = \sum_{j=0}^{m} E_j I_{xj}$$

(I_{yj} და I_{xj}) არიან $S_j\,(j = 0, 1, \cdots, m)$ არეების ინერციის მომენტები შესაბამისად $0y$ და $0x$ ღერძების მიმართ.

ახლა, თუ აღვადგენთ გადაადგილების ვექტორის კომპონენტებს, გვექნება:

$$u = 4(1-\sigma^2)\, p - (1+\sigma)\frac{\partial \Phi}{\partial x} + (1+\sigma)\int\limits_{y_0}^{y} dy \int\limits_{y_0}^{y} dy \int\limits_{x_0}^{x} \left(a\,\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + b\,\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right) dx$$

$$+ (1+\sigma)\int\limits_{y_0}^{y} dy \int\limits_{y_0}^{y} \left(a\,\frac{\partial F}{\partial x} + b\,\frac{\partial f}{\partial x}\right) dy - (1+\sigma)\int\limits_{x_0}^{x} (aF + bf)\, dx + \frac{b(1+2\sigma)}{12}\, x^4$$

$$+ \frac{b\sigma}{2}\,(y^2 - x^2)\, z^2 + \frac{a\sigma}{3}\, xy\,(y^2 - 3z^2) - \frac{b\sigma}{2}\, x^2 y^2 - \frac{b z^4}{12} + 2c\sigma x z,$$

$$v = 4(1-\sigma^2)\, q - (1+\sigma)\frac{\partial \Phi}{\partial y} - (1+\sigma)\int\limits_{y_0}^{y} dy \int\limits_{x_0}^{x} dx \int\limits_{x_0}^{x} \left(a\,\frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + b\,\frac{\partial^2 f}{\partial y^2}\right) dx$$

$$+ (1+\sigma)\int\limits_{x_0}^{x} dx \int\limits_{x_0}^{x} \left(a\,\frac{\partial F}{\partial y} + b\,\frac{\partial f}{\partial y}\right) dx - (1+\sigma)\int\limits_{y_0}^{y} (aF + bf)\, dy + \frac{a(1+2\sigma)}{12}\, y^4$$

$$+ \frac{a\sigma}{2}\,(x^2 - y^2)\, z^2 + \frac{b\sigma}{3}\, xy\,(x^2 - 3z^2) - \frac{a\sigma}{2}\, x^2 y^2 - \frac{a z^4}{12} + 2c\sigma y z,$$

$$w = 2(1+\sigma)(aF + bf)\, z + 2(1+\sigma)\,\omega + a\sigma x^2 y z + b\sigma y^2 x z - \frac{(2+\sigma)\,a}{3}\, y^3 z$$

$$- \frac{(2+\sigma)\,b}{3}\, x^3 z - \frac{z^3}{3}\,(ay + bx) + c\,(x^2 + y^2 - z^2),$$

სადაც მუდმივები a, b და c განსაზღვრულია (8) და (14) ფორმულებით, ხოლო p და q ტოლობით $\varphi(\zeta) = p + iq$.

შენიშვნა: ადვილი შესამჩნევია, რომ თუ ზემოთ განხილულ ამოცანაში გამყოფ ზედაპირებზე ძაბვის კომპონენტებს (4)-ის ნაცვლად დავადებთ შემდეგ სასაზღვრო პირობებს:

$$[\tau_{11}\cos nx + \tau_{12}\cos ny]_j - [\tau_{11}\cos nx + \tau_{12}\cos ny]_0 = A_j(x, y),$$
$$[\tau_{21}\cos nx + \tau_{22}\cos ny]_j - [\tau_{21}\cos nx + \tau_{22}\cos ny]_0 = B_j(x, y), \quad (j = 1, 2, \ldots, m)$$
$$[\tau_{31}\cos nx + \tau_{32}\cos ny]_j - [\tau_{31}\cos nx + \tau_{32}\cos ny]_0 = C_j(x, y),$$

სადაც $A_j(x, y)$, $B_j(x, y)$ და $C_j(x, y)$ $(j = 1, 2, \ldots, m)$ მოცემული ფუნქციებია, მაშინ დასმული ამოცანის ამოხსნას ექნება ისევ (6) სახე, მხოლოდ a, b და c მუდმივები უნდა აირჩეს შემდეგი სახით:

$$a = -\frac{\sum_{j=1}^{m+1} \oint_{L_j} A_j(x, y)\, ds}{2 I_{xE}}, \quad b = -\frac{\sum_{j=1}^{m+1} \oint_{L_j} B_j(x, y)\, ds}{2 I_{yE}},$$

$$c = \frac{\sum_{j=1}^{m+1} \oint_{L_j} C_j(x, y)\, ds}{2 S_E}.$$

ჩაწერის გამარტივების მიზნით აქ შემოღებულია აღნიშვნა:

$$A_{m+1}(x, y) = \tau_1(x, y), \quad B_{m+1}(x, y) = \tau_2(x, y), \quad C_{m+1}(x, y) = \tau_3(x, y).$$

რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა
ვ. ლენინის სახელობის
თბილისის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 15.2.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. И. Мусхелишвили. Некоторые основные задачи математической теории упругости. 1949.
2. А. К. Рухадзе. К вопросу деформации брусьев, близких к призматическим, составленных из различных упругих материалов. Труды Грузинского полит. института им. Кирова, т. XXIII, 1951.
3. E. Almansi. Nota II (Rendic. Accad. Lincei, Roma ser—5, t. X, 1901).
4. I. H. Michell. Quart. Journ. of Math. t—32, 1901.

ფიზიკა

დ. ჩილვინაძე, ვ. ბრავინსკი და ი. ჩხაიძე

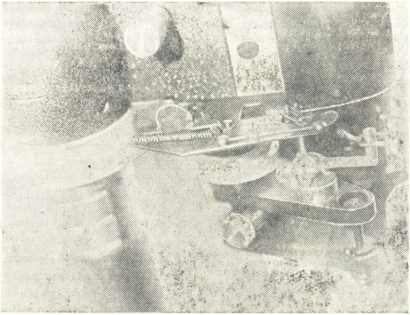
მოწყობილობა ПМТ-3 ხელსაწყოს ჩაშვების ავტომატიზაციისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ე. ანდრონიკაშვილმა 16.1.1952)

ხელსაწყო ПМТ-3, რომელიც ფართოდ გავრცელდა, სამართლიანად ითვლება ერთ-ერთ საუკეთესო ხელსაწყოდ მიკროსიმაგრის გასაზომად.

ამ ხელსაწყოს, რიგ კარგ თვისებებთან ერთად, მაინც გააჩნია კვანძები, რომლებიც გაუმჯობესებას საჭიროებენ.

ამ შრომაში ჩვენ შევჩერდებით დამტვირთავი მექანიზმის მუშაობაზე.

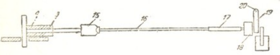


სურ. 1

ხელსაწყოში ПМТ-3 ჭოკის, ალმასის პირამიდითა და ტვირთით, ჩაშვება და ამოწევა ხდება არეტირის სახელურის 180°-ზე შემობრუნებით.

სავსებით ბუნებრივია, რომ ასეთი მეთოდით მუშაობისას, როდესაც არეტირის სახელური მოძრაობაში მოიყვანება ხელით, სხვადასხვა შემთხვევაში შემჩნეული იქნება ერთიმეორისაგან განსხვავებული შემობრუნება და დაყოვნება (დატვირთულ მდგომარეობაში ყოფნა) და აგრეთვე ალმასის პირამიდის არათანაბარი ჩაშვება, რაც იწვევს დეფექტური ანაბეჭდების რაოდენობის გაზრდას, ზოგჯერ კი სიმაგრის არასწორ რიცხვებს იძლევა.

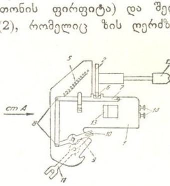
დამტვირთავი მექანიზმის მუშაობის პროცესის ჩვენ მიერ დამუშავებული მოწყობილობა ალმასისპირამიდიანი ჭოკის მასზე მოთავსებული ტვირთით ჩაშვების, დაყოვნებისა და ამოწევის სრული ავტომატიზაციის საშუალებას იძლევა.



ნახ. 1 a

ამის გამო შესაძლებლობა გვეძლევა თავიდან ავიცილოთ ზემოთ მოყვანილი ნაკლოვანებანი.

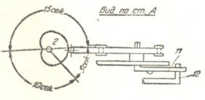
სურ. 1-ზე მოცემული მოწყობილობა მონტირებულია (იხ. ნახ. 1 a,b,c): (1) ფუძეზე (2 მმ სისქის ლითონის ფირფიტა) და შედგება სათანადოდ დამუშავებული მუშტასაგან (2), რომელიც ზის ღერძზე (3); უკანასკნელი მოთავსებულია (1) ფუძესთან მკვიდრად შეკავშირებულ მასრაში (4). მუშტას (2) სპირალური ზამბარის (5) დახმარებით მჭიდროდ ეხება ბერკეტის (7) გორგოლაჭი (6). თვით ბერკეტი (7), სახსროვანი (8) შეერთების საშუალებით დაკავშირებულია ზემო მმართვთან (9),რომელიც ბოლოვდება ჩანგლით. ჩანგლის თითები იტაცებენ ქვემო მმართვის თითს (10). უკანასკნელი (ქვემო მმართვი) (11), თავის მხრივ, ბოლოვდება ჩანგლით, რომელშიაც ზის არეტირის სახელური (12).



ნახ. 1 b

ფუძე (1) სატაცისა (13) დამჭერი ხრახნის (14) საშუალებით მაგრდება დამტვირთავი ზედაპირის კორპუსზე.

მუშტას (3) ღერძი გუკის სახსრის (15) საშუალებით შეერთებულია ლილვაკთან (16), რომლის ბოლოზე ჩაჭრილია სეგმენტი.



ნახ. 1 c

მასრა (17), ჩაჭყლეტილი სეგმენტზე, მჭიდროდ შეერთებულია უორენის მოტორის ღერძთან (18), რომელიც წუთში ორ ბრუნს აკეთებს. უკანასკნელი

პირდაპირ ჩაერთვის ელექტროქსელში. თვით მოტორი მიმაგრებულია კრონ-შტეინზე (19), რომელიც ზის ღერძზე (20) და რომლის გარშემო მას შეუძლია შემობრუნება.

უნდა აღინიშნოს, რომ ლილვაკს (16) შეუძლია გადანაცვლება მასრის შიგნით, ამასთან მაბრუნებელი მომენტის გადაცემა მოტორიდან მუშტაზე დამოუკიდებელია მასრაში ლილვაკის მდებარეობისაგან.

ამრიგად, მიღწეულია ის, რომ მოწყობილობა მოქმედებს მიკროსკოპის ტუბუსის ნებისმიერი მდებარეობის დროს (მიკროგადაცემა, მაკროგადაცემა და აგრეთვე გადაადგილება სვეტის გასწვრივ მოწყობილობის მუშაობაზე გავ-ლენას არ ახდენს).

მუშტა გაანგარიშებულია და დამზადებულია ისე, რომ ნახევარბრუნვის განმავლობაში (15 წამი) ქვედა მმართვი ბერკეტისებური მექანიზმის დახმარე-ბით შემობრუნდება 180°-ით, რომელიც თანაბრად აბრუნებს არეტირის სა-ხელურს. ამ დროის განმავლობაში ალმასის პირამიდა ასწრებს შეეხოს გამო-საკვლევი ნიმუშის ზედაპირს და შეიჭრას მასში. შემდეგი 5 წამის განმავლო-ბაში წარმოებს დაყოვნება (დატვირთულ მდგომარეობაში ყოფნა), რის შემ-დეგაც ქვემო მმართვი 10 წამის განმავლობაში უბრუნდება საწყის მდებარე-ობას (ჭოკი ალმასის პირამიდით ტვირთთან ერთად თანაბრად ამოდის არე-ტირის სახელურის უკუბრუნვის გამო). ამრიგად, მუშტას ერთი სრული შე-მობრუნების დრო 30 წამს უდრის.

ზემოთ აღნიშნული მოწყობილობა საშუალებას იძლევა ზუსტად განვსა-ზღვროთ დატვირთვის, დაყოვნების (დატვირთულ მდგომარეობაში ყოფნის) და ტვირთის მოხსნის დრო, აგრეთვე უზრუნველვყოთ არეტირის სახელურის თანაბარი მოძრაობა ალმასის პირამიდის ჩაშვებისას და ამოწევისას. მოწყო-ბილობა არაა რთული არც კონსტრუქციულად და არც მისი დამზადების თვალსაზრისით. იგი შეიძლება ფართოდ გამოვიყენოთ ПМТ-3 ხელსაწყო-ებით მუშაობის დროს, მით უმეტეს, რომ მისი გამოყენება არ მოითხოვს ხელსაწყოს არავითარ გადაკეთებას.

ცდებმა, რომელიც ჩატარდა ამ მოწყობილობის დახმარებით ქვამარი-ლისა და თუთიის მონოკრისტალურ ნიმუშებზე, დეფექტური ანაბეჭდების რაოდენობის საგრძნობი შემცირება გვიჩვენა.

ზემოთ ნაჩვენები მოწყობილობის გამოყენება საშუალებას მოგვცემს მნიშ-ვნელოვანი ერთგვაროვნება შევიტანოთ სხვადასხვა მკვლევრის მუშაობაში.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ფიზიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 16.1.1952)

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 6, 1952

გეოლოგია

პ. გამყრელიძე, ნ. ბენდუქიძე და მ. ერისთავი

ცხანარის მიდამოების ცარცული ნალექების სტრატიგრაფიისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ა. ჯანელიძემ 18.1.1952)

სამხრეთ ოსეთსა და ზემო რაჭას შორის სასაზღვრო უბანზე მდ. ჯეჯორასა და მდ. ქვედრულას შუა, სოფ. ცხანარისა და ფასრალოს მიდამოებში ფართოდაა გავრცელებული შრეებრივი კარბონატული ფაციესის მეზოზოური ნალექები; ეს ნალექები ამ ბოლო დრომდე ნამარხებით ღარიბად მიაჩნდათ, რის გამოც ასაკს მათ ქვეშ მდებარე მასიურ კირქვებთან დამოკიდებულებით არკვევდნენ. მაგრამ იმის გამო, რომ მათი ურთიერთდამოკიდებულება მთლად ნათელი არ იყო და ამავე დროს მასიური კირქვების ასაკიც (ზედა იურა და ზედა იურა - ქვედა ცარცი ან „ურგონი") დაზუსტებას მოითხოვდა, შრეებრივი კირქვების ზუსტი ასაკის დადგენა არ ხერხდებოდა.

ბოლო წლებში ჩატარებული მუშაობის შედეგად მდგომარეობა შეიცვალა. მასიური კირქვები ივ. კახაძემ და ნ. კანდელაკმა [5,6] ზედაიურულად დაათარიღეს, ხოლო აქ ნაპოვნი მდიდარი მარჯნეული ფაუნის შესწავლის საფუძველზე ნ. ბენდუქიძის მიერ [1] მოცემულ იქნა კირქვების უფრო დეტალური სტრატიგრაფიული სქემა.

რაიონის გეოლოგიური აგებულების შესახებ ყველაზე სრული ცნობები წინა მკვლევართაგან ივ. კახაძესა და ნ. კანდელაკს აქვთ მოცემული [5]. შრეებრივ კირქვებში ნაპოვნი იქნა ზედაიურული ასაკის ფაუნა (როგორც ახლა გამოირკვა, — მეორად განლაგებაში), რის გამოც ისინი რიფული კირქვების თანმხლებ და სინქრონულ ფაციესად იქნენ მიჩნეული [5]. მიუხედავად იმისა, რომ ზოგიერთი წინა მკვლევარი მდ. ჯეჯორას მარჯვენა მხარეზე (სოფ. ფასრალოს მიდამოებში) განვითარებულ თხელშრეებრივ კირქვებსა და მერგელებს ცარცულად თვლიდა და ზოგ შემთხვევაში საამისო ფაუნასაც ასახელებდა, მათი ცარცული ასაკი დღემდე დასაბუთებული არ იყო. 1947 წელს შრეებრივი კირქვების ზედა ჰორიზონტებში სოფ. ცხანარის მიდამოებში ი. მარკოზიამ ზედა ცარცისათვის დამახასიათებელი ზღარბები იპოვა, მაგრამ მან ზედა ცარცს მიაკუთვნა მხოლოდ შრეებრივი კირქვების ის ნაწილი, სადაც ზღარბები იყო შენიშნული, ხოლო დანარჩენი ნაწილი თვით ცხანარის მიდამოებშიაც კი ზედაიურულად დატოვა.

