საქართველოს სსრ

მეცნიერებათა აკადემიის

მოამბე

ტომი XIII, № 3

ძირითადი, ქართული გამოცემა

1952

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა
თბილისი

შინაარსი

მათემატიკა

დრეკადობის თეორია

ფიზიკა

პალეობიოლოგია

ტექნიკა

ნიადაგმცოდნეობა

ენტომოლოგია

არქეოლოგია

მათემატიკა

მ. ვიშიკი

პირველი სასაზღვრო ამოცანის შესახებ ოპერატორული კოეფიციენტებიან ელიფსურ დიფერენციალურ განტოლებათათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ი. ვეკუამ 6.4.1951)

1. განვიხილოთ n-განზომილებიანი სივრცის შემოსაზღვრულ არეში დიფერენციალური განტოლება[1]

$$Lu \equiv -\sum_{l,k=1}^{n} \frac{\partial}{\partial x_l} A_{lk} \frac{\partial}{\partial x_k} u(x) + \sum_{l=1}^{n} \left(B_l \frac{\partial}{\partial x_l} + \frac{\partial}{\partial x_l} C_l \right) u(x) + Fu(x) = f(x), \tag{1}$$

სადაც A_{lk}, B_l, C_l, F შემოსაზღვრული ოპერატორებია[2] უნიტარულ $\mathfrak{H}$ სივრცეში კომპლექსური ფუნქციებისა, რომელნიც კვადრატ ინტეგრებადი არიან D არეში; $x=(x_1,\ldots, x_n)$ სკალარული ნაწარმოები $\mathfrak{H}$ სივრცეში მოიცემა ფორმულით:

$$[u(x), v(x)] = \int_D \cdots \int u(x) \overline{v(x)}\, dx. \tag{2}$$

A ოპერატორის შეუღლებულ ოპერატორს ჩვენ აღვნიშნავთ A^*-ით. A ოპერატორის განსაზღვრის არე აღინიშნება Ω_A-თი, ხოლო ამ ოპერატორის ცვალების არე—R_A-თი: $R_A = A\Omega_A$.

$\Omega^0(D)$-თი ჩვენ აღვნიშნავთ ყველა კომპლექსურ $u^0(x)$ ფუნქციათა სიმრავლეს, რომელთაგან ყოველი უსასრულოდ წარმოებადია და ნულად იქცევა D არის რაიმე სასაზღვრო ზოლში.

იმ ოპერატორთა შესახებ, რომელნიც (1) განტოლებაში შედიან, ჩვენ ვუშვებთ, რომ:

1) ყოველ $v^0(x) \in \Omega^0(D)$ ფუნქციისათვის $A_{lk}v^0(x)$ და $C_l v^0(x)$ ფუნქციები უწყვეტად წარმოებადი არიან x_l კოორდინატის მიმართ D არეში, ხოლო $A^*_{lk}v^0(x)$ და $B^*_k v^0(x)$ ფუნქციები უწყვეტად წარმოებადი არიან x_k კოორდინატის მიმართ D არეში, ამასთანავე

$$\frac{\partial}{\partial x_l} A_{lk}v^0(x) \in \mathfrak{H}, \quad \frac{\partial}{\partial x_l} C_l v^0(x) \in \mathfrak{H}, \quad \frac{\partial}{\partial x_k} A^*_{lk}v^0(x) \in \mathfrak{H}, \quad \frac{\partial}{\partial x_k} B^*_k v^0(x) \in \mathfrak{H};$$

---

[1] მე-8 პუნქტში ჩვენ ვუჩვენებთ რა სახის განტოლებებზე, გარდა (1), და რა პირობებში გავრცელდება ყველა ქვემომოყვანილი შედეგი.

[2] კერძოდ, ესენი შეიძლება იყვნენ ოპერატორები ფუნქციაზე (საზოგადოდ, კომპლექსურზე) გარდამავლებისა და ჯამი ასეთი ოპერატორებისა და ინტეგრალური ოპერატორებისა.

2) ყოველი $u^0(x) \in \Omega^0(D)$ ფუნქციისათვის შესრულებულია უტოლობა

$$\sum_{l,k=1}^{n}\left[(A_{lk}+A_{kl}^*)\frac{\partial u^0(x)}{\partial x_l},\ \frac{\partial u^0(x)}{\partial x_k}\right] \geqq \mu \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\partial u^0(x)}{\partial x_i},\ \frac{\partial u^0(x)}{\partial x_i}\right], \qquad (3)$$

სადაც μ რაღაც მუდმივია, დამოუკიდებელი $u^0(x)$-საგან.

შენიშვნა. ყველაფერი ქვემოაღნიშნული ძალაში რჩება მაშინაც, როცა (3) უტოლობა შესრულებულია არა A_{lk} ოპერატორებისთვის, არამედ $A'_{lk} = A_{lk} - v_{lk}$ ოპერატორისათვის, სადაც v_{lk} რაიმე სავსებით უწყვეტი ოპერატორებია. მიუხედავად ამისა, წერის შემოკლებისთვის, ჩვენ ჩავატარებთ მსჯელობას იმ დაშვებით, რომ ადგილი აქვს (3) უტოლობას.

(1) განტოლებისათვის განიხილება პირველი ერთგვაროვანი სასაზღვრო ამოცანა: ვიპოვოთ (1) განტოლების ისეთი ამოხსნა, რომელიც აკმაყოფილებს სასაზღვრო პირობას

$$u|_\Gamma = 0, \qquad (4)$$

სადაც Γ საზღვარია D არისა, ამასთან ჩვენ ვგულისხმობთ, რომ $u(x)$ ფუნქცია აკმაყოფილებს (4) პირობას, თუ იგი მას აკმაყოფილებს ს. სობოლევის აზრით (იხ. [1] ან [3]).

2. (1) განტოლებისათვის პირველი სასაზღვრო ამოცანის ამოხსნადობის თეორემის ჩამოყალიბებამდე დავამტკიცოთ რამდენიმე ლემა.

შემოვიღოთ ოპერატორი G^0

$$G^0u^0(x) = \left(\frac{\partial u^0(x)}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial u^0(x)}{\partial x_n}\right),$$

რომელიც განსაზღვრულია $\Omega^0(D)$ არეზე; $G^0u^0(x)$ და $G^0v^0(x)$ ვექტორთა სკალარული ნამრავლი განვსაზღვროთ ფორმულით

$$\{G^0u^0(x),\ G^0v^0(x)\} = \frac{1}{2}\sum_{l,k=1}^{n}\left[(A_{lk}+A_{kl}^*)\frac{\partial u^0(x)}{\partial x_k},\ \frac{\partial v^0(x)}{\partial x_l}\right]. \qquad (5)$$

$G^0u^0(x)$ სახის ვექტორთა მრავალსახეობა, რომელშიაც სკალარული ნამრავლი განსაზღვრულია (5) ფორმულით, აღვნიშნოთ $R^0(D)$-თი. (3) უტოლობის ძალით,

$$\{G^0u^0(x),\ G^0u^0(x)\} \geqq \mu_2 \sum_{i=1}^{n}\left[\frac{\partial u^0(x)}{\partial x_i},\ \frac{\partial u^0(x)}{\partial x_i}\right] \geqq \mu_1\,[u^0(x),\ u^0(x)]^{(1}, \qquad (6)$$

საიდანაც გამომდინარეობს, რომ G^0 ოპერატორს, რომელიც $\Omega^0(D)$-ს ასახავს $R^0(D)$-ზე, აქვს შემოსაზღვრული შებრუნებული ოპერატორი $(G^0)^{-1}$.

აღვნიშნოთ $R(D)$-თი $R^0(D)$ მრავალსახეობის შეკვრა, G-თი — G^0 ოპერატორის შეკვრა: $\overline{G^0} = G$. რადგან G^0 ოპერატორს აქვს შემოსაზღვრული შებრუნებული, ამიტომ G ოპერატორის განსაზღვრის არე R_G ემთხვევა $R(D)$-ს: $R_G = R(D)$.

(1 უკანასკნელი უტოლობა დამტკიცებულია, მაგალითად, [5] წიგნის VII თავში.

ყოველ ფუნქციას $u(x) \in \Omega_G$, ცხადია, გააჩნია ს. სობოლევის აზრით განზოგადებული წარმოებული. თუ არის საზღვარი Γ საკმაოდ გლუვია, მაშინ ყოველი ფუნქცია $u(x) = \Omega_G$ აკმაყოფილებს (4) ერთგვაროვან სასაზღვრო პირობას (იხ. [1]).

დავამტკიცოთ ახლა

ლემა 1. ოპერატორი G^{-1} სავსებით უწყვეტია, ხოლო $\frac{\partial}{\partial x_i}$ და G^{-1} ოპერატორთა ნამრავლი, ე. ი. $\frac{\partial}{\partial x_i} G^{-1}$, არის შემოსაზღვრული ოპერატორი.

დამტკიცება. A_{ik} ოპერატორების შემოსაზღვრულობის გამო არსებობს ისეთი M მუდმივი, რომ

$$\{G^0 u^0(x),\ G^0 u^0(x)\} \leqq M \sum_{i=1}^{n} \left[\frac{\partial u^0(x)}{\partial x_i},\ \frac{\partial u^0(x)}{\partial x_i}\right]. \tag{7}$$

აქედან და (7)-ის პირველი უტოლობიდან გამომდინარეობს, რომ მეტრიკა, რომელიც განსაზღვრულია (5) ფორმულით $R^0(D)$ მრავალსახეობაში, და მეტრიკა, განსაზღვრული ამავე მრავალსახეობაში (7) მარჯვენა მხარის ჯამით, ეკვივალენტურია. მაშასადამე, ორივე ეს მეტრიკა ეკვივალენტურია $R(D)$ სივრცეშიც, რომელიც შეკვრაა $R^0(D)$-სი. აქედან ვ. კონდრაშევის თეორემის ძალით ჩართვის ოპერატორის სავსებით უწყვეტობის შესახებ (იხ. [1]), გამომდინარეობს, რომ ოპერატორი G^{-1}, რომელიც $R(D)$-ს ასახავს Ω_G-ზე:

$$G^{-1}\left(\frac{\partial u}{\partial x_1}, \ldots, \frac{\partial u}{\partial x_n}\right) = u(x) \quad (u(x) \in \Omega_G),$$

არის სავსებით უწყვეტი.

შევნიშნოთ შემდეგ, რომ

$$\frac{\partial}{\partial x_i} G^{-1}\left(\frac{\partial u}{\partial x_1}, \ldots, \frac{\partial u}{\partial x_n}\right) = \frac{\partial u}{\partial x_i},$$

საიდანაც (7) უტოლობის ძალით გამომდინარეობს $\frac{\partial}{\partial x_i} G^{-1}$ ოპერატორის შემოსაზღვრულობა.

3. შემოვიღოთ ახლა დივერგენციის ტიპის ოპერატორი G^*, როგორც შეუღლებული ოპერატორი G ოპერატორისა. ვექტორი

$$Gu = \left(\frac{\partial u}{\partial x_1}, \ldots, \frac{\partial u}{\partial x_n}\right),$$

სადაც $u(x) \in \Omega_G$, ეკუთვნის G^* ოპერატორის განსაზღვრის არეს Ω_{G^*}, თუ არსებობს ისეთი ფუნქცია $h(x) \in \mathfrak{H}$, რომ

$$\{Gu(x),\ G^0 v^0(x)\} = [h(x),\ v^0(x)] \tag{8}$$

როგორიც არ უნდა იყოს $v^0(x) \in \Omega^0(D)$. ამ შემთხვევაში ჩვენ ავიღებთ $G^*(Gu) = h$. (8) დამოკიდებულის ძალით $G^* = (G^0)^*$, და რადგან $\overline{G^0} = G$, ამიტომ G^* შეუღლებული ოპერატორია G-სი: $G^* = (\overline{G^0})^* = (G)^*$.

1) პირობის ძალით ყოველი ვექტორი $Gu^0(x) \in R^0(D)$ ეკუთვნის Ω_G-ს, საიდანაც

$$G^*(Gu^0(x)) = -\frac{1}{2}\sum_{l,\,k=1}^{n} \frac{\partial}{\partial x_l}\,(A_{lk}+A^*_{kl})\,\frac{\partial}{\partial x_k}\,u^0(x). \tag{9}$$

სამართლიანია შემდეგი ლემა.

ლემა 2. ოპერატორი $(G^*)^{-1}$ სავსებით უწყვეტია, ხოლო G^{*-1} და $\frac{\partial}{\partial x_i}$ ოპერატორთა ნამრავლი, ე. ი. $G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}$ $(i=1, \ldots, n)$, წარმოადგენს შემოსაზღვრულ ოპერატორს. ამასთან $\frac{\partial}{\partial x_i}$ ოპერატორის განსაზღვრის არის $\Omega_{\frac{\partial}{\partial x_i}}$ ელემენტებად საკმარისია ვიგულისხმოთ ყველა ის უწყვეტი ფუნქცია $h(x)\in\mathfrak{H}$, რომელთაც აქვთ უწყვეტი წარმოებულები $\frac{\partial h(x)}{\partial x_i}\in\mathfrak{H}$.

დამტკიცება. G^{*-1} ოპერატორის სავსებით უწყვეტობა გამომდინარეობს იქიდან, რომ G^{*-1} ოპერატორი შეუღლებულია G^{-1}-თან, ეს უკანასკნელი კი, ლემა 1-ის ძალით, სავსებით უწყვეტია. $G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}$ ოპერატორის შემოსაზღვრულობა იქნება დადგენილი, თუ ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ იგი წარმოადგენს ნაწილს $-\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}$ ოპერატორის შეუღლებული ოპერატორისას: $G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}\subset\left(-\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}\right)^*$. ეს უკანასკნელი დამოკიდებულება მოწმდება უშუალოდ:

$$\left\{G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}\bar{h},\ G^0u^0\right\} = \left[\frac{\partial}{\partial x_i}\bar{h},\ u^0\right] = \left[\bar{h},\ -\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}G^0u^0\right], \tag{10}$$

სადაც u^0 ნებისმიერი ფუნქციაა $\Omega^0(D)$-სი. აქ ჩვენ ვისარგებლეთ დამოკიდებულებით $(G^{*-1})^* = G^{-1}$. (10) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ

$$G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}\subset\left(-\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}\right)^*.$$

შევნიშნოთ, რომ $\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}$ ოპერატორის შეკვრა $\overline{\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}} = \frac{\partial}{\partial x_i}G^{-1}$ და, მაშასადამე, $G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}\subset\left(-\frac{\partial}{\partial x_i}(G^0)^{-1}\right)^*$.

ზემოაღნიშნული ლემებიდან ადვილად გამომდინარეობს

ლემა 3. $R^0(D)$ მრავალსახეობაზე განხილული ოპერატორის

$$-\frac{1}{2i}\sum_{l,\,k=1}^{n} G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_i}\,(A_{lk}-A^*_{kl})\,\frac{\partial}{\partial x_k}\,G^{-1} = K \tag{11}$$

შეკვრა წარმოადგენს შემოსაზღვრულ და თვითშეუღლებულ ოპერატორს, ხოლო ამავე $R^0(D)$ მრავალსახეობაზე განხილული ოპერატორის

$$\sum_{l=1} G^{*-1}\left(B_l \frac{\partial}{\partial x_l}+\frac{\partial}{\partial x_l} C_l\right) G^{-1}+G^{*-1}FG^{-1}=T \tag{12}$$

შეკვრა წარმოადგენს სავსებით უწყვეტ ოპერატორს (რომელიც განსაზღვრულია მთელს $R(D)$ სივრცეზე).

დამტკიცება. უპირველეს ყოვლისა შევნიშნოთ, რომ 1) პირობის ძალით (11) და (12) ოპერატორები განსაზღვრულია $R^0(D)$-ზე, (11) ოპერატორის შემოსაზღვრულობა გამომდინარეობს იქიდან, რომ იგი წარმოადგენს შემოსაზღვრულ ოპერატორთა $\frac{\partial}{\partial x_k} G^{-1}$ (შემოსაზღვრულნი არიან ლემა 1-ის ძალით), $A_{lk}-A_{kl}^*$ და $G^{*-1}\frac{\partial}{\partial x_l}$ (შემოსაზღვრულნი არიან ლემა 2-ის ძალით) ნამრავლის ჯამს. (12) ოპერატორი სავსებით უწყვეტია იმიტომ, რომ იგი წარმოადგენს ორი შემოსაზღვრული და ერთი სავსებით უწყვეტი ოპერატორის ნამრავლთა ჯამს (მაგალითად, ოპერატორი $G^{*-1}B_l \frac{\partial}{\partial x_l} G^{-1}$ სავსებით უწყვეტია იმიტომ, რომ $\frac{\partial}{\partial x_l} G^{-1}$ და B_l შემოსაზღვრული ოპერატორებია, ხოლო G^{*-1} სავსებით უწყვეტი ოპერატორია).

დარჩა დავამტკიცოთ (11) ოპერატორის შეკვრის თვითშეუღლებულობა. იგი გამომდინარეობს მისი შემოსაზღვრულობიდან და სიმეტრიულობიდან $R^0(D)$ მრავალსახეობაზე. უკანასკნელი გარემოება მოწმდება უშუალოდ.

შევნიშნოთ, რომ T ოპერატორის შეუღლებული ოპერატორი T^* შემოსაზღვრულია, ამასთან

$$T^*=-\sum_{l=1}^{n} G^{*-1}\left(\frac{\partial}{\partial x_l} B^*+C_l^* \frac{\partial}{\partial x_l}\right) G^{-1}+G^{*-1}F^*G^{-1}. \tag{13}$$

4. აღვწეროთ ახლა L ოპერატორის განსაზღვრის არე Ω_L, რომელიც შეესაბამება (4) ნულოვან სასაზღვრო პირობას, ე. ი. ის მაქსიმალური მრავალსახეობა ფუნქციათა, რომლებიც აკმაყოფილებენ (გარკვეული აზრით) (4) სასაზღვრო პირობას და რომლებზედაც შეიძლება ვიმოქმედოთ L ოპერატორით $\mathfrak{H}$ სივრცეში.

განმარტება. $u(x)$ ფუნქცია ეკუთვნის Ω_L-ს, თუ $u(x)\in\Omega_G$ და ვექტორი

$$(E+i\overline{K}+\overline{T})\ Gu(x)\in\Omega_{G^*} \tag{14}$$

(ხაზი აღნიშნავს ჩაკეტვას; E ერთეულოვანი ოპერატორია). L ოპერატორის მნიშვნელობა $u(x)\in\Omega_L$ ფუნქციაზე განისაზღვრება ფორმულით

$$Lu(x)=G^*(E+i\overline{K}+\overline{T})\ Gu(x). \tag{15}$$

(9), (11) და (12) ფორმულების მიხედვით, ყოველი ფუნქციისათვის $u^0(x)\in\Omega^0(D)$ მნიშვნელობანი $Lu^0(x)$, გამოთვლილნი (1) და (15) ფორმულებით, ერთმანეთს ემთხვევა. ადვილია აგრეთვე შემოწმება, რომ ყოველი გლუვი ფუნქცია $u(x)$, რომლისთვისაც (1) განტოლების მარცხენა მხარეს აზრი აქვს, ამასთან $Lu(x)\in\mathfrak{H}$, ეკუთვნის Ω_L და მნიშვნელობები $Lu(x)$, გამოთვლილნი (1) და (15) ფორმულებით, ერთმანეთს ემთხვევა. ამგვარად, Ω_L აერთიანებს ყველა იმ $u(x)$ ფუნქციას, რომლებიც აკმაყოფილებენ (განზოგადებული აზრით) (4) ერთგვაროვან სასაზღვრო პირობას (ეს გამომდინარეობს იქიდან, რომ $\Omega_L\subset\Omega_G$) და რომლებზედაც შესაძლებელია აღებულ იქნეს L ოპერატორი.

განვიხილოთ (1) განტოლებასთან ერთად მასთან შეუღლებული (ფორმალურად) განტოლებაც

$$L^*v\equiv-\sum_{l,k=1}^{n}\frac{\partial}{\partial x_k}A^*_{lk}\frac{\partial}{\partial x_l}v(x)-\sum_{l=1}^{n}\left(\frac{\partial}{\partial x_l}B^*_l+C^*_l\frac{\partial}{\partial x_l}\right)v(x)+F^*v(x)=g(x). \qquad (16)$$

ანალოგიურად ზემოაღნიშნულისა, ჩვენ აღვწერთ L^* ოპერატორის განსაზღვრის Ω_{L^*} არეს, შესაბამისს (4) ნულოვანი სასაზღვრო პირობებისას, და L^* ოპერატორის მნიშვნელობას ფუნქციებზე $v(x)\in\Omega_{L^*}$:

$$L^*v(x)=G^*(E-i\overline{K}+\overline{T}^*)\;Gv(x), \qquad (17)$$

სადაც $\overline{T}^*$ ოპერატორი განსაზღვრულია (13) ფორმულით.

სამართლიანია შემდეგი

თეორემა. განტოლებებისათვის

$$\text{და}\quad Lu(x)=f(x)\qquad (u(x)\in\Omega_L) \qquad (18)$$

$$L^*v(x)=g(x)\qquad (v(x)\in\Omega_{L^*}), \qquad (19)$$

სადაც Lu და L^*_v მნიშვნელობები განსაზღვრულია (15) და (17) ფორმულებით, ადგილი აქვს ფრედჰოლმის ცნობილი სამი თეორემის ანალოგიურ თეორემებს (დაწვრილებითი ფორმულირება იხ. ჩემს ნაშრომში [3]).

სხვა სიტყვებით, პირველი სასაზღვრო ამოცანის შემთხვევაში (1) და (16) განტოლებებისათვის ადგილი აქვს აღნიშნულ სამ თეორემას.