ამ წერილის ავტორებისა და ივ. კახაძის მიერ 1948 - 49 წლებში ჩატარებული საველე მუშაობის მეოხებით შესაძლებელი გახდა აღნიშნული მიდამოების გეოლოგიური აგებულების დაზუსტება. ამ წერილის მიზანია მკითხველებს გააცნოს მიღებული შედეგები.

მთელი რაიონის დეტალური შესწავლის საფუძველზე ირკვევა, რომ შრეებრივი კირქვების დალექვა წარმოებდა ზედა იურის რიფული კირქვებისა და ზოგ შემთხვევაში ბაიოსის ვულკანოგენური წყების უსწორმასწორო ზედაპირზე. ამ მოვლენითაა გამოწვეული ის გარემოება, რომ შრეებრივი კირქვები, ერთი მხრივ, იურის სხვადასხვა ჰორიზონტზეა განლაგებული და, მეორე მხრივ, მისი ქვედა დასტა სრულად და ყველგან არაა წარმოდგენილი. ამ დასტის ყველაზე უფრო სრული ჭრილი მწვ. ველუანთის ჩრდილო და ჩრდილო-აღმოსავლეთ ფერდობზეა აღმოჩენილი. აქ რიფულ კირქვებს ადევს 30 მეტრი სიმძლავრის მარცვლოვანი ტლანქშრეებრივი კირქვები, რომლებიც ნ. ბენდუქიძის [1], ნ. ვასოევიჩისა [2] და ივ. კახაძის [6] მასალებით ტიტონურადაა დათარიღებული.

1. აქ ტლანქშრეებრივ კირქვებს მოჰყვება 8 — 10 მეტრის სიმძლავრის დასტა, რომელიც ძირითადად ლითოგრაფიული ტიპის კირქვებითაა წარმოდგენილი. შიგ მორიგეობენ: ფიქლებრივი მერგელების ღია მოყვითალო, ნაცრისფერი, მკვრივი ლითოგრაფიული ტიპის კირქვისა და ასეთივე ცემენტით შეკრული ბრექჩიული კირქვის შრეები. გვხვდება გაკაჟებული უბნები, კაჟის ლინზები და აგრეთვე თხელშრეებრივი (თითქმის ფიქლებრივი) თიხა-მერგელების შუა შრეები. დასტა ღარიბია ნამარხებით, მაგრამ მასში მაინც მოიძებნა *Rhynohonella malbosi* Pict *var. chomerensis* Jac. et Fall.[1] ქვედა ნეოკომურში, *Aucella inflata* Sen. გვხვდება რუსეთისა და ინგლისის ნეოკომურში, *Aucella crassicolis* Kayer. *var. psylorechensis* Kar. ვხვდებით ყირიმის ვალანჟინურში *Pseudobelus cf. bipartitus* Blainv. გავრცელებულია ვალანჟინურსა და ჰოტრივულში, *Duvalia binervia* Rosp. ზედა ვალანჟინურსა და ქვედა ბარემულში, *Thwemannia cf. camplytoxa* Uhl. ცნობილია ზედა ვალანჟინურში და ქვ. ჰოტრივულში, *Neocomites aff. trezanensis* Lor. ტიპიური ფორმა აღწერილია საფრანგეთის შუა ვალანჟინურიდან.

თითქმის ყველგან ზედაიურული კირქვების მეზობელ ზოლში, ე. ი. რიფული კირქვების სანაპიროზე, ეს დასტა შეიცავს ბრექჩიებს (მაგ. ჩასავალ — ხოხისა და ეწრის სერის ჩრდილოეთით) და არის ადგილები (ველუანთიდან ფასრაღოსაკენ მომავალი კარსტული ხევის ჩრდილოეთით), სადაც იგი მთლიანად შრეებრივი ლითოგრაფიული ტიპის კირქვებისა და ბრექჩიების მორიგეობას წარმოადგენს.

2. აღწერილ დასტას სრული თანხმობით მოსდევს მუქი ნაცრისფერი, ოდნავ მოიისფრო ბრექჩიებიანი კირქვები. შრეების სისქე 10 — 20 სმ აღწევს. ქანი ზოგჯერ სუსტად დაფიქლულია, ფიქლებს დრესვის სარკეები ემჩნევა. ზედა ნაწილში ვხვდებით ოდნავ ქვიშიან-თიხიან შუაშრეებს. ხშირია კაჟის ლინზები და კონკრეციები. ეს დასტა შედარებით ნაკლებცვალებადია, მხოლოდ აქა-იქ ვხვდებით წვრილმარცვლოვანი ბრექჩიის შუაშრეებს, ზოგ უბანზე გაკაჟებულს. ეს შრეებიც, წინას მსგავსად, რიფული კირქვების შვერილებ-

[1] აქ და ქვემოთ ბრაქიოპოდები განსაზღვრულია ქ. ნუცუბიძის მიერ, ზედა ცარცული ფაუნა ა. ცაგარლის, ხოლო ქვედა ცარცის ფაუნა მ. ერისთავის მიერ.

თან (ანუ სინქრონული რელიეფის ამაღლებულ უბნებთან) მიახლოებისას თითქმის ყველგან სანაპირო ბრექჩიულ ფაციესში გადადის, ხოლო ზოგჯერ ზედაიურული მასიური კირქვების უბეებშია ჩალექილი. ჩანს, რომ აქ მკვდარ რიფზე დალექვა (ჩალექვა) წარმოებდა. დასტის ფუძიდან 12 — 13 მეტრის სიმაღლეზე აღებულია *Astieria cf. Atherstoni Scharp.* ზედა ვალანჟინურში და ქვედა ჰოტრივულში გავრცელებული, და *Astieria jeannoti* d'Orb. ეს ფორმა საფრანგეთსა და შვეიცარიაში საერთოდ ჰოტრივულში გვხვდება, აღმოსავლეთით, ბულგარეთში კი ქვედა ჰოტრივულზე ზევით არაა ცნობილი. რაც შეეხება საქართველოს, სადაც ის პირველადაა ნაპოვნი, მოსალოდნელია, რომ ქვედა ჰოტრივულს ზევით არც აქ სცილდებოდეს, მით უფრო, რომ მასთან ერთად ნაპოვნია *Neocomites neocomiensis* d'Orb, რომელიც შუა ვალანჟინურ-ქვედა ჰოტრივულ ფორმად ითვლება. შესწავლილი მიდამოს სხვადასხვა ადგილზე ანალოგიური დასტიდან აღებულია შემდეგი ფორმები: *Acanthodiscus sp. ind.*, *Phylloceras Eichwaldi* Kar. ჰოტრივული, *Hibolites yaculum* Phil. ჰოტრივულ-ქვედა აპტური, *Duvalia* sp. (ახალი სახე უნდა იყოს) და *Aucella* sp. დასტის შუა ნაწილში აღებულია *Pseudothurmannia angulicostata* d'Orb., რომელიც წარმოადგენს ბარემულის სულ ქვედა ზონის დამახასიათებელ ნამარხს; ხოლო დასტის ზედა ნაწილში ვხვდებით *Mesohibolites longus* Schv., *Mes. beskidensis* Uhlig. — ზედა ბარემულში და ქვედა აპტურში და *Phylloceras Milaschewitschi* Kar. (ბარემული ფორმა).

როგორც ჩანს, დასტის ქვედა ნაწილი, რომელიც შეიცავს *Neocomites neocomiensis* d'Orb., არ შეიძლება ქვედა ჰოტრივულზე ახალგაზრდა იყოს. ამიტომ ბუნებრივია ჰოტრივულის დასაწყისი სედიმენტაციის ხასიათის შეცვლას დავუკავშიროთ და აღწერილი დასტის ქვევით ჰოტრივულზე ძველი ნალექების არსებობა დავუშვათ. ეს დაშვება მით უფრო გამართლებულია, რომ ქვედა, ლითოგრაფიული ტიპის მოყვითალო ფერის კირქვების დასტაში ნაპოვნი ბელემნიტებისა და ამონიტების ფაუნა სტრატიგრაფიულად ხუთმეტიოდე მეტრით ქვევითაა აღებული. აღწერილი დასტის ზედა ნაწილი რომ ბარემულს მთლიანად უნდა შეიცავდეს, მტკიცდება დასტის შუა ნაწილში *Pseudothurmocnnia angulicostata* d'Orb.-ის პოვნით, რომელიც ბარემულის ქვედა ზონის დამახასიათებელ ნამარხად ითვლება, მეორე მხრივ კი, ზევით მომდევნო მერგელების ქვედა ნაწილში ქვედა აპტური *Colchidites securiformis*-ის ზონის სახელმძღვანელო ფორმების პოვნითაც მტკიცდება.

3. ეს უკანასკნელი დასტა კარგადაა წარმოდგენილი მწვ. ველუანთის ჩრდილო-დასავლეთით. ის მეტად თხელია (2-დან 7 — 8 მეტრამდე), ზოგან სულაც არაა. შედგება მომწვანო-ნაცრისფერი მერგელებისაგან, რომელიც ფაციესის ცვალებადობას თითქმის არ განიცდის, მხოლოდ ფასრალოსაკენ ხევში ფურცელა სახეობას იძლევა.

დასტაში ვხვდებით საკმაოდ მდიდარ, მაგრამ ცუდად დაცულ ფაუნას: *Neohibolites clava* Stol., რომელიც ჩრდილო კავკასიაში და გერმანიაში მხოლოდ ქვედა აპტურშია ცნობილი; *Neohnguriensis* Rouch. და *Costidiscus latus* Rauch. საქართველოში გავრცელებულია ქვედა აპტურში; *Colchidites ellepticus*

Rouch.; *Colch. lakhephaensis* Rouch.; *Colch.* (*Imerites*) *cf. densecostatus* Rouch.; *Colch.* (*Im*). *microcostatus* Rouch.; *Colch.* (*Im.*) *cf. semituberculatus.* Rouch.; *Colch.* (*Im.*) *Favrei* Rouch.; *Colch.* (*Im.*) *cf. gumbriensis* Rouch.).

ამ ფორმათა გავრცელება საქართველოში, როგორც უკვე აღვნიშნეთ, აპტის ქვედა ზონით იფარგლება—*Colchidites securiformis*-ის ზონით; *Rhynchonella lineolata* Phil-ის ვხვდებით ბარემულსა და აპტურში; *Terebratula biplicata* Sow. — აპტურსა და ალბურში. ამ ფაუნის მიხედვით დასტაში ქვედა აპტურის არსებობა ეჭვს არ იწვევს. ზედა აპტურის დამახასიათებელი ფორმები აქ არა გვაქვს, მაგრამ მისი არსებობა დასტის ზედა, ფაუნით დაუთარიღებელ შრეებში დასტურდება მისი მომდევნო ნალექების ქვედა ნაწილში კლანსეური ჰორიზონტის სახელმძღვანელო ფორმის—*Mesohibolites brekis Schw*-ის —პოვნით.

4. აღნიშნული დასტა წარმოდგენილია ფერადი ფიქლებრივი მერგელებით. მნიშვნელოვანია, რომ ფერადი მერგელების ხან ქვედა, ხან შუა და ხან ზედა ნაწილი გადარეცხვის ნიშნებს შეიცავს, რაც ველუანთის ჩრდილო დასავლეთით მიკროკონგლომერატების, სოფელ ცხანარის წყაროსთან კონგლომერატ-ბრექჩიებისა და ცხანარის ჩრდილოეთით ლოდ-ბრექჩიების არსებობაში გამოიხატება. ფერადი მერგელების ზედა ნაწილი ცხანარის სამხრეთ-აღმოსავლეთით (კარსტული წყაროების მიდამოებში) გაკაჟებულია.

ველუანთის ჩრდილო-დასავლეთით ფერადი მერგელების დასტაში მრავლად გვხვდება აუცელინები და ბელემნიტები: *Aucellina ex. gr. aptiensis* (d'Orb.) Pomp., *Auc. ex. gr. caucasica* Buch., *Auc. aptiensis* (d'Orb) Pomp., *Auc. Anthulai* Pavl., *Neohibolites Wollemanni* Stol., *Neoh. strombechi* Mul., *Neoh. aff. inflexus* Stol. აქ ამ ფერად მერგელებში ალბურის ზედა ნაწილის დამახასიათებელი ნამარხები ნაპოვნი არაა, მაგრამ უფრო მაღალი ჰორიზონტების არსებობა არაა გამორიცხული, თუმცა ზოგან დასტის მცირე სიმძლავრე მის ჩრდილო-დასავლეთ გაგრძელებასთან შედარებით და გადარეცხვის მკაფიო ნიშნების არსებობა შესაძლებელს ხდის ალბის ზედა ჰორიზონტების სტრატიგრაფიულად გამოვარდნას. კერძოდ, ველუანთასთან აღარ გვაქვს დასტის ზედა ნაწილში წარმოდგენილი კაჟიანი ფაციესი და ფერად ფიქლებს მხოლოდ 5 — 8 მეტრის სიმძლავრე აქვს.

ბრექჩიების მასალას უმთავრესად ზედაიურული და ქვედაცარცული კირქვები წარმოადგენენ.

5. აღმოსავლეთისაკენ (ფასრაღო) და დასავლეთისაკენ (ცხანარის სამხრეთით) აღწერილ დასტას თანხმობით მოსდევს კაჟიანი ჰორიზონტი, შემდგარი შავი და ნაცრისფერი კაჟის შრეებისაგან, გაკაჟებული კირქვების შუაშრეებით. ფასრაღოსთან ამ კაჟიან ჰორიზონტში ვხვდებით 5 — 30 სმ სიმძლავრის მომწვანო-მოყვითალო მიკროკონგლომერატ-ბრექჩიის შუაშრეებს, რომლებიც ბაიოსური პორფირიტული წყების მასალისაგან შედგებიან. ფასრაღოს სინკლინის ჩრდილო ფრთის კაჟიანი ჰორიზონტი სინკლინის სამხრეთ ფრთაში მუქ ნაცრისფერ-მოყვითალო კირქვიან ტუფოგენ ქანში გადადის. ამ ჰორიზონტის შესატყვისი დასტა ცხანარისაკენ წარმოდგენილია ლოდ-

ბრექჩიების მძლავრი წყებით (10—20 მეტრის სიმძლავრისა), რომლის ცემენტშიაც ნაპოვნია სენომანური *Aucellina Krasnopolskii* Pavl. და *Inoceramus cf. pictus* Sow.

თითქმის ყველგან, შესწავლილ მიდამოში, ამ ნალექების დალექვის დროსთან დაკავშირებულია ტუფუგენური — ბაიოსური მასალის გადარეცხვა-დალექვა, მძლავრი ლოდ-ბრექჩიების წარმოშობა და ხარვეზები სედიმენტაციაში. ამ ლოდ-ბრექჩიების წარმოშობის გამომწვევ მოვლენებს (ფსკერის აღმავალი მოძრაობა) შიგ ალბურშივე დაუწყიათ მოქმედება (ფერადი მერგელების ფაციესების ურთიერთდაკავშირება ცალკე კვლევის საკითხს წარმოადგენს). დასტაში აღნიშნული კაჟები, განსაკუთრებით სოფ. ფასრალოსთან, ისეთივე ხასიათისაა, როგორც მეზობელ ფლიშურ ზოლში აგრეთვე სენომანურად დათარიღებული ე. წ. ანანურის ჰორიზონტის კაჟები. ამგვარი დათარიღება აღწერილი დასტის სტრატიგრაფიულ მდებარეობას არ უნდა ეწინააღმდეგებოდეს. ამგვარად, ფერადი მერგელები და კაჟიანი დასტა შესაძლოა ალბ-სენომანურად დათარიღდეს. შესწავლილი ზოლის ცენტრულ უბანზე ველუანთის ჩრდილო-აღმოსავლეთით და უკივლეთის სამხრეთით ალბ-სენომანური ნალექები ან სრულებით არაა, ან ზოგან მხოლოდ 2 მეტრის სიმძლავრის ფერადი მერგელებითაა წარმოდგენილი.

6. აღწერილ დასტას თითქმის ყველგან უშუალოდ მოჰყვება მკვრივი თხელშრეებრივი წითელი (ზოგჯერ მოყავისფრო-აგურისფერი) კირქვების დასტა, რომელიც ზოგან სქელშრეებრივია, ზოგან კი ფიქლებრიობამდე და ფურცლოვანობამდე მიდის. შიგ შუაშრეების სახით ვხვდებით ვარდისფერ და მტრედისფერ კირქვებს. ჩანს მოწითალო-ყავისფერი კაჟის ჩანართები. წითელ კირქვებში ხშირად გვხვდება ორსაგდულიანების (?) პრიზმული შრის ნამსხვრევები. დასტის სიმძლავრე 4—12 მეტრის ფარგლებში მერყეობს. დასტაში იურული კირქვების მახლობლად ხშირად ვხვდებით ბრექჩიებს. ესეც იმის ნიშანი უნდა იყოს, რომ ამ დროისათვისაც რიფული კირქვები არ ყოფილა ნალექებით მთლიანად დაფარული და ხდებოდა მათი ნგრევა კლდოვანი წყალქვეშა შვერილების გასწვრივ.

7. წითელი კირქვები სრული თანდათანობით გადადის ვარდისფერმომტრედისფრო ლაქებიან ლითოგრაფიული ტიპის კირქვების დასტაში. ეს დასტა, თავის მხრივ, ზევითკენ გადადის თეთრ, ოდნავ მოყვითალო-მოცისფრო ლითოგრაფიული ტიპის კირქვებში. ფერადი დასტა ხშირად ქვედა, წითელი და ზედა მოყვითალო-თეთრი ლითოგრაფიული ტიპის კირქვების თითქმის რითმულ მორიგეობას წარმოადგენს. წყება გადარეცხვის ნიშნებს არ ატარებს. იგი მუნჯია. მისი სიმძლავრე 4-დან 60 მეტრამდე იზომება. აღნიშნული კომპლექსი ყველგან ტიპიურადაა წარმოდგენილი. როგორც ჩანს, სამივე დასტას შორის ხარვეზი გამორიცხულია, ხოლო წყების ქვევით მდებარე დასტა ალბ-სენომანურს შეიცავს, ზევით მდებარე ქვიშიანი კირქვები კი, იქ ნაპოვნი ზღარბების ფაუნის მიხედვით, დათარიღებულია დანიურად: ამიტომ წითელი კირქვებისა და ლითოგრაფიული კირქვების კომპლექსი, სტრატიგრაფიული მდებარეობის მიხედვით, დასაშვებად მიგვაჩნია დათარიღებულ იქნეს ტურონულ-მაასტრიხტულად.

8. ზევით მდებარე დანიური ასაკის ქანები წარმოდგენილია თხელშრეებრივი ნაცრისფერი ქვიშიანი კირქვებით, რომლებიც ზევითკენ ტლანქშრეებრივ ქვიშიან მერგელოვან კირქვებში გადადის. ხშირად ვხვდებით კაჟის ლინზებს. დასტის ზედა ნაწილი ქვიშიანი ხდება. ზოგ შემთხვევაში კი ტლანქშრეებრივი მარცვლოვანი კირქვითაა წარმოდგენილი. შიგ მრავლად გვხვდება მარჯნები და ზღარბები. უკანასკნელთაგან ა. ცაგარლის მიერ განსაზღვრულია: *Coraster cf. sphaericus* Seun., *Cor. frechi* Böhm., *Cor. vilanovae* Cott., *Cor. marsoi* Seun., *Echinocorys Douvillei* Seun., *Cyclaster atyricus* Seun. ეს ფორმები ყველა დანიურია. აქედან *Cyclaster atyricus* Seun. საქართველოში პირველადაა ნაპოვნი. დანიური ხშირად იწყება კონგლომერატ-ბრექჩიებით. ბრექჩიები ზედა და ქვედა ცარცულ და ზედაიურულ მასალას შეიცავს, ხოლო ცემენტი ნაცრისფერ ქვიშიან კირქვას წარმოადგენს.

ცხანარის სამხრეთ-აღმოსავლეთით ეს ბრექჩიები უშუალოდ ალბ-სენომანურ ნალექებზეა განლაგებული, ხოლო ველუანთის ჩრდილო-დასავლეთით — ბარემულ კირქვებზე. დანიური ნალექების სიმძლავრე ზოგან 10 მეტრია, ზოგან კი 60 მეტრამდე აღწევს (ფასრაღოსთან).

ამით მთავრდება ცარცული წყებების ჭრილი და ზევით მდებარე უთანხმოდ განლაგებული წყება უკვე შუა ეოცენს მიეკუთვნება.

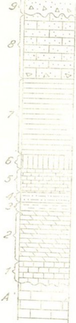
შესწავლილი მიდამოს ცარცულ ნალექებში შეიძლება გაირჩეს ლითოლოგიური ჰორიზონტები, აღნიშნული ნახ. 1-ზე, რაც ამავე დროს სტრატიგრაფიული ერთეულებიცაა.

განხილულ მცირე ფართობზე გულდასმით შესწავლის პირობებში სართულების გამოყოფა ლითოლოგიური-მაკროსკოპული ნიშნების მიხედვითაც ხერხდება; ეს არ ნიშნავს, რომ სტრატიგრაფიული ჰორიზონტების ლითოლოგია და ფაციესი სრულებით უცვლელი რჩებოდეს, მაგრამ ცვალებადობა არ მიდის ძირითადი დამახასიათებელი ნიშნების ისეთ შეცვლამდე, რომ დასტა გამოუცნობი დარჩეს. მეორე მხრივ, ფაციესების აღნიშნული ცვლა კანონზომიერია და შესაძლებელი ხდება შედარებით მშვიდი დალექვის, სანაპირო ზვირთცემისა და გადარეცხვის უბნების გარჩევა.

ზემოთ თქმულიდან ჩანს, რომ ნალექებში რამდენიმე ხარვეზი გვაქვს, ცარცის წინ და თვით ცარცულში. ცნობილია, რომ ცარცულ ტრანსგრესიას ბელტზე უნივერსალური ხასიათი აქვს, მაგრამ როგორი უნდა იყოს ცარცის წინა ხარვეზის ხანგრძლიობა ჩვენს რაიონში, ბელტიდან გეოსინკლინისაკენ გარდამავალ ზოლში, ან როგორია აქ ანდური ფაზისით გამოწვეული ემერსიის ხანგრძლიობა [3]? ქვედა ცარცის ქვედა ჰორიზონტები უმრავლეს შემთხვევაში ქვედა ლითოგრაფიული ტიპის კირქვების დასტის ელემენტებს შეიცავს. მათში წარმოდგენილი ბრექჩიები, ვფიქრობთ, მკვდარი რიფის სანაპირო ნგრევის ხარჯზეა წარმოშობილი. აქ გვაქვს ვალანჟინური ფაუნა. მის ქვევით მდებარე მასიურ კირქვებში ტიტონური ფაუნის პოვნა, თუნდაც იგი გადალექილიც იყოს, მოწმობს, რომ ემერსიას თუ ჰქონდა კიდეც ადგილი, იგი მხოლოდ შიგ ტიტონურში ან მის და ცარცის საზღვარზე უნდა მომხდარიყო, რადგან ქვევით კიმერიჯსა და ტიტონს შუა ხარვეზი არაა [1]. ამავე დროს,

თუ ბელტურიდან გეოსინკლინურისაკენ გარდამავალ ზოლში განვითარებული ცარცული ნალექების შედარებით მცირე სიმძლავრეებს გავითვალისწინებთ, მოსალოდნელია ქვედა ლითოგრაფიული დასტა ვალანჟინურის დიდ ნაწილს შეიცავდეს, ე. ი. ცარცის წინა ემერსია ხანმოკლე უნდა ყოფილიყო (უთუოდ ზედა ტიტონურსა და ქვედა ვალანჟინურს მოიცავდა).

შემდეგი დრო, როდესაც აუზის გათხელება გვაქვს და იქმნება ნაწილობრივი ემერსიაც, ემთხვევა ფერადი მერგელების დალექვას. აქ ყველგან გვხვდება ფაციესები, რომლებიც უთუოდ ალბური ზღვის რეგრესიის მაჩვენებელია. ეს ჩანს: 1) ალბ-სენომანური ასაკის მძლავრი ბრექჩიული წყების გაჩენიდან; 2) ზოგ ჭრილში ალბ-სენომანური ასაკის დასტის მთლიანად ამოვარდნიდან ან გათხელებიდან; 3) გრაუვაკული მასალის არსებობიდან. როგორც ჩანს, სენომანურის წინ რელიეფის შესამჩნევ ცვლილებას ჰქონია ადგილი. ყოველივე ეს ზღვის ფსკერის აღმავალ მოძრაობაზე ლაპარაკობს და ბუნებრივია, რომ ეს მოვლენა ავსტრიულ ფაზისს დავუკავშიროთ, რადგან ფერადი მერგელების დასტა ზოგადად ალბურად თარიღდება.



ნახაზის ახსნა

A—ზედაიურული მარცვლოვანი ტლანქშრეებრივი კირქვები; 1—ღია მოყვითალონაცრისფერი ლითოგრაფიული ტიპის კირქვები და ასეთივე ცემენტით შეკრული ბრექჩიები; 2—მუქი ნაცრისფერი, შრეებრივი, მკვრივი კირქვები; 3—მომწვანო-ნაცრისფერი თიხიანი მერგელები, ხშირად ფიქლებრივი მერგელები; 5—კაჟიანი ჰორიზონტი; 6—შრეებრივი წითელი კირქვების დასტა; 7—ძირში ვარდისფერი და ზევითკენ თეთრი თხელშრეებრივი ლითოგრაფიული ტიპის კირქვები; 8—ზღარბებით მდიდარი ნაცრისფერი, ქვიშიანი კირქვები; 9—ეოცენური ასაკის ქვიშაქვები

ზედა ლითოგრაფიული კირქვების დამლექავი ზღვის ხანაში, ტურონ-მაასტრიხტულში (?), თუ გამოვრიცხავთ მკვდარი რიფის სანაპირო ზოლში დალექილ ბრექჩიას, სხვაგან ყველგან ერთნაირად მშვიდი სედიმენტაციის პირობები გვაქვს, ე. ი. სუბ-ჰერცინული ფაზისის დამადასტურებელი ფაქტები არ გაგვაჩნია.

ზედა ლითოგრაფიული კირქვების მომდევნო დანიური ნალექები ქვიშიანია. ამ წყების ტერიგენული მასალით გამდიდრება შესაძლოა ოროფაზისით გამოწვეულ რეგრესიას უკავშირდებოდეს, სახელდობრ ლარამულს, რადგან ყველგან ქვიშიანი მასალის რაოდენობა ზევითკენ მატულობს.

ფუძის ბრექჩიები, რომლებიც ცხანარ-წედისის მიდამოებშია წარმოდგენილი, განლაგებულია სენომანური ასაკის კაჟიან ჰორიზონტზე და ტურონ-მაასტრიხტული მთლიანად გადარეცხილია, ე. ი. გვაქვს დანიურის ტრანსგრესიული განლაგება ქვედა წყებებზე; ეს, როგორც ჩანს, უნდა გამოხატავდეს ა. ჯანელიძის მიერ [4] დახასიათებულ მოვლენას — რეგრესიული წყების ტრანსგრესიულად განლაგებას.

თხელი ზღვის ფაციესების გამოჩენა ჩვენს სპეციფიკურ პირობებში შესაძლებელია არ კმაროდეს ოროფაზისების არსებობის კატეგორიული მტკიცებისათვის, მაგრამ ეს ცვლილებები და სანაპირო ხაზის მკვეთრი გადანაცვლებები მხოლოდ ფაზისების შესაბამის დროში გვხვდება და ამიტომ ოროფაზისებთან დაკავშირება ერთგვარ დამაჯერებლობას იძენს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
გეოლოგიისა და მინერალოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 18.1.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. ნ. ბენდუქიძე. ზემო რაჭისა და სამხრეთ ოსეთის ზედაიურული მარჯნები. საქართველოს სსრ მეცნ. აკად. გეოლოგიისა და მინერალოგიის ინსტიტუტის შრომები, ტ. V(X), 1949.
2. Н. Б. Вассоевич. О находке Calpionela Lorenz на Кавказе и в Крыму. Проблемы Советской геологии, т. V, № 9, 1935.
3. П. Д. Гамкрелидзе. Новые данные по тектонике Квайсинского района. Сообщения АН Груз. ССР, т. XI, № 2, 1950.
4. А. И. Джанелидзе. Геологические наблюдения в Окрибе. Тбилиси, 1940.
5. И. Р. Кахадзе и Н. А. Канделаки. К стратиграфии мезовойских отложений Цханарской синклинали. Сообщения АН Груз. ССР, т. IV, № 3, 1943.
6. И. Р. Кахадзе. Грузия в юрское время. Труды Геолог. Ин-та АН Груз. ССР, сер. геол., т. III (VIII), 1947.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 6, 1952

მინერალოგია

ო. მჭედლიშვილი-პეტროსიანი

თიხოვანი მინერალების აქტივობის საერთო თეორიის საკითხებისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ა. თვალჭრელიძემ)

თიხოვანი მინერალების ძალზე დიდი და ზრდადი მნიშვნელობა ტექნიკაში დაკავშირებულია მათს განსაკუთრებულ თვისებებთან. ამ თვისებებს შორის მცირე როლს როდი თამაშობს აქტივობა თიხებისა, რომელიც გამოიყენება სამშენებლო საქმესა და კერამიკულ წარმოებაში, აგრეთვე ნავთის რეწველობაში, კვების მრეწველობაში და სხვა დარგებში.

თიხების აქტივობა მჟღავნდება მათი რეაქციის მაღალუნარიანობაში. სალებავების შთანთქმა, რეაქციები სხვადასხვა რეაგენტებთან და სხვ. სხვადასხვანაირია თიხოვანი ნივთიერებების სხვადასხვა მინერალური ჯგუფისათვის. მაგალითად, მონტმორილონიტის ჯგუფში აქტივობა ცოტად თუ ბევრად დამახასიათებელია ბუნებრივ მდგომარეობაში მყოფი მინერალებისთვის (მონტმორილონიტი, ბეიდელიტი, საპონიტი), რაც საგრძნობლად ძლიერდება სათანადო ქიმიური დამუშავებისას [1]; კაოლინის ჯგუფში კი (კაოლინიტი, დიკიტი, ნაკრიტი) იგი საგრძნობლად მჟღავნდება მხოლოდ თერმული დამუშავების შემდეგ ტემპერატურათა გარკვეულ ინტერვალში, რაც დასტურდება ამგვარად დამუშავებული თიხის კირთან ურთიერთქმედებით [2].

თიხოვანი მინერალების ეს ორი მნიშვნელოვანი ჯგუფი ერთმანეთისაგან წარმოქმნის პირობებითაც განსხვავდება. მონტმორილონიტის ჯგუფი მოითხოვს ტუტე არეს, კაოლინიტისა კი მჟავეს [3].

საბჭოთა კავშირში და საზღვარგარეთ შესწავლილი ბენტონიტის თიხების უმეტესობა ძირითადად მონტმორილონიტისაგან შედგება. მათ გენეტურად მჭიდრო კავშირი აქვთ ვულკანურ მინასა და ფერფლთან.

მნიშვნელოვან ინტერესს წარმოადგენს მონტმორილონიტის ჯგუფის თიხების ბუნებრივი აქტივობის შედარება 500—800°-ზე გახურების შემდეგ კაოლინიტის ტიპის თიხების შეძენილ აქტივობასთან. ასეთ ტემპერატურამდე გახურებულ თიხას, კონსტიტუციური წყლის მოცილების შემდეგ, მესერის შემადგენლობაში აქვს ალუმინის უმდგრადი კოორდინაციული დაჯგუფება ოთხმაგ კოორდინაციაში [4,5]. ასეთი დაშვება ალბათ ეხება ალუმინის არა ყველა იონს, არამედ მხოლოდ მათ ნაწილს, რომელთა რაოდენობა იზრდება დეჰიდრატაციასთან ერთად.

მეორე მხრივ, ცნობილია, რომ მინისებრ ფაზებში ალუმინის იონი მხოლოდ ოთხმაგ კოორდინაციაში [6] იმყოფება. ასეთი მდგომარეობის უმდგრადობა, კაჟბადის იონთან შედარებით ალუმინის დიდი იონისათვის, მჟღავნდება თიხამიწის ცნობილ განმამინებელ მოქმედებაში (უფრო მეტად კი მაგნიუმის ჟანგისათვის, ვინაიდან მაგნიუმის იონი უფრო დიდია, ვიდრე ალუმინის იონი).

ამრიგად, ვულკანურ მინისებრ ან ნაწილობრივ ამორფირებულ ქანებში ალუმინი ტეტრაედრულ გარემოცვაში უნდა ყოფილიყო. ეს მდგომარეობა ალუმინის იონისათვის არასტაბილური იყო, მაგრამ ტუტე არეში მოხვედრისას, რომელიც ხელს უწყობს კათიონის შემცირებული კოორდინაციის შენარჩუნებას [7], იგი შეიძლება საკმაო ხნით დარჩენილიყო. ასეთი შენარჩუნებული უმდგრადი (აქტიური) ასოციაციის მაგალითია ცნობილი ბენტონიტის თიხები. მჟავე არეში კი ალუმინი სწრაფად აღწევდა ექვსმაგ გარემოცვას და მიიღებოდა კაოლინიტის რიგის თიხოვანი მინერალები, რომელნიც გამოწვის შემდეგ აქტიურდებიან. ცხადია, უკანასკნელი აქტივაცია დროებითია, რადგან ტემპერატურის ზედმეტად გაზრდისას ჟანგბადის ტეტრაედრების შრე წყდება, ხოლო კათიონი კეთილშობილი აირის გარსით მიისწრაფვის მაღალი კოორდინაციისაკენ.