დამტკიცება. ავიღოთ (18) და (19) განტოლების ორივე მხარიდან G^{*-1} ოპერატორი; მაშინ (15) და (17) ფორმულათა გათვალისწინებით მივიღებთ მათ ეკვივალენტურ შემდეგ განტოლებებს:

$$(E+i\overline{K}+\overline{T})\;Gu(x)=G^{*-1}f(x)\qquad (u(x)\in\Omega_L), \qquad (20)$$

$$(E-i\overline{K}+\overline{T}^*)\;Gv(x)=G^{*-1}g(x)\qquad (v(x)\in\Omega_{L^*}). \qquad (21)$$

რადგან ოპერატორი $\overline{K}$ თვითშეუღლებულია (ლემა 3 ძალით), ამიტომ ოპერატორებს $E+i\overline{K}$ და $E-i\overline{K}$ აქვთ შემოსაზღვრული შებრუნებული: $(E+i\overline{K})^{-1}$ და $(E-i\overline{K})^{-1}$. მაშასადამე, (20) და (21) განტოლებებს შეიძლება მივცეთ შემდეგი (მათი ეკვივალენტური) სახე:

$$(E+(E+i\overline{K})^{-1}\overline{T})\ \ Gu(x)=(E+i\overline{K})^{-1}G^{*-1}f(x)\qquad (u(x)\in\Omega_{\mathrm{L}}), \tag{22}$$

$$(E+\overline{T}^{*}(E-i\overline{K})^{-1})\ \ Gv'(x)=G^{*-1}g(x)\qquad (v'(x)\in\Omega_{G}), \tag{23}$$

ამასთან უკანასკნელ განტოლებაში ჩვენ ავიღეთ $(E-i\overline{K})\ Gv(x)=Gv'(x)$ ($E-i\overline{K}$ ოპერატორი, ცხადია, მოქმედებს $R(D)$ სივრცეში). საკმარისია ახლა შევნიშნოთ, რომ $(E+i\overline{K})^{-1}\overline{T}$ და $\overline{T}^{*}(E-i\overline{K})^{-1}$ არიან ურთიერთშეუღლებული და სავსებით უწყვეტი ოპერატორები (რადგან $\overline{T}$ და $\overline{T}^{*}$ სავსებით უწყვეტნი არიან). მაშასადამე, თუ (22) და (23) განტოლებებში $Gu(x)$ და $Gv'(x)$ ვექტორებს უცნობებად ჩავთვლით, მაშინ მათთვის, რ ი ს ი ს თეორიის ძალით, სამართლიანი იქნება ფრედჰოლმის სამი თეორემა. აქედან, ზემოაღნიშნული ეკვივალენტობის ძალით, ადვილია შემოწმება, რომ ამ სამ თეორემას ადგილი აქვს აგრეთვე (18) და (19) განტოლებებისათვის.

5. შევნიშნოთ ახლა, რომ თუ ერთგვაროვან განტოლებას $Lu(x)=0$ ($u\in\Omega_{\mathrm{L}}$) აქვს მხოლოდ ნულოვანი ამოხსნა, მაშინ, დამტკიცებული თეორემის ძალით, განტოლება $Lu(x)=f(x)$ ამოხსნადი იქნება ნებისმიერი მარჯვენა მხარისათვის $f(x)\in\mathfrak{H}$ და, მაშასადამე, L ოპერატორს აქვს შებრუნებული L^{-1}, რომელიც განსაზღვრულია მთელს $\mathfrak{H}$-ზე.

ვაჩვენოთ, რომ განსახილავ შემთხვევაში ოპერატორი L^{-1} სავსებით უწყვეტია. მართლაც, (20)-ის შესაბამ ერთგვაროვან განტოლებას: $(E+i\overline{K}+\overline{T})\ Gu=0$ აგრეთვე მხოლოდ ნულოვანი ამოხსნა აქვს და, მაშასადამე, $E+i\overline{K}+\overline{T}$ ოპერატორს (როგორც ჯამს შებრუნებადი $E+i\overline{K}$ ოპერატორისას და სავსებით უწყვეტი $\overline{T}$ ოპერატორისას) აქვს შემოსაზღვრული შებრუნებული $(E+i\overline{K}+\overline{T})^{-1}$. აქედან ოპერატორი $L^{-1}=G^{-1}(E+i\overline{K}+\overline{T})^{-1}G^{*-1}$ სავსებით უწყვეტია, რადგან იგი წარმოადგენს ნამრავლს ორი სავსებით უწყვეტი (G^{-1} და G^{*-1}) და ერთი შემოსაზღვრული ($(E+i\overline{K}+\overline{T})^{-1}$) ოპერატორებისას.

6. პირველი სასაზღვრო ამოცანა განტოლებისთვის

$$Lu(x)\equiv-\sum_{l,k=1}^{n}\frac{\partial}{\partial x_{l}}A_{lk}\frac{\partial}{\partial x_{k}}u(x)+Fu(x)=f(x), \tag{24}$$

რომელიც აკმაყოფილებს 1) და 2) პირობებს, გარდა ამისა $Re[Fu,u]\geqq 0$, ამოხსნადია ნებისმიერი მარჯვენა მხარისათვის $f(x)\in\mathfrak{H}$. მართლაც, ამ პირობებში $Re[Lu,u]>0$ ყოველი ფუნქციისათვის $u(x)\in\Omega_{\mathrm{L}}$, $u\neq 0$, და, მაშასადამე, ერთგვაროვან განტოლებას $Lu(x)=0$ ($u\in\Omega_{\mathrm{L}}$) აქვს მხოლოდ ნულოვანი ამოხსნა. n 5-ის ძალით, აქედან გამომდინარეობს, რომ (24) განტოლებას ნებისმიერი მარჯვენა მხარისათვის $f(x)\in\mathfrak{H}$ აქვს ერთადერთი ამოხსნა $u(x)\in\Omega_{\mathrm{L}}$, ამასთან სათანადო ოპერატორი L^{-1} სავსებით უწყვეტია.

7. თუ $A_{lk}=A_{kl}^{*}$ და $F=F^{*}$, მაშინ ოპერატორი $Lu(x)$, განხილული Ω_{L} არეზე, რომელიც შეესაბამება (4) ერთგვაროვან სასაზღვრო პირობებს, არის თვითშეუღლებული (ოპერატორთა თეორიის თვალსაზრისით). მართლაც, ამ შემთხვევაში $Lu=G^{*}Gu+Fu$ ($u\in\Omega_{\mathrm{L}}$) (შეად. [4]).

8. შევნიშნოთ, რომ შემდეგი სახის განტოლება

$$\sum_{l,k=1}^{n} \widetilde{A}_{lk} \frac{\partial^2}{\partial x_l \partial x_k} u + \cdots = f \tag{25}$$

მიიყვანება (1) სახემდე, თუ შესრულებულია კომუტატივობის შემდეგი პირობები:

$$\widetilde{A}_{lk} \frac{\partial}{\partial x_l} v - \frac{\partial}{\partial x_l} A_{lk} v = W_{lk} v, \tag{26}$$

სადაც W_{lk} შემოსაზღვრული ოპერატორია. იმისათვის, რომ ყველა ზემოთ გაკეთებული დასკვნა გავრცელდეს (25) განტოლების შემთხვევაში პირველ სასაზღვრო ამოცანაზე, საკმარისია მოვითხოვოთ (26) დამოკიდებულების შესრულება ყველა ფუნქციისათვის $v^0(x) \in \Omega^0(D)$ და 1), 2) პირობების შესრულება A_{lk} ოპერატორებისათვის.

ანალოგიური შენიშვნა შეიძლება გავაკეთოთ აგრეთვე შემდეგი სახის განტოლების მიმართ:

$$\sum_{l,k=1}^{n} \frac{\partial^2}{\partial x_l \partial x_k} \overline{A}_{lk} u + \cdots = f. \tag{27}$$

9. ზემომოყვანილ მსჯელობათა სავსებით ანალოგიურად შეიძლება განვიხილოთ პირველი სასაზღვრო ამოცანა $2m$ რიგის ოპერატორულკოეფიციენტებიანი განტოლებისათვის და $2m$ რიგის ოპერატორულკოეფიციენტებიან განტოლებათა სისტემისათვის (შეად. [3]) (უკანასკნელ შემთხვევაში $u(x)$-ის სახით, მაგალითად, (1) განტოლებაში, საჭიროა ვიგულისხმოთ ვექტორ-ფუნქცია).

პირველი სასაზღვრო ამოცანის დაწვრილებით განხილვას განტოლებათა სისტემის შემთხვევაში (რომელთა კოეფიციენტები ფუნქციებია) მიეძღვნება ცალკე წერილი.

(რედაქციას მოუვიდა 6.4.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. С. Л. Соболев. Некоторые применения функционального анализа в математической физике. Ленинград, 1950.
2. С. Л. Соболев. Об одной краевой задаче для полигармонических уравнений. Матем. Сб., т. 2 (44), 1937.
3. М. И. Вишик. О сильно эллиптических системах дифференциальных уравнений. ДАН, т. LXXIV, № 5, 1950.
4. K. Friedrichs. On differential operators in Hilbert Space, Amer. Journ. of Math., v. 61, p. 523, 1939.
5. Р. Курант и Д. Гильберт. Методы математической физики, т. 2, Москва. 1945.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 3, 1952

დრეკადობის თეორია

ა. რუხაძე

სხვადასხვა დრეკადი მასალისაგან შედგენილი ბუნებრივად დაგრეხილი პრიზმული ძელების გაჭიმვის ამოცანა

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. კუპრაძემ 25.10.1951)

როგორც ცნობილია, ერთგვაროვანი პრიზმული ძელების გაჭიმვის, გრეხვისა და ღუნვის ამოცანები კარგადაა შესწავლილი. იგივე ამოცანები სხვადასხვა დრეკადი მასალისაგან შედგენილი პრიზმული ძელებისათვის ზოგად შემთხვევაში პირველად ამოხსნილ იქნა აკადემიკოს ნ. მუსხელიშვილისა [1] და ჩვენ მიერ [2].

წინამდებარე შრომის მიზანია ზემოაღნიშნული ამოცანების განზოგადება ბუნებრივად დაგრეხილი შედგენილი ძელებისათვის.

ბუნებრივად დაგრეხილი ერთგვაროვანი ძელების გრეხისა და ღუნვის ამოცანები ძირითადად შესწავლილია ს. ტუმარკინის [3], პ. რიზის [4], ა. ლურიესა და გ. ჯანელიძის [5] და აგრეთვე ჩვენ მიერ [6].

წინამდებარე წერილში, ვსარგებლობთ რა მეთოდით, რომელიც აღწერილია შრომაში [2], ჩვენ ვიძლევით სხვადასხვა მასალისაგან შედგენილი ბუნებრივად დაგრეხილი პრიზმული ძელებისათვის გრძივი ძალით გაჭიმვის ამოცანის ამოხსნას.

1. ვთქვათ, გვაქვს ძელი, შედგენილი რიგი პარალელური მთლიანი ძელებისაგან, რომლებიც ერთმანეთს არ ეხებიან, მაგრამ მათ შორის და ძელების შემომსაზღვრელ ცილინდრულ ზედაპირს შორის მყოფი არე შევსებულია დრეკადი სივრცით. ცილინდრის მსახველები ძელების პარალელურია.

ვიგულისხმოთ აგრეთვე, რომ ძელის განივი კვეთები დაუძაბავ მდგომარეობაში მობრუნებულია ერთმანეთის მიმართ ისე, რომ მათი სიბრტყეები ურთიერთპარალელური რჩება.

კოორდინატთა სათავე მოვათავსოთ დამაგრებული ფუძის ინერციის განზოგადებულ ცენტრში[1], Oz ღერძი მივმართოთ ძელის გვერდითი ზედაპირის მსახველების პარალელურად, ხოლო Ox და Oy ღერძებად ავიღოთ აღნიშნული ფუძის ინერციის განზოგადებული მთავარი ღერძები.