განსახილველია, რა ხდება ბენტონიტის თიხების მჟავებით აქტივაციის დროს მათი გახურებისას. მჟავით დამუშავება იწვევს შემადგენლობის ნაწილის ხსნარში გადასვლას და ქმნის ღია კავშირებს, რაც ხელს უწყობს თიხების აქტიური თვისებების გამომჟღავნებას.

საიდან ჩნდება აღნიშნული ღია კავშირები?

ამ დარგის ლიტერატურაში არა ერთხელ იყო აღნიშნული, რომ კაჟბადის ატომების შეცვლა ალუმინით ელემენტარული უჯრედის გარეგან ზედაპირზე ქმნის უარყოფითი მუხტების უფორმო ჯგუფს, რომელიც გარე არედან უნდა გაჯერდეს კათიონების ადსორბციით [8].

ზემოქმედების პროცესის დეტალების განუხილველადაც [1] ეჭვგარეშეა, რომ მჟავით დამუშავებისას ეს დამატებითი კათიონები ჩამოირეცხება, შეინაცვლება წყალბად-იონებით და თიხის აქტივობა იზრდება. ადსორბირებული კათიონების შედგენილობის ცვლილება, უკანასკნელთა სახის მიხედვით, სხვადასხვა შედგენილობის აქტიური თიხების მთელ გამას ქმნის; მთლიანად ამ მოვლენას საფუძვლად უდევს არასტაბილურ, ოთხმაგ გარემოცვაში მყოფი ალუმინის იონის არსებობა.

მონტმორილონიტის გახურებას თან სდევს აქტივობის დაცემა, რადგან დასტებს შორის წყლის მოცილება იწვევს დასტების დაახლოებას და ფარდობითი აქტივაცია (დასტებიდან წყლის მოცილების ტემპერატურის მიღწევისას) უმნიშვნელოდ მოქმედებს აქტივობის საერთო ბალანსზე.

საინტერესოა აღინიშნოს, რომ კონსტიტუციური წყლის მოცილების ენდოთერმული ეფექტი მონტმორილონიტისათვის გაცილებით უფრო დაბალია, ვიდრე კაოლინიტისათვის, რაც ნათლად გვიჩვენებს, რომ გაუწყლოებისას ალუმინის იონის კოორდინაციის შემცირების ენდოთერმული ეფექტი არ-

იფარება. ნაკლებ მკაფიოდაა გამოხატული აგრეთვე ეგზოთერმული ეფექტი, რაც იმას მოწმობს, რომ საქმე გვაქვს არა შრეობრივი ანიონის მკვეთრ გაწყვეტასთან [5], არამედ უკვე ნაწილობრივ დაკრისტალებული ამორფული სტრუქტურის თანდათანობით გადახალისებასთან.

ჩვენ განვიხილეთ მაგალითების მხოლოდ მცირე ნაწილი, რომელთა რიცხვი შესაძლოა საგრძნობლად გაიზარდოს, მაგრამ ზემოთმ ოყვანილის შეჯამებისას შესაძლოდ მიგვაჩნია აღვნიშნოთ, რომ თიხიანი მინერალების აქტივობის ბუნების განზოგადების ცდა ნებას მოგვცემს ახლებურად მივუდგეთ თიხების შესწავლასა და გამოყენებას.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ლითონისა და სამთო საქმის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 2.1.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Бентонитовые глины Грузинской ССР, под ред. А. А. Твалчрелидзе. Тбилиси, 1941.
2. П. П. Будников. Труды эксперим. инст. силикатов, вып. 21, (1927); Сб. научно-исследов. работ по стройматериалам. Госстройиздат, М., 1947, стр. 97.
3. И. Д. Седлецкий. Коллоидно-дисперсная минералогия, изд. АН СССР. М.-Л., 1945.
4. L. Tschesshwili u. W. Büssem. Ber. D. Keram. Ges., 20, 249—77, 1933.
5. О. П. Мчедлов-Петросян. ДАН СССР, 78 (3), 1951, стр. 557—559.
6. J. M. Stevels. Progress in the Theory of the Physical Properties of glass. Elsevier Amsterdam, p. 51, 1948.
7. В. С. Соболев. Введение в минералогию силикатов. Изд. Львовского Университета, 1949, стр. 54.
8. Е. Гаузер и Д. Лебо. Коллоидная химия глинистых пленок. Сб. физико-химия глинистых растворов. Гостоптехиздат, М., 1947.

ტექნიკა

ო. ონიაშვილი და ა. ჯაბუა

თხელკედლიანი ცილინდრული ბუნკერის წინაღობის შესახებ თარაზული ძალების ქმედების მიმართ

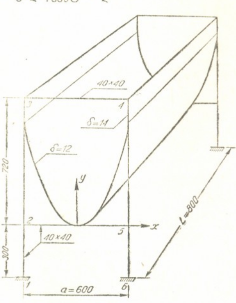
(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 11.3.1952)

უკანასკნელი დროის განმავლობაში ზოგიერთი ავტორის მიერ შემუშავებულია ცილინდრული ფორმის რკინაბეტონის ბუნკერის კონსტრუქციები.

ასეთი ბუნკერი კეთდება წინასწარ დაჭიმული რკინაბეტონის გარსისაგან, რომელიც გრძივი კიდური კოჭების საშუალებით განივ ჩარჩოებს ეყრდნობა. საყრდენს სიბრტყეში გარსი დიაფრაგმებით ან სიხისტის წიბოებითაა გამაგრებული. აღნიშნული ბუნკერები რაციონალური იქნება, უკეთუ უზრუნველყოფთ ფხვიერი ტანის სათანადო ცოცვის კუთხეს.

წინამდებარე სტატიაში შესწავლილია ცილინდრული ბუნკერების თარაზული სიხისტის საკითხი, რასაც განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს პრაქტიკულად მისი გამოყენების საკითხის გადაწყვეტის დროს.

დამრეცი გარსოვანი გადახურვებისაგან განსხვავებით, რომლებსაც დიდი თარაზული სიხისტე ახასიათებს, მოსალოდნელია, რომ თხელკედლიანი ბუნკერი, როგორც დატვირთვის დიდი მასის მზიდი კონსტრუქცია, თარაზული ძალების ასატანად კონსტრუქციულ გამაგრებას მოითხოვს. ამჟამად არ არსებობს ცილინდრული ბუნკერის თარაზულ ძალებზე ანგარიშის პრაქტიკული ხერხი. ასეთი ხერხი შეიძლება შემუშავდეს ვ. ვლასოვის „შემცვლელი ნაკეცების მეთოდის“ საფუძველზე. აღნიშნული მეთოდი კარგადაა ცნობილი ლიტერატურაში. სიცხადისათვის ვუჩვენოთ თარაზულ ძალებზე ანგარიშის ხერხი კონკრეტულ მაგალითზე, რაც არ დაუკარგავს მას ზოგადობას.



სურ. 1

განვიხილოთ კონკრეტული ზომის ცილინდრული ბუნკერი, რომელიც პირველ ნახაზზეა წარმოდგენილი. ბუნკერის მოხაზულობა ოპტიმალურია,

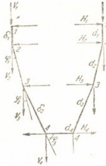
$y = 0,8\,x^2$. კოორდინატთა სათავე მიღებულია განივკვეთის სიმეტრიის ღერძის რიგელ 2—5-თან გადაკვეთის წერტილში.

ბუნკერი და განივი საყრდენი ჩარჩოები გაკეთებულია 110 მარკის რკინაბეტონისაგან, რომლის დრეკადობის მოდული კუმშვაზე $E = 200\,000$ კგ/სმ². ბუნკერი დატვირთულია შლაკით, რომლის მოცულობითი წონა $\gamma = 0,9$ ტ/კუბ. მ. დატვირთვის პარაბოლა განისაზღვრება განტოლებით: $q_x = 58,43 - 6,27\,x^2$ ტ/მ. ფხვიერი ტანის ბუნებრივი ქანობის კუთხე $\alpha = 40°$.

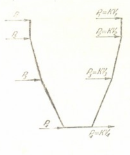
ვლასოვის მიხედვით [1], შევცვალოთ ბუნკერის მოხაზულობა მასზე შემოწერილი შვიდკუთხა მრავალგვერდით, რაც ცილინდრულ გარსს ნაკეცებიან ცილინდრულ სისტემად გარდაქმნის.

ბუნკერის ფხვიერი ტანით სრულად დატვირთვის დროს კვანძურ ტვირთებს შემდეგი მნიშვნელობები ექნება (იხ. ნახ. 2):

$v_1 = 0,2$ ტ. $\qquad H_1 = 0,047$ ტ.
$v_2 = 0,504$ „ $\qquad H_2 = 0,636$ „
$v_3 = 3,675$ „ $\qquad H_3 = 1,907$ „
$v_4 = 8,70$ „ $\qquad H_4 = 1,504$ „



ნახ. 2



ნახ. 3

ქვემოთ მოგვყავს ნაკეცებიანი შემცვლელი სისტემის განივკვეთის დახასიათება:

$d_1 = 1,20$ მ $\qquad \varphi_1 = 12°30'$
$d_2 = 2,73$ „ $\qquad \varphi_2 = 15°30'$
$d_3 = 3,31$ „ $\qquad \varphi_3 = 62°$.
$d_4 = 1,80$ „
$\delta_1 = 14$ სმ
$\delta_2 = 12$ სმ

განვიხილოთ იგივე ბუნკერი, დატვირთული ცალმხრივ მოქმედი P თარაზული ძალებით.

P თარაზული ძალები v ვერტიკალური კვანძური დატვირთვების პროპორციულია.

შემდგომ ანგარიშებში მიღებულია, რომ პროპორციულობის კოეფიციენტი $k = \frac{1}{40}$

ამის შესაბამისად, მივიღებთ კვანძური თარაზული დატვირთვების შემდეგ მნიშვნელობებს:

$$P_1 = 0{,}005 \text{ ტ}$$
$$P_2 = 0{,}0126 \text{ „}$$
$$P_3 = 0{,}092 \text{ „}$$
$$P_4 = 0{,}217 \text{ „ (იხ. ნახ. 3)}$$

განვსაზღვროთ ბუნკერის დაძაბული მდგომარეობა განხილული v, H და P დატვირთვათა სისტემებისათვის,

ვიანგარიშოთ ვლასოვის მეთოდით [1] შემდეგი მატრიცის მიხედვით:

№№	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	M_3	M_4	თავისუფ. წევრი
1	r_{11}	r_{12}	0	0	S_{13}	0	R_{1P}
2	r_{21}	r_{22}	r_{23}	0	S_{23}	S_{24}	R_{2P}
3	0	r_{32}	r_{33}	r_{34}	S_{33}	S_{34}	R_{3P}
4	0	0	r_{43}	r_{44}	S_{43}	S_{44}	R_{4P}
3	a_{13}	a_{23}	a_{33}	a_{43}	b_{33}	b_{34}	0
4	0	a_{24}	a_{34}	a_{44}	b_{43}	b_{44}	0

პირველი კვადრანტის კოეფიციენტებს შემდეგი მნიშვნელობა აქვს:

$$r_{11} = \frac{F_1}{3} = \frac{\delta_1 d_1}{3} = 0{,}056 \text{ მ}^2 \qquad r_{12} = r_{21} = \frac{F_1}{6} = 0{,}028 \text{ მ}^2$$

$$r_{22} = \frac{1}{3}(F_1 + F_3) = 0{,}165 \text{ მ}^2 \quad r_{23} = r_{32} = \frac{F_2}{6} = 0{,}0546 \text{ მ}^2 \qquad (1)$$

$$r_{33} = \frac{1}{3}(F_2 + F_3) = 0{,}241 \text{ მ}^2 \quad r_{34} = r_{43} = \frac{F}{6} = 0{,}0662 \text{ მ}^2$$

$$r_{44} = \frac{1}{3}(F_3 + F_4) + \frac{F_4}{6} = 0{,}24 \text{ მ}^2. \qquad (1)$$

მეორე კვადრანტის კოეფიციენტებია:

$$S_{13} = \frac{1}{d_1 d_2 \sin\varphi_1} = 1{,}40 \text{ მ}^{-2}$$

$$S_{23} = \frac{1}{d_2^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_1 + \operatorname{ctg}\varphi_2 + \frac{d_2}{d_1 \sin\varphi_1} + \frac{d_2}{d_3 \sin\varphi_2}\right) = -2{,}91 \text{ მ}^{-2}$$

$$S_{33} = \frac{\mathrm{I}}{d_2^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_1 + \operatorname{ctg}\varphi_2\right) + \frac{2}{d_2 d_3 \sin\varphi_2} + \frac{\mathrm{I}}{d_3^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_2 + \operatorname{ctg}\varphi_3\right) = 2{,}3\mathrm{I}\ \text{მ}^{-2}$$

$$S_{43} = -\frac{\mathrm{I}}{d_3^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_2 + \operatorname{ctg}\varphi_3 + \frac{d_3}{d_2\sin\varphi_2} + \frac{d_3}{d_4\sin\varphi_3}\right) + \frac{\mathrm{I}}{d_3 d_4 \sin\varphi_3} = -079\ \text{მ}^{-2}$$

$$S_{24} = \frac{\mathrm{I}}{d_2 d_3 \sin\varphi_2} = 0{,}4\mathrm{I}4\ \text{მ}^{-2} \tag{2}$$

$$S_{34} = -\frac{\mathrm{I}}{d_3^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_2 + \operatorname{ctg}\varphi_3 + \frac{d_3}{d_2\sin\varphi_2} + \frac{d_3}{d_4\sin\varphi_3}\right) = -0{,}984\ \text{მ}^{-2}$$

$$S_{44} = \frac{\mathrm{I}}{d_3^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_2 + \operatorname{ctg}\varphi_3 + \frac{d_3}{d_4\sin\varphi_3}\right) = 0{,}57\ \text{მ}^{-2}.$$

მეოთხე კვადრანტის კოეფიციენტებია:

$$b_{33} = \frac{\mathrm{I}}{3}\left(\frac{d_2}{I_2} + \frac{d_3}{I_3}\right) = \mathrm{I}4000\ \text{მ}^{2}$$

$$b_{34} = b_{43} = \frac{d_3}{6I_3} = 3540\ \text{მ}^{-2} \tag{3}$$

$$b_{44} = \frac{\mathrm{I}}{3}\left(\frac{d_3}{I_3} + \frac{d_4}{I_4}\right) + \frac{d_4}{6I_4} = \mathrm{I}3920\ \text{მ}^{-2},$$

სადაც

$$Ii = \frac{\delta_i^3}{\mathrm{I}2}.$$

ანტისიმეტრიული დატვირთვის შემთხვევაში ზოგიერთი კოეფიციენტის მნიშვნელობა შეიცვლება, სახელდობრ:

პირველ კვადრანტში

$$r_{44} = \frac{\mathrm{I}}{3}\left(F_3 + F_4\right) - \frac{F_4}{6} = 0{,}\mathrm{I}68\ \text{მ}^2;$$

მეორე კვადრანტში

$$S_{34} = S_{43} = -\frac{\mathrm{I}}{d_3^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_2 + \operatorname{ctg}\varphi_3 + \frac{d_3}{d_2\sin\varphi_2} + \frac{d_3}{d_4\sin\varphi_3}\right) - \frac{\mathrm{I}}{d_3 d_4\sin\varphi_3} = -\ \mathrm{I},\mathrm{I}77\ \text{მ}^{-2}; \tag{4}$$

$$S_{44} = \frac{2}{d_3^2}\left(\operatorname{ctg}\varphi_2 + \operatorname{ctg}\varphi_3\right) + \frac{2}{d_4^2}\operatorname{ctg}\varphi_3 + \frac{3}{d_3 d_4 \sin\varphi_3} + \frac{\mathrm{I}}{d_3^2\sin\varphi_2} = 2\ \text{მ}^{-2}$$

და მეოთხე კვადრანტში

$$b_{44} = \frac{\mathrm{I}}{3}\left(\frac{d_3}{I_3} + \frac{d_4}{I_4}\right) - \frac{d_4}{6I_4} = 9790\ \text{მ}^{-2}.$$