ასეთი ძელის განივი კვეთი შედგება S_j ($j = 1, 2, \ldots, m$) არეებისაგან, რომლებიც ძელების განივ კვეთას შეესაბამებიან, და S_0 არისაგან, რომელიც შემომსაზღვრელ მასალას შეესაბამება. S_j ($j = 1, 2, \ldots, m$) არეების საზღვრები აღვნიშნოთ L_j-ით ($j = 1, 2, \ldots, m$), მაშინ S_0 არის საზღვარი იქნება შეკრული

[1] ამ ცნების განმარტება იხ. ქვემოთ.

$L_1, L_2, \ldots, L_{m+1}$ კონტურები, რომელთაგან უკანასკნელი შეიცავს თავის შიგნით ყველა დანარჩენს.

დავუშვათ აგრეთვე, რომ ძელის გვერდითი ზედაპირი თავისუფალია გარე ძალვებისაგან, გადაადგილების u, v და w კომპონენტები რჩება უწყვეტი, როდესაც გადავდივართ ერთი გარემოდან მეორეში, ხოლო ძალვები, რომლებიც მოქმედებენ სხვადასხვა მასალის არეთა საზღვრის ელემენტებზე, სიდიდით ტოლია და საწინააღმდეგოდაა მიმართული.

აღვნიშნოთ λ_j, μ_j, E_j, σ_j-ით $(j = 1, 2, \ldots, m)$ ძელების შესაბამისი დრეკადი მუდმივები, ხოლო λ_0, E_0, μ_0, σ_0-ით — შემომსაზღვრელი მასალის დრეკადი მუდმივები.

ვთქვათ, საწყისი მდებარეობის მიმართ z კვეთის მობრუნება ხასიათდება $\alpha(z)$ კუთხით; ჩვენ განვიხილავთ თანაბარ მობრუნებას, ე. ი. შემთხვევას, როცა

$$\alpha(z) = kz,$$

სადაც k მცირე პარამეტრია, რომლის კვადრატი და უფრო მაღალი ხარისხები შეიძლება უკუგდებულ იქნეს.

შევინარჩუნოთ პ. რ ი ზ ი ს [4] აღნიშვნები და შემოვიღოთ კოორდინატთა შემდეგი სისტემა:

$$\xi = x\cos\alpha(z) - y\sin\alpha(z), \quad \eta = x\sin\alpha(z) + y\cos\alpha(z), \quad \zeta = z,$$

რომელიც ჩვენს შემთხვევაში k^2 სიზუსტით გადაიწერება ასე:

$$\xi = x - kyz, \quad \eta = y + kxz, \quad \zeta = z. \tag{1.1}$$

ვთქვათ,

$$F_j(x - kyz,\ y + kxz) = 0 \quad (j = 1, 2, \ldots, m) \tag{1.2}$$

სხვადასხვა მასალის გამყოფ ზედაპირთა განტოლებებია, ხოლო

$$F_{m+1}(x - kyz,\ y + kxz) = 0 \tag{1.2'}$$

განსახილავი ძელის გვერდითი ზედაპირის განტოლება.

(ξ, η, ζ) სივრცეში (1.2) და (1.2′) ზედაპირთა განტოლებები მიიღებს სახეს:

$$F_j(\xi, \eta) = 0 \quad (j = 1, 2, \ldots, m + 1), \tag{1.3}$$

ე. ი. ყველა კვეთის $\alpha = kz$ კუთხით მობრუნება განსახილავ ძელს პრიზმულში გადაიყვანს.

დამოკიდებულებანი ξ, η, ζ და x, y, z კოორდინატებით წარმოებულებს შორის, ხსენებული სიზუსტით იქნება:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial \xi} + k\zeta\frac{\partial}{\partial \eta}, \quad \frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial \eta} - k\zeta\frac{\partial}{\partial \xi}, \quad \frac{\partial}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial \zeta} + k\left(\xi\frac{\partial}{\partial \eta} - \eta\frac{\partial}{\partial \xi}\right), \tag{1.4}$$

ვიპოვოთ აგრეთვე ზემოაღნიშნული სიზუსტით დამოკიდებულება (1.2), (1.2′) და (1.3) ზედაპირების ნორმალების მიმართულების კოსინუსებს შორის; ცხადია, რომ:

$$\cos\widehat{n_j x} = N_j\frac{\partial F_j}{\partial x}, \quad \cos\widehat{n_j y} = N_j\frac{\partial F_j}{\partial y}, \quad \cos\widehat{n_j z} = N_j\frac{\partial F_j}{\partial z},$$

სადაც

$$N_j = \left[\left(\frac{\partial F_j}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_j}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_j}{\partial z}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}}.$$

ჩვენს შემთხვევაში, k^2 სიზუსტით, გვაქვს:

$$N_j = \left[\left(\frac{\partial F_j}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial F_j}{\partial \eta}\right)^2\right]^{-\frac{1}{2}},$$

ამიტომ გვექნება:

$$\cos\widehat{n_j x} = \cos\widehat{n_j \xi} + k\zeta \cos\widehat{n_j \eta}, \quad \cos\widehat{n_j y} = \cos\widehat{n_j \eta} - k\zeta \cos\widehat{n_j \xi},$$
$$\cos\widehat{n_j z} = k\left(\xi \cos\widehat{n_j \eta} - \eta \cos\widehat{n_j \xi}\right). \tag{1.5}$$

ქვემოთ ჩვენ ვისარგებლებთ ამ ფორმულებით და წონასწორობის ძირითად განტოლებებსა და სასაზღვრო პირობებს გარდავქმნით ξ, η, ζ კოორდინატებში.

2. დამხმარე ამოცანა. იყოს $u^*(\xi, \eta)$ და $v^*(\xi, \eta)$ შემდეგი ბრტყელი ამოცანის ამოხსნა: $u^*(\xi, \eta)$ და $v^*(\xi, \eta)$ ფუნქციები აკმაყოფილებენ S_j $(j = 0, 1, \ldots, m)$ არეებში წონასწორობის ერთგვაროვან განტოლებებს:

$$(\lambda_j + \mu_j)\frac{\partial \theta^*}{\partial \xi} + \mu_j \Delta u^* = 0, \quad (\lambda_j + \mu_j)\frac{\partial \theta^*}{\partial \eta} + \mu_j \Delta v^* = 0, \quad \left(\theta^* \equiv \frac{\partial u^*}{\partial \xi} + \frac{\partial v^*}{\partial \eta}\right)$$

L_j $(j = 1, 2, \cdots, m)$ კონტურებზე აქვთ შემდეგი სახის წყვეტა:

$$u_j^* - u_0^* = (\sigma_j - \sigma_0)\,\xi, \quad v_j^* - v_0^* = (\sigma_j - \sigma_0)\,\eta, \tag{2.1}$$

ხოლო შესაბამისი ძაბვის X_x^*, Y_y^*, X_y^* კომპონენტები აკმაყოფილებენ სასაზღვრო პირობებს:

$$X_x^* \cos\widehat{n\xi} + X_y^* \cos\widehat{n\eta} = 0, \quad Y_x^* \cos\widehat{n\xi} + Y_y^* \cos\widehat{n\eta} = 0 \tag{2.2'}$$

L_{m+1} კონტურზე და პირობებს:

$$\begin{aligned}
&[X_x^* \cos\widehat{n\xi} + X_y^* \cos\widehat{n\eta}]_j = [X_x^* \cos\widehat{n\xi} + X_y^* \cos\widehat{n\eta}]_0, \\
&[Y_x^* \cos\widehat{n\xi} + Y_y^* \cos\widehat{n\eta}]_j = [Y_x^* \cos\widehat{n\xi} + Y_y^* \cos\widehat{n\eta}]_0
\end{aligned} \tag{2.2''}$$

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

ასეთ ამოცანას ყოველთვის აქვს ამოხსნა (იხ. [1], გვ. 584). $u^{**}(\xi, \eta)$, $v^{**}(\xi, \eta)$ და ასევე $u^{***}(\xi, \eta)$, $v^{***}(\xi, \eta)$ (ამათ შესაბამისად X_x^{**}, Y_y^{**}, X_y^{**} და X_x^{***}, Y_y^{***}, X_y^{***}) იყოს ამოხსნები ანალოგიური დამხმარე ამოცანებისა, რომლებშიაც სასაზღვრო (4.1) პირობები შეცვლილია, შესაბამისად, პირობებით:

$$u_j^{**} - u_0^{**} = -\frac{1}{2}(\sigma_j - \sigma_0)(\xi^2 - \eta^2), \quad v_j^{**} - v_0^{**} = -(\sigma_j - \sigma_0)\,\xi\eta, \tag{2.3'}$$

ან

$$u_j^{***} - u_0^{***} = -(\sigma_j - \sigma_0)\,\xi\eta, \quad v_j^{***} - v_0^{***} = -\frac{1}{2}(\sigma_j - \sigma_0)(\eta^2 - \xi^2). \tag{2.3''}$$

ვუწოდოთ S კვეთის ინერციის განზოგადებული ცენტრი ისეთ წერტილს, რომლის მიმართ ადგილი აქვს ტოლობებს:

$$\sum_{j=0}^{m} \iint\limits_{S_j} (E_j + \lambda_j \theta^*)\,\xi\, d\sigma = 0, \quad \sum_{j=0}^{m} \iint\limits_{S_j} (E_j + \lambda_j \theta^*)\,\eta\, d\sigma = 0, \tag{2.4}$$

როცა კოორდინატთა სათავე მოთავსებულია აღნიშნულ წერტილში.

მარტივად შეიძლება ჩვენება, რომ (2.4) ტოლობები ცალსახად განსაზღვრავს წერტილს—განზოგადებულ ცენტრს და აღნიშნულ წერტილში ყოველ-

თვის შეიძლება $O\xi$ და $O\eta$ ღერძების მიმართულების ასე არჩევა, რომ ადგილი ექნეს აგრეთვე ტოლობას:

$$\sum_{j=0}^{m} \iint_{S_j} (E_j + \lambda_j \theta^*)\, \xi\eta d\sigma = 0. \tag{2.5}$$

ასეთ შემთხვევაში ადგილი აქვს აგრეთვე ტოლობებს [1,2]:

$$\sum_{j=0}^{m} \iint_{S_j} (E_j\xi - \lambda_j \theta^{**})\, d\sigma = 0, \quad \sum_{j=0}^{m} \iint_{S_j} (E_j\eta - \lambda_j \theta^{***})\, d\sigma = 0,$$

$$\sum_{j=0}^{m} \iint_{S_j} (E_j\xi - \lambda_j \theta^{**})\, \eta d\sigma = 0, \quad \sum_{j=0}^{m} \iint_{S_j} (E_j\eta - \lambda_j \theta^{***})\, \xi d\sigma = 0. \tag{2.6}$$

3. გრძივი ძალით გაჭიმვის ამოცანა. ვიგულისხმოთ, რომ ძალები, რომლებიც მოქმედებენ თავისუფალ $\zeta = l$ ზედაპირზე, სტატიკურად ტოლფასია გამჭიმავი F ძალისა, რომელიც მოდებულია აღნიშნული ფუძის ინერციის განზოგადებულ ცენტრზე და $O\xi$ ღერძის პარალელურია.

გამოვიდეთ გადაადგილების ვექტორის მდგენელების შემდეგი მნიშვნელობებიდან:

$$u = - a\sigma_j\xi + au^* + aku_1, \quad v = - a\sigma_j\eta + av^* + akv_1, \quad w = a\zeta + akw_1, \tag{3.1}$$

რომლებიც $k = 0$ შემთხვევაში იძლევიან გადაადგილების ვექტორის მდგენელებს $F_j(\xi, \eta) = 0$ $(j = 1, 2, \ldots, m + 1)$ ზედაპირებით შემოსაზღვრული შედგენილი ძელის გრძივი ძალით გაჭიმვის ამოცანისათვის. აქ a მუდმივია, ხოლო u_1, v_1 და w_1—საძიებელი დამატებითი გადაადგილებები.

ძაბვის მდგენელები, რომლებიც შეესაბამებიან გადაადგილების ვექტორის (3.1) მდგენელებს, ნახსენები სიზუსტით, იქნება:

$$\begin{aligned}
X_x &= aX_x^* + ak\zeta \left[(\lambda_j + 2\mu_j) \frac{\partial u^*}{\partial \eta} - \lambda_j \frac{\partial v^*}{\partial \xi}\right] + ak\tau_{11}, \\
Y_y &= aY_y^* + ak\zeta \left[\lambda_j \frac{\partial u^*}{\partial \eta} - (\lambda_j + 2\mu_j) \frac{\partial v^*}{\partial \xi}\right] + ak\tau_{22}, \\
Z_z &= aE_j + a\sigma_j (X_x^* + Y_y^*) + ak\zeta\lambda_j \left(\frac{\partial u^*}{\partial \eta} - \frac{\partial v^*}{\partial \xi}\right) + ak\tau_{33}, \\
X_y &= aX_y^* + ak\mu_j\zeta \left(\frac{\partial v^*}{\partial \eta} - \frac{\partial u^*}{\partial \xi}\right) + ak\tau_{12}, \\
X_z &= ak\,\mu_j \left(\sigma_j\eta + \xi \frac{\partial u^*}{\partial \eta} - \eta \frac{\partial u^*}{\partial \xi}\right) + ak\tau_{13}, \\
Y_z &= ak\,\mu_j \left(- \sigma_j\xi + \xi \frac{\partial v^*}{\partial \eta} - \eta \frac{\partial v^*}{\partial \xi}\right) + ak\tau_{23},
\end{aligned} \tag{3.2}$$

სადაც $\tau_{11}, \tau_{22}, \ldots, \tau_{23}$ ძაბვებია, რომლებიც შეესაბამებიან გადაადგილების u_1, v_1 და w_1 მდგენელებს.

თანახმად (1.4) ფორმულებისა, დრეკადი სხეულის წონასწორობის განტოლებები მიიღებს სახეს:

$$\frac{\partial \tau_{11}}{\partial \xi}+\frac{\partial \tau_{12}}{\partial \eta}+\frac{\partial \tau_{13}}{\partial \zeta}+H_j \zeta \frac{\partial U^*}{\partial \xi}=0,$$

$$\frac{\partial \tau_{21}}{\partial \xi}+\frac{\partial \tau_{22}}{\partial \eta}+\frac{\partial \tau_{23}}{\partial \zeta}+H_j \zeta \frac{\partial U^*}{\partial \eta}=0, \tag{3.3}$$

$$\frac{\partial \tau_{31}}{\partial \xi}+\frac{\partial \tau_{32}}{\partial \eta}+\frac{\partial \tau_{33}}{\partial \zeta}+H_j U^*+\frac{\mu_j(\lambda_j+\mu_j)}{\lambda_j+2\mu_j}\left(\xi \frac{\partial U^*}{\partial \xi}+\eta \frac{\partial U^*}{\partial \eta}-U^*\right)=0,$$

$S_j\ (j=0,\ 1, \ldots, m)$ არეებში,

სადაც $$H_j \equiv \frac{(\lambda_j+3\mu_j)(\lambda_j+\mu_j)}{\lambda_j+2\mu_j}, \quad \text{ხოლო} \quad U^* \equiv \frac{\partial u^*}{\partial \eta}-\frac{\partial v^*}{\partial \xi}.$$

(1.5) ფორმულების თანახმად, სასაზღვრო პირობები თავისუფალ გვერდით ზედაპირზე და გამყოფ ზედაპირებზე მიიღებს სახეს:

$$\tau_{11} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{12} \cos \widehat{n\eta}+(\lambda_0+\mu_0)\left[U^* \cos \widehat{n\xi}+\theta^* \cos \widehat{n\eta}\right] \zeta=0,$$

$$\tau_{21} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{22} \cos \widehat{n\eta}+(\lambda_0+\mu_0)\left[-\theta^* \cos \widehat{n\xi}+U^* \cos \widehat{n\eta}\right] \zeta=0,$$

$$\tau_{31} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{32} \cos \widehat{n\eta}+\mu_0\left[-(2+\sigma_0) \eta+\xi \frac{\partial u^*}{\partial \eta}-\eta \frac{\partial u^*}{\partial \xi}\right] \cos \widehat{n\xi} \tag{3.4'}$$

$$+\mu_0\left[(2+\sigma_0) \xi+\xi \frac{\partial v^*}{\partial \eta}-\eta \frac{\partial v^*}{\partial \xi}\right] \cos \widehat{n\eta}+\lambda_0 \theta^*(\xi \cos \widehat{n\eta}-\eta \cos \widehat{n\xi})=0,$$

L_{m+1} კონტურზე,

$$[\tau_{11} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{12} \cos \widehat{n\eta}]_j-[\tau_{11} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{12} \cos \widehat{n\eta}]_0$$

$$=\left[(\lambda_0+\mu_0) \theta_0^*-(\lambda_j+\mu_j) \theta_j^*\right] \zeta \cos \widehat{n\eta}+\left[(\lambda_0+\mu_0) U_0^*-(\lambda_j+\mu_j) U_j^*\right] \zeta \cos \widehat{n\xi},$$

$$[\tau_{21} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{22} \cos \widehat{n\eta}]_j-[\tau_{21} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{22} \cos \widehat{n\eta}]_0=-\left[(\lambda_0+\mu_0) \theta_0^*\right.$$

$$\left.-(\lambda_j+\mu_j) \theta_j^*\right] \zeta \cos \widehat{n\xi}+\left[(\lambda_0+\mu_0) U_0^*-(\lambda_j+\mu_j) U_j^*\right] \zeta \cos \widehat{n\eta}, \tag{3.4''}$$

$$[\tau_{31} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{32} \cos \widehat{n\eta}]_j-[\tau_{31} \cos \widehat{n\xi}+\tau_{32} \cos \widehat{n\eta}]_0=\left[(2+\sigma_j) \mu_j+\lambda_j \theta_j^*\right.$$

$$\left.-(2+\sigma_0) \mu_0-\lambda_0 \theta_0^*\right](\eta \cos \widehat{n\xi}-\xi \cos \widehat{n\eta})-\left[\mu_j\left(\xi \frac{\partial u_j^*}{\partial \eta}-\eta \frac{\partial u_j^*}{\partial \xi}\right)\right.$$

$$\left.-\mu_0\left(\xi \frac{\partial u_0^*}{\partial \eta}-\eta \frac{\partial u_0^*}{\partial \xi}\right)\right] \cos \widehat{n\xi}-\left[\mu_j\left(\xi \frac{\partial v_j^*}{\partial \eta}-\eta \frac{\partial v_j^*}{d \xi}\right)-\mu_0\left(\xi \frac{\partial v_0^*}{\partial \eta}-\eta \frac{\partial v_0^*}{\partial \xi}\right)\right] \cos \widehat{n\eta},$$

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

(3.3) განტოლებები და (3.4) პირობები წარმოადგენენ წონასწორობის ჩვეულებრივ განტოლებებს და სასაზღვრო პირობებს დრეკადი სხეულისათვის, გარკვეული მოცულობით და ზედაპირული ძალების გავლენით, ამიტომ მათ უნდა დაემატოს აგრეთვე ბელტრამი-მიჩელის თავსებადობის, პირობები, რომელთაც განსახილავ შემთხვევაში აქვთ სახე:

$$\Delta \tau_{11}+\frac{1}{1+\sigma_j} \frac{\partial^2 T}{\partial \xi^2}=-2 H_j \zeta \frac{\partial^2 U^*}{\partial \xi^2}, \quad \Delta \tau_{33}+\frac{1}{1+\sigma_j} \frac{\partial^2 T}{\partial \zeta^2}=0, \tag{3.5}$$

$$\Delta \tau_{22}+\frac{1}{1+\sigma_j} \frac{\partial^2 T}{\partial \eta^2}=-2 H_j \zeta \frac{\partial^2 U^*}{\partial \eta^2}, \quad \Delta \tau_{12}+\frac{1}{1+\sigma_j} \frac{\partial^2 T}{\partial \xi \partial \eta}=-2 H_j \zeta \frac{\partial^2 U^*}{\theta \xi \partial \eta},$$

$$\Delta\tau_{13}+\frac{1}{1+\sigma_j}\frac{\partial^2 T}{\partial\xi\partial\zeta}=-2H_j\frac{\partial U^*}{\partial\xi}-\frac{\mu_j(\lambda_j+\mu_j)}{\lambda_j+2\mu_j}\left(\xi\frac{\partial^2 U^*}{\partial\xi^2}+\eta\frac{\partial^2 U^*}{\partial\xi\partial\eta}\right),$$

$$\Delta\tau_{23}+\frac{1}{1+\sigma_j}\frac{\partial^2 T}{\partial\eta\partial\zeta}=-2H_j\frac{\partial U^*}{\partial\eta}-\frac{\mu_j(\lambda_j+\mu_j)}{\lambda_j+2\mu_j}\left(\xi\frac{\partial^2 U^*}{\partial\xi\partial\eta}+\eta\frac{\partial^2 U^*}{\partial\eta^2}\right), \tag{3.5}$$

S_j $(j=0, 1, \ldots, m)$ არეებში.