გამოვთვალოთ ახლა თავისუფალი წევრების მნიშვნელობა v შვეული ტვირთების მოქმედების შემთხვევისათვის:

$$R_{1P} = -\frac{4\cdot 0{,}42}{\pi} = 0{,}535\ \text{ტმ}^{-2} \qquad R_{2P} = -\frac{4\cdot \mathrm{I}{,}94}{\pi} = 2{,}475\ \text{ტმ}^{-2}$$

$$R_{3P} = -\frac{4 \cdot 0{,}25}{\pi} = 0{,}318 \text{ ტმ}^{-2} \qquad R_{4P} = \frac{4 \cdot 2{,}11}{\pi} = 2{,}692 \text{ ტმ}^{-2}. \tag{5}$$

სიმეტრიული თარაზული ტვირთების მოქმედების დროს

$$R_{1P} = -\frac{4 \cdot 2{,}39}{\pi} = -3{,}04 \text{ ტმ}^{-2} \qquad R_{3P} = \frac{4 \cdot 3{,}33}{\pi} = 4{,}24 \text{ ტმ}^{-2}$$

$$R_{2P} = \frac{4 \cdot 1{,}17}{\pi} = 1{,}49 \text{ ტმ}^{-2} \qquad R_{4P} = -\frac{4 \cdot 2{,}11}{\pi} = -2{,}69 \text{ ტმ}^{-2}. \tag{6}$$

ანტისიმეტრიული თარაზული ტვირთების მოქმედებისათვის

$$R_{1P} = \frac{4 \cdot 0{,}0188}{\pi} = 0{,}024 \text{ ტმ}^{-2} \qquad R_{2P} = -\frac{4 \cdot 0{,}0702}{\pi} = 0{,}0895 \text{ ტმ}^{-2}$$

$$R_{3P} = -\frac{4 \cdot 0{,}1907}{\pi} = -0{,}243 \text{ ტმ}^{-2} \qquad R_{4P} = \frac{4 \cdot 0{,}095}{\pi} = 0{,}121 \text{ ტმ}^{-2}. \tag{7}$$

გარსში ჩაწერილი შვიდწახნაგიანი ნაკეცის ანგარიში დაიყვანება შემდეგი ალგებრული სისტემის ამოხსნაზე:

$$\left.\begin{aligned}
&\lambda^2 r_{11}\sigma_1 + \lambda^2 r_{12}\sigma_2 - S_{13}M_3 - R_{1P} = 0,\\
&\lambda^2 r_{21}\sigma_1 + \lambda^2 r_{22}\sigma_2 + r_{23}\lambda^2\sigma_3 - S_{23}M_3 - S_{24}M_4 - R_{2P} = 0,\\
&\lambda^2 r_{32}\sigma_2 + \lambda^2 r_{33}\sigma_3 + \lambda^2 r_{34}\sigma_4 - S_{33}M_3 - S_{34}M_4 - R_{3P} = 0,\\
&\lambda^2 r_{43}\sigma_3 + \lambda^2 r_{44}\sigma_4 - S_{43}M_3 - S_{44}M_4 - R_{4P} = 0,\\
&a_{13}\sigma_1 + a_{23}\sigma_2 + a_{33}\sigma_3 + a_{43}\sigma_4 - \lambda^2 b_{33}M_3 - \lambda^2 b_{34}M_4 = 0,\\
&a_{24}\sigma_2 + a_{34}\sigma_3 + a_{44}\sigma_4 - \lambda^2 b_{43}M_3 - \lambda^2 b_{44}M_4 = 0,
\end{aligned}\right\} \tag{8}$$

სადაც

$$\lambda^2 = \frac{\pi^2}{L^2} = 0{,}1542.$$

ჩავსვათ (8) განტოლებაში (1), (2) და (3) კოეფიციენტების რიცხობრივი მნიშვნელობები. თავისუფალი წევრების მნიშვნელობა მივიღოთ განსახილველი შემთხვევის შესაბამისად. ამგვარად, V შვეული ძალების მოქმედების შემთხვევაში თავისუფალი წევრების მნიშვნელობა მიიღება (5) მიხედვით და (8) სისტემის ამოხსნის შედეგად უცნობების შემდეგ მნიშვნელობებს მივიღებთ:

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= -3{,}17 \text{ კგ/სმ}^2 & M_3 &= -73 \text{ კგმ/მ}\\
\sigma_2 &= -8{,}42 \text{ „} & M_4 &= 16{,}2 \text{ „}\\
\sigma_3 &= 0{,}235 \text{ „} & &\\
\sigma_4 &= 7{,}4 \text{ „} & &
\end{aligned} \tag{9}$$

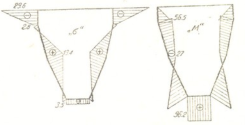
იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ ნაკეცის დაძაბული მდგომარეობა H სიმეტრიული თარაზული ძალების მოქმედების დროს, საჭიროა თავისუფალი წევრები (6) მიხედვით მივიღოთ, მაშინ (8) სისტემის ამონახსნი შემდეგი სახით წარმოდგება:

$$\begin{aligned}
\sigma_1 &= -26{,}45 \text{ კგ/სმ}^2 & M_3 &= 46 \text{ კგმ/მ}\\
\sigma_2 &= 5{,}6 \text{ „} & M_4 &= 80 \text{ „}\\
\sigma_3 &= 13{,}2 \text{ „} & &\\
\sigma_4 &= 10{,}9 \text{ „} & &
\end{aligned} \tag{10}$$

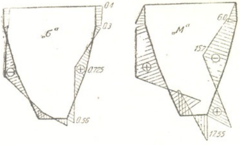
დატვირთული ბუნკერის საკუთარი წონით გამოწვეული მთლიანი დაძაბული მდგომარეობის მისაღებად შევაჯამოთ (9) და (10) ამონახსნები, რის შედეგად მივიღებთ:

$$\sigma_1 = -29{,}62 \text{ კგ/სმ}^2 \qquad M_3 = -27 \text{ კგმ/მ}$$
$$\sigma_2 = -\ 2{,}82 \text{ „} \qquad M_4 = \ 96{,}2 \text{ „} \qquad (11)$$
$$\sigma_3 = 13{,}435 \text{ „}$$
$$\sigma_4 = -3{,}5 \text{ „}$$

„σ“ და „M“-ის შესაბამი ეპიურები წარმოდგენილია მე-4 ნახაზზე.



ნახ. 4



ნახ. 5

გამოვიყენოთ ახლა (8) სისტემა ნაკეცის ანტისიმეტრიულ თარაზულ ტვირთზე საანგარიშოდ. ამ შემთხვევაში კოეფიციენტები უნდა გამოვთვალოთ (4) შესწორების გათვალისწინებით.

თავისუფალი წევრების მნიშვნელობა საჭიროა მივიღოთ (7) მიხედვით. (8) განტოლებების ამოხსნის შედეგად მივიღებთ:

$$\sigma_1 = \ 0{,}4 \text{ კგ/სმ}^2 \qquad M_3 = \ 15{,}8 \text{ კგმ|მ}$$
$$\sigma_2 = \ 0{,}3 \text{ „} \qquad M_4 = -17{,}55 \text{ „}$$
$$\sigma_3 = -0{,}725 \text{ „}$$
$$\sigma_4 = \ 0{,}56 \text{ „} \quad \text{(იხ. ნახ. 5).}$$

(12)-ის შედარება (11)-თან გვიჩვენებს, რომ ბუნკერზე ვერტიკალური ტვირთების $\frac{1}{40}$ ნაწილის ტოლი ცალმხრივ მიმართული თარაზული ძალების მოქმედების დროს ბუნკერის კედელში წარმოქმნილი მაქსიმალური მღუნავი მომენტები 18,3%-ით გაიზრდება. გრძივი ძაბვები ცალკეულ ადგილებში 10—16%-ით იზრდება. ეს გარემოება მოითხოვს, სათანადოდ, ბუნკერის კონსტრუქციულ გამაგრებას.

თარაზული დატვირთვის გავლენა დიდია განივ საყრდენ ჩარჩოებზე. შვეული ტვირთით გამოწვეული მღუნავი მომენტების შედარება თარაზული ტვირთით გამოწვეულ მომენტებთან გვიჩვენებს, რომ არ შეიძლება უკანასკნელების უგულვებელყოფა.

თუ თარაზულ დატვირთვას დინამიკური ხასიათი აქვს, მნიშვნელოვანია ბუნკერის თავისუფალი რხევის სიხშირეების ცოდნა. ეს უკანასკნელები შეიძლება განისაზღვროს [2]-ში მოცემული ვარიაციული მეთოდის თანახმად; კერძო შემთხვევაში, როდესაც ცილინდრული ბუნკერის კიდეები რადიალურადაა დაყრდნობილი, თავისუფალი რხევის სიხშირე ბუნკერის ნებისმიერი მოხაზულობისათვის შემდეგი ფორმულით გამოისახება:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{g}{\gamma\delta}\left[D(\lambda_n^2+\mu_m^2)^2 + (T_1^0\lambda_0^2 + T_2^0\mu_m^2 + 2S^0\lambda_n\mu_m) + \frac{4E\delta\lambda_n^4 I^2(\beta)}{\beta_0^2(\lambda_n^2+\mu_m^2)^2}\right] \quad (13)$$

α და β კოორდინატებია მთავარი სიმრუდეების მიმართულებით.

აქ T_1^0, T_2^0 და S^0 გამოსახავენ ბუნკერის დაძაბულობას, ურომლისოდ (13) ფორმულა გამარტივდება

$$I(\beta) = \int_0^{\beta_0} k_2(\beta)\sin^2\mu_m\beta\, d\beta; \quad (14)$$

$$\mu_m = \frac{m\pi}{\beta_0}, \quad \lambda_n = \frac{n\pi}{L}.$$

ბუნკერის წრიული მოხაზულობის შემთხვევაში $I(\beta) = \frac{\beta_0}{2R}$.

მაგალითისათვის განვიხილოთ რკინაბეტონის ცილინდრული ბუნკერი, რომლის ზომები გეგმაში 6,0×8,6 მეტრია, ხოლო მოხაზულობა წრიული რადიუსით $R = 3{,}0$ მ. ბუნკერის სისქე $\delta = 12$ სმ, $\gamma = 2{,}4$ ტ/კუბ. მ. თავისუფალი რხევის ძირითადი სიხშირე $\omega_{ძირ} = 31{,}4$ რხ/სეკ.

მეორე მაგალითისათვის განვიხილოთ იგივე ბუნკერი ოპტიმალური მოხაზულობით $y = 0{,}8x^2$.

ამ შემთხვევაში შესაძლოა სიმრუდის კარგი მიახლოება ფორმულით

$$k_2 = 1{,}6\, e^{-\beta}.$$

გამოთვლით მივიღებთ

$$I(\beta) \approx 0{,}8 \text{ და } \omega_{\text{ბექ}} \approx 37 \text{ რხ/სეკ.}$$

საგულისხმოა, რომ თავისუფალი რხევის ძირითადი ტონის შესაბამისი ღუნვის ფორმა ხასიათდება ორი ნახევარტალღით განივი და ერთი ნახევარტალღით გრძივი მიმართულებით.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
სამშენებლო საქმის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 17.3.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. В. З. Власов. Строительная механика тонкостенных пространственных систем. М., 1949.
2. О. Д. Ониашвили. Применение вариационного метода к задачам о колебаниях и устойчивости пологой оболочки. Сообщения АН Грузинской ССР, т. X, № 10, 1949.

ბოტანიკა

ბ. გავრილენკო

ფურისულას ახალი სახეობა თბილისის მიდამოებში

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ლ. დეკაპრელევიჩმა 8.1.1952)

Primula saguramica m. sp. n.

Sect. *Vernales in* Pax. *Monographische überricht* über *die Arten der Gatung Primula*. Leipcig, 1888.

Perennis rhizomata crasso brevi; folia rosularia late elliptica basi angustata in petiolum anguste alatum transeuntia, margine inaequaliter sinuata atque minutae aqutodentata lamina rugosa supra pilis raribus subtus praecipue ad nervos densioribus glandulisque luteolis sparsio obsita. Caule florifere, 10 — 20 cm. alto, flores 4 — 8 in umbellata terminali involucelli phylla breviter linearia, pedicellis 8 — 15 mm. longis, breviora, acuta; calyx late cylindricus angustatus, tubo 8 — 9 mm. longo, dentibus late triangulare lanceolatis post anthesin rectis, 5 — 6 mm. longis; scapi involucelli phylla, pedicelli pilis sat longis patulis obsita. Corolla limbo plano, 12 — 18 mm. in diametrum, tubo dentibus calycinis longiore, pallide lutea, fauce macula lutea instructa, lobi parum erosulis. Capsula calyce multo longior, 5 — 6 cm. longa.

Typus. Georgia Karthli. Viciniae urbis Thbilissi in. declivio meridionali jugi saguramo in silvis frondosio mixtis, 700 m. supra mare IV — 1946, leg. B. Gawrilenko.

P. Pallasii Lehm. proxima, seet ab co calycis pedicellorum pubescentia patula longiore foliis praesirtim subtus densius puberulis, corollae tubi longitudine atque dentibus calycinis apice rectis vix introrsum directis differt. Planta silvatica nes alpina.

აღნიშნული მცენარე მრავალწლოვანია, ფესურა მსხვილია, დამოკლებული. ფოთლები ფესვის ყელთანაა როზეტად შეკრებილი, მოყვანილობით ფართო — ელიფსური, ფუძისაკენ შევიწროებული და ვიწროფრთიან ყუნწად გადასული, კიდეებზე უთანაბროდ ამოკვეთილი და მახვილკბილებიანი. ფოთლის ფირფიტა დანაოჭებულია, ზემოდან თხლად მოფენილი ბეწვებით, ქვემოდან კი, განსაკუთრებით ძარღვების გასწვრივ, სახსრიანი ბეწვებითაა უფრო სქლად შემოსილი, რომელთა შორის მოყვითალო ჯირკვლებია მოფანტული.

ყვავილები 4 — 8 ცალის რაოდენობით 10 — 20 სმ სიმაღლის საყვავილე ღეროზეა ქოლგად შეკრებილი. საბურვლის ფოთოლაკები მოკლე—ხაზურია, ყვავილის ყუნწებზე მოკლე, წაწვეტებული. ყვავილების ყუნწები 8 — 15 მმ სიგრძისაა. ჯამი ფართო — ცილინდრული, წახნაგოვანი, ხუთკბილა. მისი მი-

Primula saguramica B. Gawr.

ლი 8 — 9 მმ სიგრძისაა. ჯამის კბილები ფართო სამკუთხა — ლანცეტაა, დაყვავილების შემდეგ სწორი რჩება, 5 — 6 მმ სიგრძისაა. საყვავილე ღერო, საბურვლის ფოთოლაკები, ყვავილების ყუნწები და ჯამი მოფენილია საკმაოდ გრძელი აფშეკილი სახსრიანი ბეწვებით.

გვირგვინი მკრთალი ყვითელია, ხახაში მუქი ყვითელი ლაქა აქვს, გადანაღუნი ბრტყელია, 12 — 18 მმ დიამეტრის, მილი სიგრძით აღემატება ჯამის კბილებს. გვირგვინის ნაკვთები თავამოკვეთილია. კოლოფი 5 — 6 მმ სიგრძისაა, ჯამზე ბევრად მოკლე.

ყვავილობს მარტის ბოლო რიცხვებში და აპრილის დასაწყისში. ყვავილობის ხანგრძლიობა 20 — 25 დღეა.

ა დ გ ი ლ ს ა მ ყ ო ფ ე ლ ი: მთის შუა სარტყლის სამხრეთის ფერდობების ფოთლოვანი ტყეები;

გ ა ვ რ ც ე ლ ე ბ ა: თბილისის მიდამოები (საგურამოს ქედი). ზემოთ აღწერილი სახეობა ნაპოვნი იქნა 1946 წლის აპრილში, ზღვის დონიდან 700 მეტრ სიმაღლეზე, საგურამოს ქედის (თბილისიდან 25 კილომეტრის დაშორებით) სამხრეთ ფერდობების ფოთლოვან ტყეში, სადაც ჭარბობს წიფელი, ქართული მუხა და რცხილა.

ჩვენ მიერ ნაპოვნი სახეობა ეკუთვნის *Vernales* Pax სექციას და ყველაზე უფრო ახლო დგას *Pr. Pallasii* Lehm.-თან, რომლისგანაც განსხვავდება ჯამისა და ყვავილის ყუნწების უფრო გრძელი და აფშეკილი ბეწვით, ფოთლების უფრო ხშირი ბეწვებით (განსაკუთრებით მათ ქვემო მხარეზე), გვირგვინის მილის სიგრძით (რომელიც ჯამს აღემატება), აგრეთვე ჯამის კბილებით, რომელთა ბოლოები სწორია ან ოდნავ შიგნითაა მიმართული.