დამატებითი $\tau_{11}, \tau_{22}, \ldots, \tau_{23}$ ძაბვების განსასაზღვრელად მივიღოთ, რომ:

$$\tau_{11}=-\lambda_j\zeta U^*+2\mu_j\zeta\frac{\partial v^*}{\partial\xi}, \qquad \tau_{12}=\mu_j\left(\frac{\partial v^*}{\partial\eta}-\frac{\partial u^*}{\partial\xi}\right)\zeta,$$

$$\tau_{22}=-\lambda_j\zeta U^*-2\mu_j\zeta\frac{\partial u^*}{\partial\eta}, \qquad \tau_{13}=-\mu_j\sigma_j\eta+\mu_j v^*+\mu_j\frac{\partial\psi}{\partial\xi}, \tag{3.6}$$

$$\tau_{33}=\lambda_j\zeta U^*, \qquad \tau_{23}=\mu_j\sigma_j\xi-\mu_j u^*+\mu_j\frac{\partial\psi}{\partial\eta}.$$

ადვილად დავრწმუნდებით, რომ წონასწორობის (3.3) განტოლებები, თავსებადობის (3.5) პირობები და აგრეთვე სასაზღვრო (3.4) პირობები დაკმაყოფილებულ იქნება, თუ უწყვეტი $\psi(\xi, \eta)$ ფუნქცია განსაზღვრულია შემდეგი პირობებით:

$$\Delta\psi+\frac{\lambda_j+\mu_j}{\lambda_j+2\mu_j}\left(\xi\frac{\partial U^*}{\partial\xi}+\eta\frac{\partial U^*}{\partial\eta}\right)=0 \tag{3.7}$$

S_j არეებში $(j=0, 1, \ldots, m)$,

$$\mu_0\left(\frac{d\psi}{dn}\right)_0+(E+\lambda\theta^*)_0(\xi\cos\widehat{n\eta}-\eta\cos\widehat{n\xi})+\mu_0\left(v^*+\xi\frac{\partial u^*}{\partial\eta}-\eta\frac{\partial u^*}{\partial\xi}\right)_0\cos\widehat{n\xi}$$
$$+\mu_0\left(-u^*+\xi\frac{\partial v^*}{\partial\eta}-\eta\frac{\partial v^*}{\partial\xi}\right)\cos\widehat{n\eta}=0, \tag{3.8'}$$

L_{m+1} კონტურზე,

$$\mu_j\left(\frac{\partial\psi}{\partial n}\right)_j-\mu_0\left(\frac{\partial\psi}{\partial n}\right)_0+(E_j-E_0+\lambda_j\theta_j^*-\lambda_0\theta_0^*)(\xi\cos\widehat{n\eta}-\eta\cos\widehat{n\xi})$$
$$+\left[\mu_j\left(v^*+\xi\frac{\partial u^*}{\partial\eta}-\eta\frac{\partial u^*}{\partial\xi}\right)_j-\mu_0\left(v^*+\xi\frac{\partial u^*}{\partial\eta}-\eta\frac{\partial u^*}{\partial\xi}\right)_0\right]\cos\widehat{n\xi} \tag{3.8''}$$
$$+\left[\mu_j\left(-u^*+\xi\frac{\partial v^*}{\partial\eta}-\eta\frac{\partial v^*}{\partial\xi}\right)_j-\mu_0\left(-u^*+\xi\frac{\partial v^*}{\partial\eta}-\eta\frac{\partial v^*}{\partial\xi}\right)_0\right]\cos\widehat{n\eta}=0.$$

L_j $(j=0, 1, \ldots, m)$ კონტურებზე.

ადვილად შეიძლება შემოწმდეს, რომ შესრულებულია ამ ამოცანის ამოხსნადობის აუცილებელი და საკმარისი პირობა.

u_1, v_1 და w_1 გადაადგილებები, რომლებიც შეესაბამებიან (3.6) ძაბვებს, იქნება:

$$u_1=-\sigma_j\eta\zeta+\zeta v^*, \quad v_1=\sigma_j\xi\zeta-\zeta u^*, \quad w_1=\psi(\xi,\eta). \tag{3.9}$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ უკანასკნელ ფორმულებს, დასმული ამოცანის ამოხსნას გადაადგილების კომპონენტებში, k^3 სიზუსტით, ექნება შემდეგი სახე:

$$
\begin{aligned}
u &= -a\sigma_j\xi + au^* - ak\sigma_j\eta\zeta + ak\zeta v^*,\\
v &= -a\sigma_j\eta + av^* + ak\sigma_j\xi\zeta - ak\zeta u^*,\\
w &= a\zeta + ak\varphi.
\end{aligned}
\tag{3.10}
$$

შევნიშნოთ, რომ მიღებული გადაადგილების კომპონენტები უწყვეტი იქნება გამყოფ ზედაპირებზე გადასვლისას.

ძაბვის კომპონენტები, რომლებიც შეესაბამებიან (3.10) გადაადგილებებს, იქნება:

$$
\begin{aligned}
&X_x = aX_x^* + 2\,ak\zeta X_y^*, \qquad && X_y = aX_y^* + 2\,ak\zeta\left(\frac{\partial v^*}{\partial\eta} - \frac{\partial u^*}{\partial\xi}\right),\\
&Y_y = aY_y^* - 2\,ak\zeta X_y^*, \qquad && X_z = ak\,\mu_j\left[v^* + \xi\frac{\partial u^*}{\partial\eta} - \eta\frac{\partial u^*}{\partial\xi} + \frac{\partial\varphi}{\partial\xi}\right],\\
&Z_z = aE_j + a\lambda_j\theta^*, \qquad && Y_z = ak\,\mu_j\left[-u^* + \xi\frac{\partial v^*}{\partial\eta} - \eta\frac{\partial v^*}{\partial\xi} + \frac{\partial\varphi}{\partial\eta}\right],
\end{aligned}
\tag{3.11}
$$

S_j $(j = 1, 2, \ldots, m)$ არეებში.

ბოლოს შევამოწმოთ $z = l$ ზედაპირზე (3.11) ძაბვები აკმაყოფილებს თუ არა საჭირო პირობებს;

თუ ავღნიშნავთ X, Y, Z, M_x, M_y და M_z-ით $z = l$ ზედაპირზე (3.11) ძაბვების მთავარი ვექტორისა და მთავარი მომენტის კომპონენტებს, მაშინ ადვილია შემოწმება, რომ:

$$
\begin{aligned}
X &= \sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j} X_z\,dx\,dy = ak\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(E_j + \lambda_j\theta^*)\,\eta\,d\sigma = 0,\\
Y &= \sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j} Y_z\,dx\,dy = ak\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(E_j + \lambda_j\theta^*)\,\xi\,d\sigma = 0,\\
Z &= \sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j} Z_z\,dx\,dy = a\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(E_j + \lambda_j\theta^*)\,d\sigma\,^{(1},\\
M_x &= \sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j} yZ_z\,dx\,dy = a\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(\eta - k\xi l)\,(E_j + \lambda_j\theta^*)\,d\sigma = 0,\\
M_y &= -\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j} xZ_z\,dx\,dy = -a\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(\xi + k\eta l)\,(E_j + \lambda_j\theta^*)\,d\sigma = 0,\\
M_z &= \sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(xY_z - yX_z)\,dx\,dy = ak\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}\left[\xi^2\frac{\partial v^*}{\partial\eta} - \xi\eta\left(\frac{\partial u^*}{\partial\eta} + \frac{\partial v^*}{\partial\xi}\right)\right.\\
&\qquad\left. + \eta^2\frac{\partial u^*}{\partial\xi} - (\xi u^* + \eta v^*) + \xi\frac{\partial\varphi}{\partial\eta} - \eta\frac{\partial\varphi}{\partial\xi}\right]\mu_j\,d\sigma.
\end{aligned}
\tag{3.12}
$$

ამრიგად, რომ დავაკმაყოფილოთ $z = l$ ზედაპირზე მოთხოვნილი პირობები, საჭიროა (3.11) ამოხსნას დავუმატოთ გრეხის ამოცანის ამოხსნა შედგენილი პრიზმული ძელისათვის, ხოლო a მუდმივი განვსაზღვროთ ტოლობით:

(1 ადვილია ჩვენება, რომ $\sum_{j=0}^{m}\iint_{S_j}(E_j + \lambda_j\theta^*)\,d\sigma$ გამოსახულება მუდამ დადებითია.

$$
a = \frac{Z}{\sum_{j=0}^{m} \iint_{S_j} (E_j + \lambda_j \theta^*)\, d\sigma}. \tag{3.13}
$$

4. კერძოდ, როგორც მაგალითი განვიხილოთ შემთხვევა, როცა L_1 და L_2 წარმოადგენს R_1 და R_2 რადიუსებიან კონცენტრულ წრეებს, ისე, რომ S_1 არის წრე, შემოსაზღვრული L_1 რკალით, ხოლო S_0—რგოლი, მოთავსებული L_1 და L_2 რკალებს შორის.

ამ შემთხვევაში, მყარ გადაადგილებამდე სიზუსტით, გვაქვს:

$$
u^* = A_1(\alpha_1 - \beta_1)\,\xi, \quad v^* = A_1(\alpha_1 - \beta_1)\,\eta, \ S_1 \text{ არეში},
$$

$$
u^* = A_0(\alpha_0 - \beta_0)\,\xi - B_0\beta_0 \frac{\xi}{\xi^2 + \eta^2}, \quad v^* = A_0(\alpha_0 - \beta_0)\,\eta - B_0\beta_0 \frac{\eta}{\xi^2 + \eta^2}, \ S_0 \text{ არეში},
$$

სადაც $\alpha_j = \dfrac{\lambda_j + 3\mu_j}{2\mu_j(\lambda_j + \mu_j)}$, $\beta_j = \dfrac{1}{2\mu_j}$ $(j = 0, 1)$,

$$
A_1 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_0)(R_2^2 - R_1^2)}{(\alpha_1 - \beta_1)(R_2^2 - R_1^2) + (\alpha_0 - \beta_0) R_1^2 + 2\beta_0 R_2^2},
$$

$$
A_0 = \frac{(\sigma_1 - \sigma_0) R_1^2}{(\alpha_1 - \beta_1)(R_2^2 - R_1^2) + (\alpha_0 - \beta_0) R_1^2 + 2\beta_0 R_2^2}, \qquad U^* \equiv 0, \tag{4.1}
$$

$$
B_0 = \frac{2(\sigma_1 - \sigma_0) R_1^2 R_2^2}{(\alpha_1 - \beta_1)(R_2^2 - R_1^2) + (\alpha_0 - \beta_0) R_1^2 + 2\beta_0 R_2^2}, \quad Q_j^* = \frac{2A_j}{\lambda_j + \mu_j} \ (j = 0, 1),
$$

$$
\psi(\xi, \eta) = A\xi\eta, \ S_1\text{-არეში}, \quad \psi(\xi, \eta) = A'\xi\eta + BR_2^4 \frac{\xi\eta}{(\xi^2 + \eta^2)^2}, \ S_0 \text{ არეში},
$$

$$
\text{სადაც } A = \frac{\dfrac{2A_1\mu_1}{\lambda_1 + \mu_1}(R_2^4 + R_1^4) + \dfrac{2A_0\mu_0}{\lambda_0 + \mu_0}(R_2^4 - R_1^4)}{\mu_0(R_2^4 - R_1^4) + \mu_1(R_2^4 + R_1^4)},
$$

$$
B = \frac{2\mu_1\left(\dfrac{A_1}{\lambda_1 + \mu_1} - \dfrac{A_0}{\lambda_0 + \mu_0}\right) R_1^4}{\mu_0(R_2^4 - R_1^4) + \mu_1(R_2^4 + R_1^4)}, \quad A' = B + \frac{2A_0}{\lambda_0 + \mu_0}.
$$

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ა. რაზმაძის სახელობის
თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 29.10.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. И. Мусхелишвили. Некоторые основные задачи математической теории упругости. Третье издание, 1949.
2. А. К. Рухадзе. Задача изгиба поперечной силой упругих брусьев, составленных из различных материалов. Труды ГПИ, т. 19, 1949.
3. С. А. Тумаркин. Равновесие и колебание закрученных стержней. Труды ЦАГИ, вып. 341, 1937.
4. П. М. Риз. Деформации и напряжения естественно закрученных стержней. Изв. АН СССР, сер. мат., № 4, 1939.
5. А. И. Лурье, Г. Ю. Джанелидзе. Задача Сен-Венана для естественно закрученных стержней. ДАН, т. XXIV, № 1, 3, 4, 1939.
6. А. К. Рухадзе. О деформации естественно закрученных стержней. Прикл. Мат. и Мех. т. XI, в. 5, 1947.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 3, 1952

ფიზიკა

დ. ჩილვინაძე და ვ. ბრავინსკი

თუთიის მონოკრისტალის მიკროსიმაგრის შესახებ

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა ე. ანდრონიკაშვილმა 23.5.1951)

§ 1. შესავალი

ამ ბოლო დროს მრავალი შრომა გამოქვეყნდა, რომლებშიც განხილულია მიკროსიმაგრე. მაგრამ მკვლევრები დღემდე ვერ შეთანხმდნენ იმის შესახებ, აქვს თუ არა მონოკრისტალებს ზედაპირული შესუსტებული ფენა. ამ საკითხზე ძირითადად მონაცემების ორი ჯგუფი არსებობს. ერთი მხრივ, ლოლობერიძე და კოპაცკი [1] აღნიშნავენ მიკროსიმაგრის შემცირებას ობიექტის ზედაპირულ ფენებში, მეორე მხრივ, ლეიზე [2], რომელიც ალუმინისა და სპილენძის მონოკრისტალს იკვლევდა, იმ დასკვნამდე მივიდა, რომ ამ უკანასკნელთა მიკროსიმაგრე ტვირთზე არაა დამოკიდებული, ე. ი. ზედაპირული შესუსტებული ფენის არსებობა ფაქტობრივად უარყოფილია.