გარდა ამისა, *Pr. Pallasii* Lehm. წარმოადგენს მაღალმთის ალპური მდელოების მცენარეს; ჩვენ მიერ ნაპოვნი სახეობა კი ტყის მცენარეა.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ბოტანიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 8.1.1952)

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 6, 1952

ნიადაგმცოდნეობა

გ. კოსტავა

წითელმიწებში ნიადაგწარმოქმნის პროცესების შესახებ მათი ფრაქციების ქიმიური შედგენილობის მიხედვით

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა მ. საბაშვილმა 15.11.1951)

ნიადაგის დისპერსიული სისტემის, განსაკუთრებით კი მისი უწვრილესი, რეაქციის მაღალი უნარის მქონე ფრაქციების ბუნებაში გარკვევისათვის საჭირო კვლევებს ამჟამად განსაკუთრებული ყურადღება ექცევა. ეს გასაგებიცაა, თუ მხედველობაში მივიღებთ ნიადაგწარმოქმნის პროცესებში მათ უაღრესად დიდ როლს.

ზოგიერთი ნიადაგის ფრაქციული შედგენილობის შესახებ სპეციალურ ლიტერატურაში საკმაო მასალებია შეგროვილი [4,6,8], მაგრამ, ამასთანავე, სხვა წარმომადგენლების მიმართ ამგვარი შედეგები ან სრულებით არ მოიპოვება, ან მათ თავისებურებაზე მხოლოდ არაპირდაპირი მონაცემებით მსჯელობენ. როგორც ჩანს, ასეთი მდგომარეობაა შექმნილი წითელმიწების ირგვლივაც, რომელთა შთანმთქავი კომპლექსის მეტად ორიგინალური ქცევები, კერძოდ ამფოტერული თვისებები, უმთავრესად ფუნქციონალური რეაქციების საშუალებითაა დადგენილი [1,2,5,7].

დასახული ამოცანის გადასაწყვეტად, სახელდობრ—პირდაპირი კვლევის შედეგების მისაღებად, ჩვენ მიერ ჩატარებულია წითელმიწა ნიადაგის ფრაქციების ანალიზური გამოკვლევა. ექსპერიმენტისათვის საჭირო ობიექტის შერჩევისას, ვხელმძღვანელობდით რა რიგი ჭრილების წინასწარი შესწავლითა და დამახასიათებელი ნიმუშების ღრმა ანალიზური მაჩვენებლებით, ყველაზე მოხდენილად მივიჩნიეთ ავგიტური პორფირიტების დედაქანებზე და არა მეორადჭრელ თიხებზე განვითარებული ჭრილი. ამ ნიადაგის ზედაპირულ ფენაში CaO მონაწილეობა, სხვებთან შედარებით, საგრძნობლად დაბალია. ამრიგად, ის მიჩნეული იყო, ასე ვთქვათ, პირველადისა და გადაუნაცვლებელი კოლოიდების სამარაგო წყაროდ.

ჭრილისათვის დამახასიათებელი მთლიანი ანალიზის შედეგები უცვლელად იმეორებს წითელი მიწებისათვის უკვე ცნობილ შედგენილობას.

კოლოიდური და კოლოიდწინა ფრაქციების გამოყოფა და შესწავლა ჩატარდა სედიმენტაციის სხვადასხვა პირობებში, სახელდობრ: ა) დადებითი მუხტის—0,005 ნორმალობის HNO_3 გამოყენებით, ბ) უარყოფითი მუხტის—0,1 ნორმალობის Li_2CO_3 გამოყენებით და გ) სუფთა წყლის არეებში.

ასეთი სუსტი კონცენტრაციის ელექტროლიტების ხმარება ნაკარნახევი იყო ექსპერიმენტის ბუნებრივ პირობებთან მაქსიმალურად მიახლოების სურვილით. კერძოდ, აზოტის მჟავას გამოყენებით ჩვენ თითქოსდა ავსახეთ თბილი, ჰუმიდური ზონისათვის ცნობილი, ატმოსფერული ნალექების საშუალებით აზოტის ნაერთების ნიადაგში შეტანის ფაქტი. რაც შეეხება სუსტ ტუტეს, ამ შემთხვევაში იმ მოსაზრებიდან გამოვდიოდით, რომ ნიადაგის წვრილი დისპერსიული ნაწილი პეპტიზირებული იქნება უფრო აქტიური და არა „დაძველებული“, გამოლექილი კოაგელების ხარჯზე. ამ მოსაზრებას ქვემოთ მოყვანილი პირველი ცხრილის შედეგები ადასტურებს.

ცხრილი 1

კოლოიდებისა და კოლოიდწინა ფრაქციების რაოდენობა დისპერგირების სხვადასხვა პირობებში

სიღრმე	$> 5\mu$ ფრაქცია			$5-0{,}2\mu$ ფრაქცია			$< 0{,}2\mu$ კოლოიდური		
	წყლის არე	მჟავას არე	ტუტ. არე	წყლის არე	მჟავას არე	ტუტ. არე	წყლის არე	მჟავას არე	ტუტ. არე
0—18	96,08	97,04	58,12	2,16	2,01	37,01	1,76	0.97	4,87
35—65	97,58	97,08	59,32	არაა	არაა	36,76	კვალი	კვალი	3,92
82—100	98,04	98,94	70,95	„	„	25,73	არაა	არაა	3.32
143—161	99,12	98,20	80,17	„	„	17,25	„	„	2,57
237—280	99,28	98,14	81,28	„	„	15,76	„	„	1,96
362—440	99,44	98,48	86,90	„	„	11,66	„	„	1,24

კოლოიდური ფრაქციის გამოსავალი, Li იონით პეპტიზაციის შემთხვევაშიაც კი, დაბალია. როგორც ჩანს, ჩვენი ნიადაგის წვრილი დისპერსიული ნაწილი სწრაფად განიცდის „მოძველებას“. რაც შეეხება $> 5\,\mu$ ფრაქციას, მისი სიჭარბე უთუოდ მიკროაგრეგატების მაღალი სიმტკიცითაა გამოწვეული.

ჰუმუსურ ფენაში კოლოიდები, დისპერსიის გარემოს დამოუკიდებლივ, საკმაოდაა განვითარებული. ამასთან დაკავშირებით საჭიროდ მიგვაჩნია სხვათა შორის შევნიშნოთ, რომ ნიადაგის კოლოიდური ნაწილის როლის შეფასებისას მხედველობაში უნდა ვიქონიოთ ის არსებითი გარემოება, რომ ნიადაგში, გელების კოაგულიაციასა და კრისტალიზაციასთან ერთად, განუხრელად მიმდინარეობს კოლოიდების ახლად წარმოქმნაც. ამიტომ, გარკვეულ მომენტშიაც კი დადგენილი მათი უმნიშვნელო მონაწილეობა პროცესის მუდმივსა და განუხრელ ზოქმედებას მოწმობს, ხოლო შედეგებმა შეიძლება მეტად მნიშვნელოვანი გამოსახულება პოვოს დროის ამა თუ იმ მონაკვეთში.

თუმცა ნიმუშების პეპტიზაციისათვის დაბალი კონცენტრაციის ელექტროლიტები იყო ნახმარი, მაგრამ, ზოგადი დებულებებიდან გამომდინარე, შესაძლებლად ჩავთვალეთ მაგარი ფაზის ნაწილობრივ მოლეკულური ხსნადობაც.

მართლაც, როგორც გამოირკვა, ნივთიერებათა ხსნადობის მაქსიმუმი მჟავე პირობებზე მოდის. ერთნახევარი ჟანგეულების გარდა, ამავე პირობებში სილიციუმიც იჩენს თავს, მაგრამ ამასთანავე გაურკვეველია რატომ არ მჟღავნდება ის ტუტე რეაქციის არეში. ჩვენი აზრით, ეს მოვლენა ანიონური

ცხრილი 2

Li იონით პეპტიზირებული შუალედი და კოლოიდური ფრაქციების მთლიანი ანალიზის შედეგები

სიღრმე	გახურ. დანაკ.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P_2O_5	CaO	MgO	$\frac{SiO_2}{R_2O_3}$	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$	$\frac{SiO^2}{Fe^2O_3}$
				შუალედი ფრაქცია (5—0,2μ)							
0—18	19,03	43,10	20,15	14,96	1,26	0,19	0,27	0,77	2,35	3,64	7.64
35—45	13,86	38,49	27,56	16,66	1,02	0.31	0,67	0,63	1,66	2,38	6,17
82—100	13,72	36,55	30,61	16,42	1,19	0,12	1,03	0,17	1,46	2,03	5,92
143—151	15,23	36,91	26,84	17.89	0,82	0,26	0,30	0,76	1,60	2,34	5,49
237—280	14,20	26,02	27,46	18,53	1,12	0,43	არგან.	0,65	1,10	1,63	3 78
362—440	13,81	45,75	26,63	13,52	0,19	1,10	0,41	არგან.	2,21	2,92	9,09
				კოლოიდური ფრაქცია (< 0,2μ)							
0—18	27,69	31,25	21,16	17,65	1,03	0,29	2,02	1,44	1.58	2,47	4,74
35—45	25,69	30,97	21,85	16,98	0,65	0,38	1,30	1,26	1,58	2,50	4,88
82—100	26,15	28,40	26,17	15,30	0,30	0,17	1,35	1,08	1,33	1,97	4,97
143—151	საეჭ.	საეჭ.	საეჭ.	საეჭ.	0,24	0,39	2,27	1,08	—	—	—
237—280	34,57	38,29	14,15	9,48	0,98	0,27	1,40	0,96	3,08	4.59	11,00
362—440	25,90	34,59	21,72	13,30	0,28	0,29	2,00	1,36	1.93	2,75	6,96

ცხრილი 3

სხვადასხვა დისპერსიულ არეში გამოყოფილი შუალედი და კოლოიდური ფრაქციების მთლიანი ანალიზის შედეგები

სიღრმე	დისპერ-სიის არე	ფრაქცია	გახურ. დანაკ.	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO^2	P^2O_4	CaO	MgO	$\frac{SiO^2}{R^2O_3}$	$\frac{SiO^2}{Al^2O_3}$	$\frac{SiO^2}{EeO_3}$
0—18	წყალი	<0.2μ	56,92	18,32	11,96	8.62	0,18	არაა	0,68	1,86	1,02	2,61	5 65
"	"	5—2μ	15,75	41'58	23,68	14,00	1,28	0,30	0,58	1,10	2,06	2,98	7,88
0—18	HNO_3	<0,2μ	37,56	37,20	8 97	9,02	0,66	0,69	0,88	2,49	4.08	7,05	11,07
"	"	5—0,2μ	15,32	42,56	21.54	15,52	1,20	0,35	0,53	1,03	2,18	3,35	7,23
0—18	Li^2CO_3	<0,2μ	27,69	31,25	21,16	17,65	1,03	0,29	2,02	1,44	1,58	2,47	4.74
"	"	5—0,2μ	19,03	43,10	20,14	14,96	1,26	0,19	0,27	0,77	2,35	3,64	7,64

შთანთქმის გაძლიერებაში მდგომარეობს. კერძოდ, ორგანული და ფოსფორის მჟავეები და სხვა ანიონები, აძევებენ რა შთანმთქავი კომპლექსიდან ნაწილობრივად ადსორბირებულ სილიციუმის მჟავას, (SiO_3, $HSiO_3$). უკანასკნელი თავს იჩენს მჟავე ხსნარებში. არა ნაკლებ საყურადღებოა ტუტემიწა მეტალების მაღალი ხსნადობა, რაც უთუოდ ბიოლოგიური დაგროვებითაა გაპირობებული.

კოლოიდური და კოლოიდწინა ფრაქციების ქიმიურ ბუნებაში გასარკვევად ვათავსებთ თანამიმდევრობით ორ ცხრილში შეჯამებულ ანალიზურ მასალას. პირველი მათგანი ლითიუმ-იონით პეპტიზირებულ ფრაქციებს შეეხება, ხოლო მეორე—სხვადასხვა არეში დისპერგირებულებს.

სილიციუმის მჟავას ფრაქციების მიხედვით ფენობრივ განაწილებაში აშკარად იგრძნობა მისი გენეტიკური ჰორიზონტების კოლოიდურ ნაწილში შემცირება. ერთნახევარი ჟანგეულების ქცევა არათანაბარია. მცირე ზომის ნაწილაკებში ალუმინიუმი თუ მცირდება, რკინა, პირიქით, მატულობს. რკინის აკუმულაციის მაქსიმუმი გენეტიკურ ჰორიზონტებზე მოდის. გამოფილტულ მასალაში კი მას ნაწილობრივი დეპრესია ემჩნევა. რაც შეეხება ფოსფორის მჟავასა და ტიტანს, პირველი მათგანი ოდნავი დაგროვებით ხასიათდება, ხოლო მეორეს ზედაპირული ფენების წვრილ ფრაქციებში შემცირების აშკარად გამოსახული ტენდენცია აქვს. ტუტემიწები, განსაკუთრებით კი კალციუმი, თავმოყრილია წვრილ დისპერსიულ ნაწილში.

მოყვანილი მონაცემებიდან აშკარად ჩანს, რომ დისპერგირების სხვადასხვა არეში გამოყოფილი კოლოიდები თვისობრივად და რაოდენობრივად ერთმანეთისაგან მკვეთრად განსხვავდებიან. თუ მხედველობაში მივიღებთ წყლის არეში გამოყოფილ კოლოიდურ ნაწილში გახურებით გამოწვეული დანაკარგის მეტად მაღალ მაჩვენებელს (57%), შეიძლება დავასკვნათ, რომ ის უმთავრესად ორგანოგენული ბუნებისაა. ეს კოლოიდური ნაწილის მჟავე პირობების შემთხვევაშიც მტკიცდება. როგორც ჩანს, ამ პირობებში ჩვენ საქმე გვაქვს მაღალი აქტიურობის კოლოიდურ-დისპერსიულ ჰუმინურ ნივთიერებებთან.

სილიციუმის მჟავას მაქსიმუმი მჟავე დისპერსიული არის კოლოიდურ ნაწილშია ფიქსირებული. შუალედ ფრაქციებში მისი შემცველობა, დისპერსიის სამივე შემთხვევაში, სტაბილურია. ამასთან დაკავშირებით ვფიქრობთ, რომ წითელმიწებში სილიციუმისა და ჰუმინური ნივთიერებების მიგრაციის მექანიზმი ურთიერთ „დაცვით“ ხორციელდება. ყოველ შემთხვევაში, მკვლევართა აზრი ნივთიერებათა ორგანულ-მინერალური კომპლექსის სახით მოძრაობის შესახებ [9] ზემოთ მოყვანილი მონაცემებითაც მტკიცდება.

ამრიგად, ჩატარებული გამოკვლევების მიხედვით, ნიადაგის წვრილი დისპერსიული ნაწილის საყოველთაოდ მიღებული ხერხებით დათიშვა და მისი შედგენილობის ანალიზი არ იძლევა საკმაო წარმოდგენას ნიადაგთწარმოქმნის პროცესებზე. ძნელად დასაშვებია, რომ პეპტიზაციის მიზნით საანალიზო ნიმუშში მაღალი კონცენტრაციის ელექტროლიტის ხმარებამ დისოლიუციური ეფექტის, ჰიდროლიზისა თუ სხვა მოვლენების განვითარების გამო არ გამოიწვიოს კოლოიდური მიცელის ბუნებრივი აგებულების დარღვევა-შეცვლა. ჩვენი ექსპერიმენტული მასალის მიხედვით 0,1 ნორმალობის ნახშირმჟავა ლითიუმითაც კი დისპერგირებული კოლოიდები, რაოდენობრივად და თვისობრივადაც მკვეთრად განსხვავდებიან წყლისა და მჟავას არეებში გამოყოფილებისაგან. ეს იმ დროს, როდესაც განხილული ნიადაგთწარმოქმნის პროცესები, როგორც ცნობილია, აშკარად მჟავე პირობებში მიმდინარეობს (pH-4—6 მდე).

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, ნიადაგის ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლისას მხოლოდ შთანთქმული ფუძეების განსაზღვრა და ანიონური შთანთქმის უგულებელყოფა არ იძლევა ნათელ წარმოდგენას არც შთანთქმის ტევადობაზე და არც იმ პოტენციურად აქტიურ იონებზე, რომლებსაც არსებითი მნიშვნელობა აქვთ როგორც ნიადაგთწარმოქმნის, ისე ფიზიოლოგიურ პროცესებში. ამიტომ, ვეყრდნობით რა იმ მოსაზრებას, რომ ტუტე რეაქციის დისპერსიის არეში (0,1 ნორმ. Li_2CO_3) კოლოიდური ნაწილის შედარებით მაღალი გამოსავალი მეტწილად ახლად გამოლექილი გელების პეპტიზაციითაა უზრუნველყოფილი, შესაძლებლად მივაჩნია ზოგიერთი განზოგადება.

პირველ ყოვლისა აღსანიშნავია ორგანული ნივთიერებით მდიდარი ჰორიზონტებიდან და უჰუმუსო ფენებიდან გამოყოფილი კოლოიდური ფრაქციების მკვეთრი ურთიერთგანსხვავება. ეს გარემოება აუცილებლად მიღებულ უნდა იქნეს მხედველობაში, ვინაიდან ძვირფასი სუბტროპიკული კულტურებით ათვისებული ზოგიერთი ფართობის ნიადაგური საფარი გაშიშვლებულია და ალაგ-ალაგ გამოფიტვის ქერქამდეა დასული.

ზემოთ აღწერილ პროფილში არსებითად განვითარებულია სამი მკვეთრად განსხვავებული ნაწილი. ქ ვ ე დ ა — გამოფიტვის პირველ სტადიაში მყოფი, რომელშიაც სილიციუმის მჟავას უმეტესი ნაწილი შთანშთქავ კომპლექსშია მოქცეული და მას სიალიტურ ბუნებას აძლევს. მასში აქტიური კოლოიდების შემცველობა უმნიშვნელოა. ამ ფენას მოსდევს შუა — განსაკუთრებით საყურადღებო ნაწილი, მისთვის დამახასიათებელი დადებითი მუხტის კოლოიდური კომპლექსით. ამ შემთხვევაში წვრილი დისპერსიული ნაწილი დიდ რაოდენობას აღწევს და კათიონური შთანთქმაც საკმაოდაა განვითარებული.

რაც შეეხება ზ ე დ ა პ ი რ უ ლ, ჰუმუსურ ფენაში მიმდინარე პროცესებს, უკანასკნელი შემდეგნაირად გვაქვს წარმოდგენილი: ახლად წარმოქმნილი ორგანული მჟავები, აძევებენ რა ადრე შთანთქმულ ანიონებს, დაგროვების მხედვით აძლიერებენ შთანშთქავი კომპლექსის ელექტროუარყოფით ნაწილს. ამასთანავე, როგორც ჩანს, აქ ნაწილობრივ მეორადი კვარცის წარმოშობასაც აქვს ადგილი უფორმო კრისტალიზაციის უნარის მქონე სილიციუმის მჟავას ხარჯზე. ამ მოსაზრების მართებულებას სილიციუმის მჟავას ტუტე პირობებში უხსნადობის ფაქტითაც მტკიცდება. ამის გარდა, შესაძლებლად მიგვაჩნია მისი სხვა გზითაც წარმოშობა, კერძოდ ორგანული მჟავების შენაცვლებით. ყოველ შემთხვევაში, ასეა თუ ისე, პროცესის შემდგომმა განვითარებამ მაღალი აქტივობის ჰუმუსის შემწეობით უნდა გააღრმავოს გაეწრება, რომლის აშკარა ნიშნები საკმაოდ შესამჩნევია წითელმიწების განვითარების ახლანდელ სტადიაშიც კი.

დ ა ს კ ვ ნ ე ბ ი

1. წყლისა და სუსტი მჟავას დისპერსიული სისტემებიდან კოლოიდური ფრაქციის უმნიშვნელო რაოდენობა მიღებულია მხოლოდ ჰუმუსური ჰორიზონტის ნიმუშებიდან; დაახლოებით სამჯერ მეტი, თითქმის 5% იყო კოლოიდების გამოსავალი ლითიუმ იონით წინასწარ პეპტიზირებული იმავე ზედაპირული ჰორიზონტის ნიმუშიდან. ახლად გამოფიტული ღრმა ფენებიდან მიღებული კოლოიდები მინიმალური რაოდენობისაა (1,2—2,0%), ხოლო შუა ჰორიზონტები ამ მხრივ გარდამავალი მაჩვენებლებით ხასიათდება;

2. დაუთიშავ ნიმუშებთან შედარებით, Li იონით პეპტიზირებულ ფრაქციებში ნივთიერებათა განაწილება შემდეგ სურათს ამჟღავნებს: უმცირეს ნაწილაკებში სილიციუმის მჟავა მცირდება; ჰუმუსი—პირიქით, მისი მაქსიმუმი კოლოიდურ ფრაქციაზე მოდის; ალუმინიუმი მცირდება, ხოლო რკინა ნია-

დავის კოლოიდურ ფრაქციაში კლებულობს; ტიტანი ეცემა, ფოსფორი კი უმნიშვნელოდ მატულობს მცირე ზომის ნაწილაკებში. კირი აკუმულირებულია უწვრილეს ნაწილში;

3. წყლისა და სუსტი მჟავას დისპერსიულ არეებში აქტიური ჰუმუსის როლი მკვეთრად იზრდება;

4. ნიადაგთწარმოქმნასა და მასთან დაკავშირებით ნივთიერებათა გადაადგილებაში განსაკუთრებული როლი მიგრაციის მაღალი თვისებების მქონე კოლოიდურ ჰუმუსს ეკუთვნის. ჰუმუსის გარდა, არანაკლები „დამცველი“ მნიშვნელობა აქვს სილიციუმის ჟანგს. დასაშვებად მიგვაჩნია აგრეთვე მათი კომპლექსური ფორმით თანაარსებობა;

5. არც ერთი აგროტექნიკური ღონისძიება, ეხება ის ქიმიზაციის თვისობრივს თუ ნორმების მხარეს, ეროზიის საწინააღმდეგო ხერხებს თუ ნიადაგის დამუშავებას, არ შეიძლება ერთგვარად განზოგადებულ იქნეს წითელმიწებზე მათი ამა თუ იმ ვარიანტის პროფილის თავისებურებათა ანგარიშგაუწევლად. ორგანულ სასუქებს განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს არა მარტო დარეცხილ ფართობებზე; ისინი უთუოდ უფრო ეფექტურს ხდიან მინერალური სასუქების გამოყენებას;

6. მოკირიანებას სერიოზული მნიშვნელობა აქვს მკვეთრად გამოსახულ გაეწრებულ სხვაობებზე მაგრამ მისი ნორმების შემუშავება სხვა მეთოდებს უნდა ემყარებოდეს, ნიადაგების შთანმთქავი კომპლექსისა და გავრცელებულ კულტურათა ფიზიოლოგიური სპეციფიკურობის შესაბამისად.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ნიადაგმცოდნეობის, აგროქიმიისა და
მელიორაციის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 14.2.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. И. Н. Антипов-Каратаев, А. П. Вишняков и В. Г. Сочеванов. Связывание анионов PO_4 почвами и их компонентами при различных значениях pH. Труды ЛОВИУАА, В. 23. 1933.
2. И. Н. Антипов-Каратаев и А. И. Рабинерсон. Перезарядка почв кислотами и связывание анионов. Труды ЛОВИУАА, В. 17, 1938.
3. А. С. Вознесенский и А. Б. Арцруни. Физико-химические свойства почвы как фактор поверхностного смыва. ЗакГИЗ, 1935.
4. В. А. Ковда. Валовой состав коллоидной фракции в солонцах Заволжья. Проблемы советского почвоведения. Сб. 7, 1939.
5. გ. კოსტავა. აჭამეთის მემინდვრეობის საცდელი სადგურის ნიადაგების გენეზისი და აგროსაწარმოო თვისებები. აჭამეთის მემინდვრეობის საცდელი სადგურის შრომები. ტომი I, 1947.
6. ლ. ნაკაშიძე. მასალები ტყის ყომრალი ნიადაგების მინერალური შედგენილობის შესწავლისათვის. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტომი XI, № 7, 1950.
7. Б. Б. Полынов и Л. И. Троицкий. Обмен поглощенных анионов в красноцветных почвах Алжарии. ДАН СССР, IV, № 1—2, 1935.
8. А. А. Роде. О химическом составе механических фракций... Труды почвенного института им. В. В. Докучаева. т. VIII, в 3.
9. А. Ф. Тюлин. Наука о почвенных коллоидах и очередные задачи соцземледелия. Сборник физико-химических исследований почв и удобрений, 1938.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე. ტ. XIII, № 6, 1952

ფიზიოლოგია

ა. როიტბაკი და ს. ხეჩინაშვილი

საყნოსავი ბოლქვის ელექტრული აქტივობის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიკოსმა ი. ბერიტაშვილმა 8.3.1952)

ე. ედრიანმა გამოაქვეყნა წერილი „ძუძუმწოვართა საყნოსავი ბოლქვის ელექტრული აქტივობა“ [1]. ამ გამოკვლევის ძირითადი ფაქტობრივი მონაცემები შეიძლება შემდეგნაირად ჩამოვაყალიბოთ: შინაური კურდღლის საყნოსავი ბოლქვიდან აღირიცხება ორი სახის ელექტრული რხევები: ა) დიდი ამპლიტუდის მქონე სინუსოიდური რხევები, რომელთა სიხშირე სეკუნდში დაახლოებით 50-ს უდრის და ბ) არარეგულარული რხევები, სიხშირით 70—110 სეკუნდში.

შემოკლების მიზნით ჩვენ პირველი სახის რხევებს ვუწოდებთ რიტმს 50 სეკუნდში, ხოლო მეორე ტიპისას — რიტმს 100 სეკუნდში. რიტმი 50 სეკუნდში აღმოცენდება მხოლოდ ძლიერ ყნოსვით გაღიზიანებათა საპასუხოდ; ამ დროს სინუსოიდურ რხევათა ჯგუფი ჩვეულებრივ შესუნთქვის მომენტში აღირიცხება. რიტმი 100 სეკუნდში განუწყვეტლივ აღმოცენდება და შეიძლება იგი არ იცვლებოდეს ყნოსვით გაღიზიანებათა ზეგავლენით; გამომყვან ელექტროდთა ზოგიერთ მდებარეობისას ყნოსვითი გაღიზიანების საპასუხოდ შეიძლება აღინიშნოს ამ რიტმის რხევათა შესუსტება სინუსოიდური რიტმის (50 სეკუნდში) ჯგუფებს შორის შუალედებში; ყნოსვითი გამაღიზიანებლის ხანგრძლივი მოქმედებისას თავდაპირველად შესუსტებული რიტმი 100 სეკუნდში თანდათანობით უბრუნდება პირვანდელ დონეს; სინუსოიდური რიტმის (50 სეკუნდში) ხასიათი და ამპლიტუდა არ იცვლება ყნოსვითი გამაღიზიანებლის ხანგრძლივი მოქმედებისას.

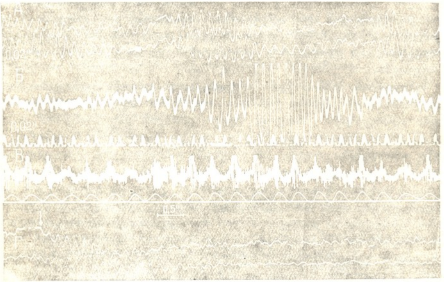
აღნიშნული ფაქტების საფუძველზე ე. ედრიანს გამოყავს თეორიული ხასიათის შემდეგი დასკვნები: ა) სინუსოიდური რხევები (50 სეკუნდში) განიხილება როგორც საყნოსავი ბოლქვის მიტრალურ უჯრედთა დიდი ჯგუფის სინქრონული აგზნების გამოვლინება; ბ) არარეგულარული რხევები რიტმისა 100 სეკუნდში განიხილება როგორც ბოლქვის ნეირონთა ასინქრონული „სპონტანური“ აგზნების შედეგი (უმთავრესად — მოკლე აქსონიან ნეირონთა).

მიღებული მონაცემების საფუძველზე ე. ედრიანი ახლებურად ხსნის ყნოსვითი გაღიზიანებისადმი ადაპტაციის მექანიზმს. მისი კონცეფციის თანახმად, რიტმს 100 სეკუნდში მიეწერება შემაკავებელი გავლენა „ინდუცირებული ტალღების“ მიმართ (რიტმისა 50 სეკუნდში); ე. ედრიანი ატარებს ანალოგიას

მის მიერ საყნოსავი ბოლქვის მიმართ დადგენილ ფაქტებსა და რიგ ცნობილ ფაქტებს შორის, რომლებიც დიდი ტვინის ქერქის ფიზიოლოგიას შეეხება (მაგალითად, ადამიანის ალფა-რიტმის შეცვლის შესახებ ხანგრძლივ გარეშე გაღიზიანებათა ზეგავლენით).

ჩვენ გავიმეორეთ ე. ედრიანის ცდები და დავადასტურეთ მის მიერ აღწერილი ფაქტების უმრავლესობა, მაგრამ მიღებულ შედეგთა ანალიზმა სრულებით მოულოდნელ შედეგებამდე მიგვიყვანა.

როგორც ე. ედრიანი, ჩვენც აღვრიცხავდით შინაური კურდღლის საყნოსავი ბოლქვიდან ორი სახის რხევებს — სინუსოიდურ რხევებს სიხშირით 50 სეკუნდში და რიტმს 100 სეკუნდში; მაგრამ გამოირკვა, რომ ასეთი პოტენციალები აღირიცხება არა მხოლოდ ბოლქვიდან, არამედ მის ირგვლივ მყოფი ძვლებიდანაც (სურ. 1, A). სურათზე 1, Б მოყვანილია ტიპობრივი ჯგუფი სინუსოიდური რხევებისა (50 სეკუნდში).



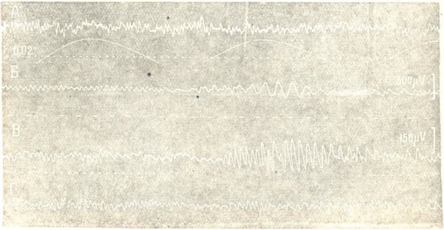
სურ. 1. A — პოტენციალები აღირიცხება მიკროელექტროდებით მარჯვენა საყნოსავი ბოლქვის სიღრმიდან (ქვედა მრუდი) და ხემსისმაგვარი ელექტროდებით ცხვირის ძვლებიდან მარჯვნივ (ზედა მრუდი); Б — პოტენციალები აღირიცხება ძვლებიდან საყნოსავი ბოლქვის მიდამოში; В — პოტენციალები აღირიცხება ძვლებიდან საყნოსავი ბოლქვის მიდამოში (ზედა მრუდი) ერთდროულად აღირიცხება გულმკერდის სუნთქვითი მოძრაობები (ქვედა მრუდი); Г — გაგრძელებაა A ჩანაწერისა ისრით აღნიშნულ მომენტში ცხოველს შეესუნთქა ამილ-აცეტატი. ყველა ცდა ჩატარებულია შინაურ კურდღლებზე

ელექტრულ პოტენციალთა და გულ-მკერდის სუნთქვით მოძრაობათა ერთდროული რეგისტრაცია გვიჩვენებს, რომ ჯგუფები რხევებისა 50 სეკუნდში აღმოცენდება ყოველი ღრმა შესუნთქვის დროს, სპეციალურ ყნოსვით გაღიზიანებათა გარეშეც (სურ. 1, B). თუ შინაურ კურდღელს ტრაქეოტომიას გავუ-

კეთებთ და მას ტრაქეალური მილით ვასუნთქებთ, რიტმი 50 სეკუნდში არ აღირიცხება არც საყნოსავი ბოლქვიდან და არც მის ირგვლივ ძვლებიდან. იმავე ცხოველზე შეიძლება აღვრიცხოთ რიტმი 50 სეკუნდში, თუ ჰაერს ხელოვნურად გავუტარებთ ცხვირის ღრუში.

მოყვანილი ფაქტები მოწმობს, რომ სინუსოიდური რიტმის (50 სეკუნდში) აღმოცენების აუცილებელ პირობას შესუნთქული ჰაერის ცხვირის ღრუში გატარება წარმოადგენს.

საყნოსავი ბოლქვის ელექტრული აქტივობის მეორე ტიპი, ე. ი. რიტმი 100 სეკუნდში არაა დაკავშირებული სუნთქვასთან და კარგადაა გამოხატული ისეთ ცხოველზეც, რომელიც ტრაქეალური მილით სუნთქავს (სურ. 2, A).

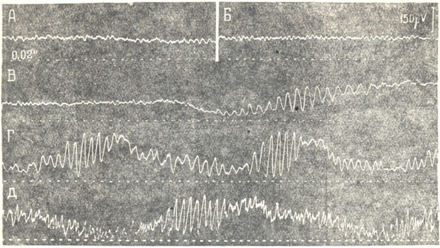


სურ. 2. A—ტრაქეოტომირებული შინაური კურდღელი, სუნთქავს ტრაქეალური მილით. პოტენციალები აღირიცხება საყნოსავი ბოლქვის ზემოთ მდებარე ძვლიდან. ერთდროულად აღირიცხება გულმკერდის სუნთქვითი მოძრაობა (ქვედა მრუდი); Б—სხვა ცხოველი, სუნთქავს ცხვირით. პოტენციალები აღირიცხება ძვლებიდან ცხვირის წვეტის მიდამოში; В—ტრაქეოტომირებული შინაური კურდღელი, სუნთქავს ცხვირით. პოტენციალები აღირიცხება საყნოსავი ბოლქვის ზემოთ მდებარე ძვლიდან; Г—გაგრძელება В ცდისა ცხოველი სუნთქავს ტრაქეალური მილით

ზოგჯერ ამ რხევათა სიხშირე სეკუნდში 150-ს აღწევს და ცალკეულ რხევებს სინუსოიდური ფორმა აქვს (სურ, 2, Б).