ო. მღებრიანმა, დ. ჩილვინაძემ და ც. სალუქვაძემ [3], რომლებიც იმავე ობიექტს სწავლობდნენ, რასაც ლოლობერიძე და კოპაცკი, კრისტალოგრაფიული წახნაგებისათვის მიკროსიმაგრის დატვირთვაზე დამოკიდებულების ისეთივე ხასიათის მრუდები მიიღეს, როგორიც ლითონურ პოლიკრისტალებზე ა. ბოჩვარმა და ჟადაევამ [4].

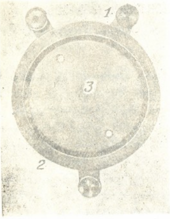
სათანადო შენიშვნის გარეშე ამ შედეგების შედარება შეუძლებელია შემდეგი ორი მიზეზის გამო: 1) ზემოთ დასახელებული ავტორები სხვადასხვა ხერხით მომზადებულ ობიექტებს იკვლევდნენ; 2) შრომები შესრულებული იყო სხვადასხვა ხელსაწყოთი. მაშინ, როცა ლოლობერიძე და კოპაცკი მუშაობდნენ ხრუშჩოვისა და ბერკოვიჩის სისტემის სკლერომეტრზე, ლეიზე (აგრეთვე განემანი და შულცი, რომლებიც ლეიზეს ანალოგიურ დასკვნებამდე მიდიან) ექსპერიმენტს ატარებდა განემან-ცეისის ხელსაწყოთი. რამდენადაც ზემოთ აღნიშნულ ხელსაწყოებზე მუშაობის მეთოდიკის საკითხები (რეგულირება და ა. შ.) ჯერ კიდევ საკმარისად არაა შესწავლილი, ამის გამო მონაცემებს შორის გარკვეულ განსხვავებას უნდა მოველოდეთ, განსაკუთრებით მცირე ტვირთებისათვის. თუმცა აქვე უნდა შევნიშნოთ, რომ ბოჩვარმა და ჟადაევამ, იკვლევდნენ რა ერთისა და იმავე ობიექტის მიკროსიმაგრეს ПМТ—3 მიკროსიმაგრის მზომისა და განემან-ცეისის ხელსაწყოს დახმარებით, შედეგების კარგი დამთხვევა მიიღეს.

§ 2. ცდების მიმდინარეობა და შედეგები

მონოკრისტალური ობიექტების მიკროსიმაგრის შესწავლისათვის ჩვენ მიერ გამოკვლეული იყო თუთიის მონოკრისტალის კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეთა რიგი.

ყველა გაზომვა ტარდებოდა ხრუშჩოვისა და ბერკოვიჩის სისტემის ПМТ—3 ხელსაწყოზე 2, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 20, 50 და 100 გრ დატვირთვებისას.

მოწყობილობა (ნახ. 1) შესაძლებლობას იძლეოდა ზუსტად მოგვეთავსებინა შესწავლილი ზედაპირი ინდენტორის ღერძის პერპენდიკულარულად და მიგვეღო ინდენტორისა და შესასწავლი ობიექტის სასურველი ურთიერთგანლაგება, რაც ყოველი წახნაგისათვის ექსპერიმენტის მიმდინარეობის დროს უცვლელი რჩებოდა.



ნახ 1. დამხმარე მოწყობილობა:
1—მარეგულირებელი ხრახნები;
2—ჩარჩო კუთხმზომი წრით;
3—ობიექტის მბრუნავი სადგამი

ეს უკანასკნელი ღონისძიება მიღებულ იქნა იმისათვის, რომ ნაწილობრივ აგვეცილებინა თუთიის კრისტალის ანიზოტროპია.

ობიექტები მზადდებოდა ქიმიურად სუფთა (99,95%) გრანულირებული დარიშხანისაგან თავისუფალი თუთიისაგან. ცალკეულ გამოკვლევათა შედეგები აღწერილია ქვემოთ, მოცემულია ცხრილში და ორი ტიპის მრუდების სახით: მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება დატვირთვაზე და ინდენტორის შეჭრის სიღრმეზე. მრუდები „მიკროსიმაგრე—შეჭრის სიღრმე“ მოცემულია ლოგარითმული მასშტაბით.

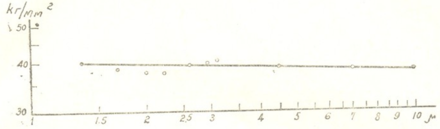
ბაზისის სიბრტყე

ჩვენ მიერ გამოზრდილ იქნა ღეროსებრი მონოკრისტალები წინათ აღწერილი [5] მეთოდის მიხედვით. ბაზისის სიბრტყეს ვაშიშვლებდით პობით (როგორც ცნობილია, თუთია კარგად იპობა ბაზისის სიბრტყის გასწვრივ თვით ოთახის ტემპერატურაზედაც კი) და მას სარკული ზედაპირი ჰქონდა. შეიძლება ითქვას, რომ გამოსაკვლევი ზედაპირის მახლობლად საგრძნობი დაძაბულობის კონცენტრაციას ადგილი არ ჰქონდა. ამრიგად მომზადებული ობიექტი ზემოთ მითითებული დატვირთვების პირობებში შეისწავლებოდა. მიღებული შედეგები მოყვანილია ნახ. 2, 3-ზე და ცხრილში.

მეორე და მესამე ნახაზის განხილვიდან გამომდინარეობს, რომ მიკროსიმაგრე მთელ გამოსაკვლევ სიღრმეზე არ იცვლება და პრაქტიკულად მუდმივი რჩება.

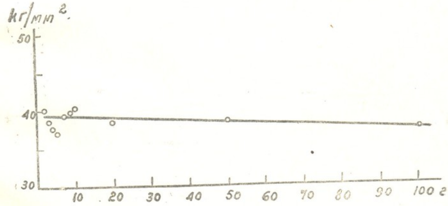
შემდეგ, გაზომვები ტარდებოდა ზედაპირზე, რაც მიღებულ იქნა ქვემოთ აღწერილი წესით. გაზრდილ იქნა მონოკრისტალური ღერო, რომლის გარდიგარდმო კვეთი ოვალურია. ბაზისის სიბრტყე ღეროს ღერძზე გამავალი დიდი კვეთის პარალელური იყო. ობიექტს ვკვეთდით ღეროს შუა ნაწილიდან ქიმიური ხერხით და ბაზისის სიბრტყეს ვაშიშვლებდით 25%-იანი აზოტის მჟავას წყალხსნარში ფენების გახსნით. ასეთი გზით მიღებული ზედაპირის მიკ-

როსიმაგრეს ვზომავდით სხვადასხვა დატვირთვის დროს. შემდეგ ჩვეულებრივი ხერხით ვაწარმოებდით მექანიკურ დამუშავებას; დასაწყისში ობიექტს ვხეხავდით ნაქდაკის ქაღალდზე, ხოლო შემდეგ ვუკეთებდით პოლირებას (მოსარკევებას) ГОИ-ის პასტით. ამის შემდეგ ხელახლა ვზომავდით მიკროსიმაგრეს. შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 4, 5-ზე და ცხრილში.



ნახ. 2. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება შეჭრის სიღრმეზე. პობით მიღებული ბაზისის სიბრტყე

მოყვანილი გრაფიკიდან ჩანს, რომ დეფორმირებული ობიექტის მიკროსიმაგრე დატვირთვაზე არაა დამოკიდებული. დეფორმირებული ობიექტის შემთხვევაში გამტკიცება შესამჩნევი ხდება 8—10 $\frac{\text{კგ}}{\text{მმ}^2}$ 9 μ (მიკრონის) სი-



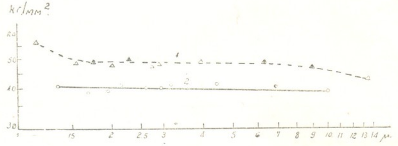
ნახ. 3. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება დატვირთვაზე. პობით მიღებული ბაზისის სიბრტყე

ღრმემდე, რის შემდეგ მრუდი ქვემოთ ეშვება. სამწუხაროდ, ტვირთების შემოსაზღვრულობამ ნება არ მოგვცა ჩაგვეტარებინა გამოკვლევა უფრო მეტი სიღრმეებისათვის. მიკროსიმაგრის მცირეოდენი ზრდა დასაწყისში შეიძლება ნაწილობრივ ხელსაწყოს ცდომილებას მიეწეროს.

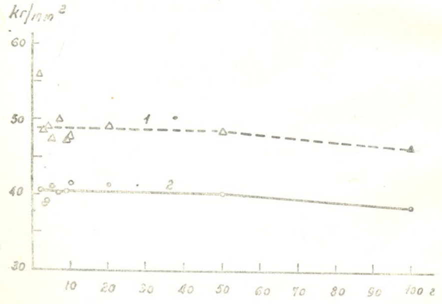
პირველი გვარის პრიზმის სიბრტყე

მონოკრისტალს ვზრდიდით იმავე მეთოდით.

კრისტალოგრაფიულ სიბრტყეს ვაშიშვლებდით ქიმიური ხერხით ისე, როგორც ეს ზემოთაა აღწერილი. ამის შემდეგ სხვადასხვა დატვირთვის დროს

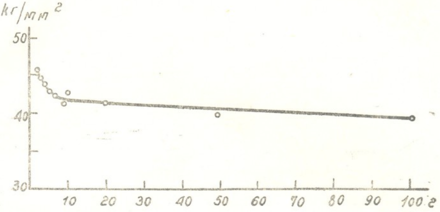


ნახ. 4. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება შეჭრის სიღრმეზე (ბაზისის სიბრტყე): 1—ქიმიური ხერხით მიღებული, პოლირებული; 2—ქიმიური ხერხით მიღებული, არაპოლირებული

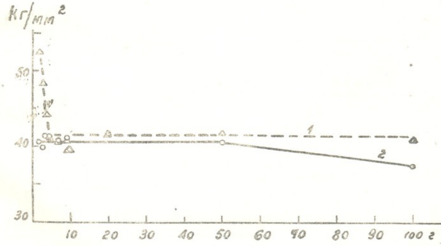


ნახ. 5. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება დატვირთვაზე (ბაზისის სიბრტყე): 1—ქიმიური ხერხით მიღებული, პოლირებული; 2—ქიმიური ხერხით მიღებული, არაპოლირებული

ვზომავდით მიკროსიმაგრეს. შემდეგ ობიექტს ვხეხავდით და ვაპრიალებდით ზემოთ აღწერილი მეთოდით. ხელახლა ვზომავდით მიკროსიმაგრეს, რომლის დამოკიდებულება დატვირთვასა და შეჭრის სიღრმეზე მოცემულია მე-6 და მე-7 ფიგურაზე და ცხრილში.