ჩვენი ყურადღება მიიქცია შემდეგმა ფაქტებმა: 1) სინუსოიდურ რხევათა (50 სეკუნდში) აღმოცენება სპეციალურ ყნოსვით გაღიზიანებათა გარეშე; 2) არაკანონზომიერი ხასიათი სინუსოიდური რიტმის (50 სეკუნდში) გაძლიერებისა და რიტმის 100 სეკუნდში შეკავებისა ყნოსვით გაღიზიანებათა ზეგავლენით; 3) გასაოცრად სწორი, თითქმის სინუსოიდური ფორმა რიტმისა 50 სეკუნდში (ზოგჯერ სინუსოიდურია რიტმიც 100 სეკუნდში). ასეთი გეომეტრიულად სწორი ფორმა არ ახასიათებს ტვინში აღმოცენებულ ელექტრულ რხევებს [2].

ჩვენ დავაყენეთ რიგი საკონტროლო ცდები ამ რხევათა ბუნების გამოსარკვევად: 1) გაშიშვლებულ საყნოსავ ბოლქვებს ვაცივებდით 0°-მდე ან ვწამლავდით კოკაინით (20% ხსნარით). ორივე შემთხვევაში საყნოსავი ბოლქვებიდან და თავისქალის ძვლებიდან კვლავ აღირიცხებოდა ელექტრული რხევები 50 სეკუნდში და 100 სეკუნდში (სურ. 3А—В); 2) ცხოველს სრულებით ვაცლიდით საყნოსავ ბოლქვებს. თუ ამ ოპერაციას ფაქიზად ვაწარმოებდით (ტვინის ამოსრუტვის გზით) თავისქალის ძვლებიდან კვლავ აღირიცხებოდა რიტმი 50 სეკუნდში (სურ. 3, Г); 3) საყნოსავი ბოლქვების ამოცლის შემდეგ ცხოველს ვაცლიდით თავის ტვინის დიდ ნაწილს (დეცებრაცია). ამის შემდეგ ისევ აღირიცხებოდა ორივე ტიპის რხევები — 50 სეკ-ში და 100 სეკ-ში (სურ. 3, В).



სურ. 3. ცდები А — В ჩატარებულია ტრაქეოტომირებულ, დაუნარკოზებელ შინაურ კურდღელზე. პოტენციალები აღირიცხება საყნოსავი ბოლქვიდან: А — ცხოველი სუნთქავს ტრაქეალური მილით; Б — იგივე საყნოსავი ბოლქვების კოკაინით მოწამვლის შემდეგ (20%-ანი ხსნარით); В — გაგრძელება Б ცდისა, ცხოველი სუნთქავს ცხვირით; Г — დაუნარკოზებელი შინაური კურდღელი, რომელსაც ამოცლილი აქვს საყნოსავი ბოლქვები. პოტენციალები აღირიცხება ცხვირის ძვლებიდან; Д — დეცერებრირებული შინაური კურდღელი, რომელსაც ამოცლილი აქვს საყნოსავი ბოლქვები. პოტენციალები აღირიცხება ცხვირის ძვლებიდან

მოყვანილი ცდები მოწმობს, რომ რეგულარული რხევები 50 სეკუნდში არ შეიძლება მივიჩნიოთ საყნოსავი ბოლქვის ნერვულ ელემენტთა მოქმედების გამოვლინებად და საერთოდ — ტვინის ქსოვილის მოქმედების შედეგად. სინუსოიდური რიტმის (50 სეკუნდში) წარმოქმნის დასადგენად, ტრაქეოტომირებულ კურდღლებს ფართოდ ვუხსნიდით ცხვირის ღრუს და ჰაერის ნაკადით ვმოქმედებდით მის სხვადასხვა უბანზე. გამოირკვა, რომ სინუსოიდური რხევები 50 სეკუნდში აღმოცენდება მხოლოდ მაშინ, როდესაც ჰაერის ნაკადი ცხვირის ნიჟარების უკანა კომპლექსზე მოქმედებს. ამ ნიჟარების ან მათთან

კონტაქტში მყოფი ცხვირის ძგიდის მსუბუქი ტრავმის შემდეგაც კი სინუსოიდური რხევები აღარ აღმოცენდება (მაშინაც კი, როდესაც ჰაერის ნაკადს საყნოსავ ნაპრალში მივმართავთ, რომელიც განსაკუთრებით მდიდარია ყნოსვის რეცეპტორებით). ეს ცდა ამტკიცებს, რომ რხევები რიტმისა 50 სეკუნდში არ წარმოადგენს ყნოსვის რეცეპტორების ან საყნოსავი ნერვის ბოჭკოთა აგზნების ბიოდენებს.

ამრიგად, სავსებით ცხადია, რომ რიტმი 50 სეკუნდში ფიზიკური მოვლენაა, რომელიც ცხვირის გარკვეულ სტრუქტურათა ვიბრაციით უნდა იყოს გამოწვეული.

შეიძლება ითქვას, რომ რიტმი 100 სეკუნდში აგრეთვე არტეფაქტს უნდა წარმოადგენდეს. ის გარემოება, რომ აღნიშნული რიტმი ზოგჯერ სუსტდება სინუსოიდურ (50 სეკუნდში) რხევათა აღმოცენებისას, ფიზიკური მოვლენებით უნდა აიხსნას; ამას მოწმობს ცდები, მოყვანილი სურ. 3, Б და В-ზე; ხშირი რიტმი სუსტდება ცხვირით სუნთქვისას, როდესაც აღმოცენდება რხევები რიტმისა 50 სეკუნდში იმ შემთხვევაშიც, როდესაც საყნოსავი ბოლქვები კოკაინითაა მოწამლული.

ამრიგად, თითქმის ყველა ფაქტი, აღწერილი ე. ედრიანის მიერ, მოკლებულია ინტერესს ნეიროფიზიოლოგიის თვალსაზრისით, ხოლო მისი თეორიული მოსაზრებები საყნოსავი ბოლქვის ნეირონულ ელემენტთა მოქმედებისა და ყნოსვითი გაღიზიანებისადმი ადაპტაციის მექანიზმის შესახებ უსაფუძვლოდ უნდა მივიჩნიოთ.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ფიზიოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 28.3.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. E. D. Adrian. EEG Clin. Neurophysiol., 2, 277, 1950.
2. Редакционная статья. Труды инст. физиологии АН Грузинской ССР, 8, 293, 1950.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 6, 1952

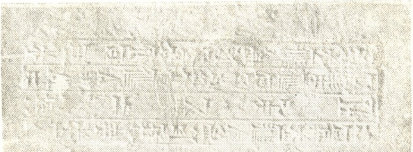
ისტორია

გ. მელიქიშვილი

საქართველოს მუზეუმის ბაბილონური წარწერა

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ნ. ბერძენიშვილმა 14.7.1951)

ს. ჯანაშიას სახელობის საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმში მოიპოვება დიდი ზომის აგური, რომელზედაც ამოკვეთილია ბაბილონეთის მეფის ნაბუქოდონოსორის (604—562 წწ. ჩ. წ-მდე), ბაბილონში ქალდეური დინასტიის დამფუძნებელ ნაბუპალასარის (626—604 წწ. ჩ. წ-მდე) ძის ლურსმული წარწერა.

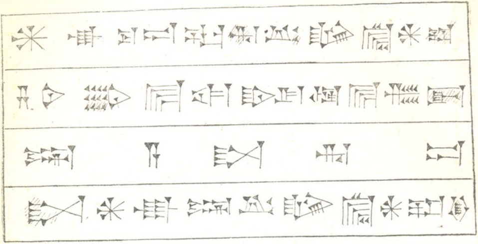


ნაბუქოდონოსორის ეპოქა, როგორც ცნობილია, ახალ-ბაბილონური სამეფოს ძლიერების გაფურჩქვნის მწვერვალს წარმოადგენს. წარმატებული ომების გვერდით, რომელსაც ბაბილონეთის ეს მეფე აწარმოებდა, ნაბუქოდონოსორი ცნობილია აგრეთვე თავისი ინტენსიური სამშენებლო საქმიანობით. იმ დიდ სამუშაოთა გარდა, რომელსაც ის ეწეოდა თავდაცვით ნაგებობათა მთელი სისტემის შექმნის მიზნით, ნაბუქოდონოსორი დიდ აღმშენებლობას აწარმოებდა თვით ქალაქ ბაბილონშიც, სადაც დიდი რაოდენობით აგებდნენ ან აღადგენდნენ სახლებს, სასახლეებს, ტაძრებს და სხვ ([1], გვ. 85—94; [2], გვ. 344—351; [3], გვ. 419—423). ნაბუქოდონოსორის ბევრი წარწერა მოგვითხრობს სწორედ მისი სამშენებლო საქმიანობის შესახებ. არაერთგზის ვხვდებით აგრეთვე მოკლე წარწერებს აგურებზე, სადაც აღნიშნულია ნაბუქოდონოსორის სახელი და მამის სახელი მოკლე ტიტულატურითურთ. სწორედ ამგვარ წარწერას წარმოადგენს წარწერა ჩვენს აგურზე.

კავკასიის მუზეუმის (ამჟამად—საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმი) საინვენტარო წიგნში № 26—05-ით (1905 წლის 2 მაისის ჩანაწერი) ჩვენი წარწერის შესახებ ნათქვამია: „От Бориса Ивановича Шелковникова (Росс. Имп. Вице-консул в Хаме (Бейруте) (в дар). Кирпич с 4-рядной штампованной клинообразной надписью, привезенный им из Вавилона“.

აგურს კვადრატული ფორმა აქვს, რომლის ყოველი გვერდის სიგრძე 33 სმ-ს უდრის. აგურის სისქეა 8 სმ. აგურის ცენტრში მოთავსებულია ოთხსტრიქონიანი ლურსმული წარწერა. სტრიქონები ურთიერთისაგან ხაზებითაა გამოყოფილი, მთლიანადაც წარწერა ჩარჩოშია მოთავსებული. წარწერას უკავია ფართობი სიგრძით—22 სმ და სიმაღლით 5 სმ.

წარწერა საინტერესოა, პირველ ყოვლისა, როგორც სამუზეუმო ექსპონატი—იგი საქართველოს მუზეუმის ერთადერთი ბაბილონური წარწერაა. წარწერის წაკითხვა სიძნელეს არ წარმოადგენს. ქვემოთ მოგვყავს ამ წარწერის ავტოგრაფია, ტრანსკრიფცია და თარგმანი.



1. ^{d}nabû-ku-du-úr-ri-uṣur šar bâbili
2. za-ni-in É·SAG·ILA ù É·ZI·DA
3. aplu a-ša-ri-du
4. ša ^{d}nabû-aplu-uṣur šar bâbili^{KI}

„ნაბუქოდონოსორი, მეფე ბაბილონისა, მარდუქისა და ნაბუს ტაძრებზე მზრუნველი, პირველი შვილი ნაბუპალასარისა, ბაბილონის მეფისა".

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ივ. ჯავახიშვილის სახელობის
ისტორიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 16.4 1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Б. А. Тураев. История Древнего Востока, II, 1936.
2. В. В. Струве. История Древнего Востока, 1941.
3. В. И. Авдиев. История Древнего Востока, 1948.

პასუხისმგებელი რედაქტორის მოადგილე ი. გიგინეიშვილი

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობის სტამბა, აკ. წერეთლის ქ. № 3/5
Типография Издательства Академии Наук Грузинской ССР, ул. Ак. Церетели № 3/5

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 10.6.1952 — საალრიცხვო-საგამომცემლო ფურცელი 5
ანაწყობის ზომა 7×11 — ნაბეჭდი ფორმა 5,5
შეკვ. 10... — უე 02691 — ტირაჟი 1000

~~28/88~~

ა 55/32.

ფასი 5 მან.

დამტკიცებულია
საქართველოს სსრ მეცნ. აკად. პრეზიდიუმის მიერ
22.10.1947

დებულება „საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბის“ შესახებ

1. „მოამბეში“ იბეჭდება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მეცნიერი მუშაკებისა და სხვა მეცნიერთა წერილები, რომლებშიც მოკლედ გადმოცემულია მათი გამოკვლევების მთავარი შედეგები.

2. „მოამბეს“ ხელმძღვანელობს სარედაქციო კოლეგია, რომელსაც ირჩევს საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის საერთო კრება.

3. „მოამბე“ გამოდის ყოველთვიურად (თვის ბოლოს), გარდა ივლის-აგვისტოს თვისა— ცალკე ნაკვეთებად, დაახლოებით 5 ბეჭდური თაბახის მოცულობით თითოეული. ერთი წლის ყველა ნაკვეთი (სულ 10 ნაკვეთი) შეადგენს ერთ ტომს.

4. წერილები იბეჭდება ქართულ ენაზე, იგივე წერილები იბეჭდება რუსულ ენაზე პარალელურ გამოცემაში.

5. წერილის მოცულობა, ილუსტრაციების ჩათვლით, არ უნდა აღემატებოდეს 8 გვერდს. არ შეიძლება წერილების დაყოფა ნაწილებად სხვადასხვა ნაკვეთში გამოსაქვეყნებლად.

6. მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრებისა და წევრ-კორესპონდენტების წერილები უშუალოდ გადაეცემა დასაბეჭდად „მოამბის“ რედაქციას, სხვა ავტორების წერილები კი იბეჭდება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრის ან წევრ-კორესპონდენტის წარმოდგენით. წარმოდგენის გარეშე შემოსულ წერილებს რედაქცია გადასცემს აკადემიის რომელიმე ნამდვილ წევრს ან წევრ-კორესპონდენტს განსახილველად და, მისი დადებითი შეფასების შემთხვევაში, წარმოსადგენად.

7. წერილები და ილუსტრაციები წარმოდგენილი უნდა იქნეს ავტორის მიერ სავსებით გამზადებული დასაბეჭდად. ფორმულები მკაფიოდ უნდა იყოს ტექსტში ჩაწერილი ხელით. წერილის დასაბეჭდად მიღების შემდეგ ტექსტში არავითარი შესწორებისა და დამატების შეტანა არ დაიშვება.

8. დამოწმებული ლიტერატურის შესახებ მონაცემები უნდა იყოს შეძლებისდაგვარად სრული: საჭიროა აღინიშნოს ჟურნალის სახელწოდება, ნომერი სერიისა, ტომისა, ნაკვეთისა, გამოცემის წელი, წერილის სრული სათაური; თუ დამოწმებულია წიგნი, სავალდებულოა წიგნის სრული სახელწოდების, გამოცემის წლისა და ადგილის მითითება.

9. დამოწმებული ლიტერატურის დასახელება წერილს ბოლოში ერთვის სიის სახით. ლიტერატურაზე მითითებისას ტექსტში ან შენიშვნებში ნაჩვენები უნდა იქნეს ნომერი სიის მიხედვით, ჩასმული კვადრატულ ფრჩხილებში.

10. წერილის ტექსტის ბოლოს ავტორმა უნდა აღნიშნოს სათანადო ენებზე დასახელება და ადგილმდებარეობა დაწესებულებისა, სადაც შესრულებულია ნაშრომი. წერილი თარიღდება რედაქციაში შემოსვლის დღით.

11. ავტორს ეძლევა გვერდებად შეკრული ერთი კორექტურა მკაცრად განსაზღვრული ვადით (ჩვეულებრივად, არა უმეტეს ერთი დღისა). დადგენილი ვადისთვის კორექტურის წარმოუდგენლობის შემთხვევაში რედაქციას უფლება აქვს შეაჩეროს წერილის დაბეჭდვა, ან დაბეჭდოს იგი ავტორის ვიზის გარეშე.

12. ავტორს უფასოდ ეძლევა მისი წერილის 50 ამონაბეჭდი (25 ამონაბეჭდი თითოეული გამოცემიდან) და თითო ცალი „მოამბის“ ნაკვეთებისა, რომლებშიაც მისი წერილია მოთავსებული.

რედაქციის მისამართი: თბილისი, ძერჟინსკის ქ., 8.

СООБЩЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК ГРУЗИНСКОЙ ССР, Т. XIII, № 6, 1952

Основное, грузинское издание