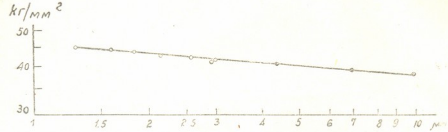
ნახ. 6. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება შეჭრის სიღრმეზე (პირველი გვარის პრიზმის სიბრტყე): 1—ქიმიური ხერხით მიღებული, პოლირებული; 2—ქიმიური ხერხით მიღებული, არაპოლირებული



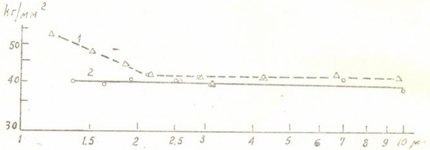
ნახ. 7. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება დატვირთვაზე (პირველი გვარის პრიზმის სიბრტყე): 1—ქიმიური ხერხით მიღებული, პოლირებული; 2—ქიმიური ხერხით მიღებული, არაპოლირებული

მე-6 და მე-7 ნახაზის განხილვის დროს ჩვენ ვხედავთ, რომ დეფორმირებული ობიექტის ზედაპირულ ფენებში დაიმზირება მიკროსიმაგრის ზრდა;

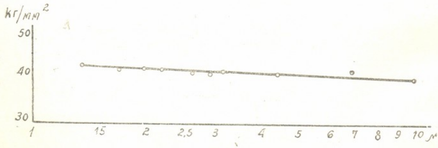
2,1 μ-დან დაწყებული მიკროსიმაგრე უცვლელი რჩება. აქვე უნდა აღვნიშნოთ, რომ ბაზისის სიბრტყის დამუშავების ხანგრძლიობა გაცილებით მეტი იყო, ვიდრე პირველი გვარის პრიზმის სიბრტყისა. იმ ობიექტებისათვის, რომლებიც პლასტიკურად დეფორმირებული არაა, მიკროსიმაგრე გამოსაკვლევ სიღრმეზე პრაქტიკულად მუდმივი რჩება.



ნახ. 8. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება შეჭრის სიღრმეზე
(ბუნებრივი წახნაგი № 1)



ნახ. 9. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება დატვირთვაზე
(ბუნებრივი წახნაგი № 1)



ნახ. 10. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება შეჭრის სიღრმეზე
(ბუნებრივი წახნაგი № 2)

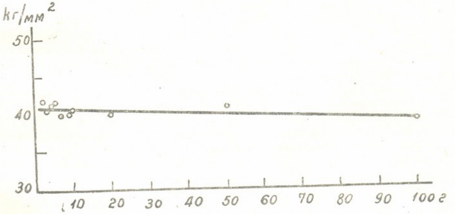
ბუნებრივი წახნაგები

ლაბორატორიაში გაზრდილ იქნა მონოკრისტალები [6], რომელთა ზედაპირზე გამოდიოდა კარგად განვითარებული ბუნებრივი წახნაგები. ჩვენ

მიერ შესწავლილ იქნა ასეთი წახნაგების მიკროსიმაგრე. წახნაგები ერთმანეთისაგან განირჩეოდა მათ ზედაპირზე წარმოქმნილი ფიგურების მიხედვით [6]. ჩვენ მათ დავარქმევთ ბუნებრივ წახნაგს № 1 (რომელზედაც დაიმზირება წესიერი ექვსკუთხედები) და ბუნებრივ წახნაგს № 2 (რომელზედაც დაიმზირება ვარსკვლავისებრი ფიგურები). მიკროსიმაგრის გაზომვის შედეგები წარმოდგენილია ნახ. 8, 9, 10, 11-ზე და ცხრილში.

თუთიის მონოკრისტალის წახნაგების სიმაგრის რიცხვები (კგ/მმ²)

დატვირთვა გრამობით	2	3	4	5	7	9	10	20	50	100
პობიათ მიღებული ბაზისის სიბრტყე . .	40	39	38	37	39	40	40	39	39	38
მექანიკური პოლირების წესით მიღებული ბაზისის სიბრტყე	56	49	49	47	50	46	47	49	48	46
ქიმიური პოლირების წესით მიღებული ბაზისის სიბრტყე	40	38	39	41	40	40	41	41	40	38
პირველი გვარის პრიზმის სიბრტყე (მექანიკური წესით პოლირებული) . . .	52	48	44	41	40	41	39	41	42	41
პირველი გვარის პრიზმის სიბრტყე (ქიმიური წესით პოლირებული)	40	39	41	41	40	41	39	41	41	38
ბუნებრივი წახნაგი № 1	46	44	43	42	42	41	42	41	40	39
ბუნებრივი წახნაგი № 2	41	40	41	41	40	40	41	40	41	38



ნახ. 11. თუთიის მიკროსიმაგრის დამოკიდებულება დატვირთვაზე
(ბუნებრივი წახნაგი № 2)

მრუდების განხილვიდან ჩანს, რომ მოცემულ ობიექტთა სიმაგრე არსებითად უცვლელია. მიკროსიმაგრის მცირეოდენი ზრდა № 8, 9 მრუდებზე შეიძლება ახსნილ იქნეს ხელსაწყოს თავისებურებით (დიდი ცდომილება მცირე დატვირთვის დროს).

დ ა ს კ ვ ნ ა

ზემოთ ნათქვამზე დამყარებით, ჩვენ შემდეგ დასკვნას ვაკეთებთ:

1. მექანიკური დეფორმაციისაგან თავისუფალი თუთიის მონოკრისტალის მიკროსიმაგრე 1 μ სიღრმიდან დაწყებული დამოკიდებული არაა დატვირთვაზე და შემდგომ ობიექტის მთელ გამოსარკვევ სიღრმეზე მუდმივი რჩება.

2. სხვადასხვა კრისტალოგრაფიული წახნაგის (ბაზისის, პირველი გვარის პრიზმისა და ა. შ.) სიბრტყეთა მიკროსიმაგრე პრაქტიკულად ერთმანეთის ტოლია.

3. ობიექტის ზედაპირის მექანიკური დეფორმაციის დროს წარმოიშობა მიკროსიმაგრის ნაზრდი, დაახლოებით 8—10 $\frac{\text{კგ}}{\text{მმ}^2}$-ტოლი.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ფიზიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 23.5.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Д. Б. Гогоберидзе и Н. А. Копацкий. К вопросу о механизме явлений шлифовки и полировки. ЖТФ, т. XX, вып. 8, 1950.
2. Б. С. Иоффе. Применение метода измерения микротвердости к решению некоторых физических задач. ЖТФ, т. XIX, вып. 10, 1949.
3. О. И. Мгебрян, Д. М. Чигвинадзе, Ц. Т. Салуквадзе. К вопросу об ослабленном поверхностном слое монокристаллов каменной соли. Сообщения АН Грузинской ССР, т. XII № 8, 1951.
4. А. А. Бочвар и О. С. Жадаева. К вопросу об изменении микротвердости металлов в зависимости от глубины проникновения индентора и состояния поверхностного слоя. Изв. АН СССР ОТН. т. 3, 1947, стр. 341.
5. Д. М. Чигвинадзе. Выращивание монокристаллов цинка с заданной ориентацией. Сообщения АН Грузинской ССР, т. IX, № 1, 1948.
6. Д. М. Чигвинадзе и Т. Т. Килитаури. Об образовании граней на поверхности металлического кристалла. Сообщения АН Грузинской ССР, т. XII, № 9. 1951.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 3, 1952

პალეობიოლოგია

ლ. გაბუნია

„ჯუჯა“ მამონტის კბილი გორიდან

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ლ. დავითაშვილმა 24. 10. 1952)

რამდენიმე ხნის წინათ გორში მუზეუმის შენობის საძირკვლის ჩაყრის დროს იპოვეს მამონტის მარცხენა ზედა საძირე კბილი. გორის პედაგოგიური ინსტიტუტის დოცენტის გეოლოგ ვ. ჩიკოიძის ცნობით, ქანები, რომლებშიც კბილია ნაპოვნი, მტკვრის პირველი ჭალის ზედა ტერასის ნალექებს წარმოადგენს.

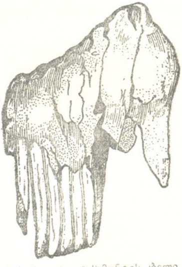
ქვემოთ მოგვყავს ამ კბილის — *Mamonteus cf. primigenius* Blum.— მოკლე აღწერა.

ადგილსამყოფელი: გორი, საქართველოს სსრ;

ასაკი: ვიურმის შემდგომი დროის დასაწყისი;

მასალა: მარცხენა მხრის მოუცვეთელი M';

აღწერა. კბილი ძლიერ დაზიანებულია: პირველი ფირფიტა წინიდან თითქმის მთლიანადაა ჩამოტეხილი. ასევე მოტეხილია მეორე ფირფიტისა და ხუთი ბოლო ფირფიტის (8—12) დისტალური (ზედა) წვეროები. ძლიერ დაზიანებულია ძირები, რომლებიც აღნიშნულ კბილს, როგორც ჩანს, საკმაოდ კარგად უნდა ჰქონოდა გაფორმებული. ცემენტი, რომლითაც ამოვსებულია ფირფიტათაშორისი შუალედები და რომელიც ფარავს კბილის გარეთა და შიდა მხარეებს, ძლიერ დაშლილია.



ნახ. 1. „ჯუჯა“ მამონტის კბილი გორიდან

კბილი შედარებით მცირე ზომისა და მაღალგვირგვინიანია. 12 ფირფიტისაგან შედგება. კბილის ლინგვალური ზედაპირის 10 სმ სივრცეზე მოდის 10 ფირფიტა და 9 ფირფიტათაშორისი შუალედი. კბილის შიდა ზედაპირი ოდნავ ჩაზნექილია (სიგრძივი ღერძის გასწვრივ). გარეთა ზედაპირი ოდნავ ამოზნექილია. ფირფიტები სუსტადაა მოღუნული. წინა ნაწილში ოდნავ მოღუნულია (ორალური მიმართულებით) ფირფიტების მხოლოდ დისტალური წვეროები, ხოლო ყველა დანარჩენი ფირფიტა, მეხუთე ფირფიტით დაწყებული, შესამჩნევადაა მოღუნული პროქსიმალურ (გვირგვინის ფუძესთან მდებარე) ნაწილში. *ფირფიტების ამობურცული მხარე ამ შემთხვევაშიც ორალურადაა* მიმართული. მერვე, მეცხრე, მეათე, მეთერთმეტე და მეთორმეტე ფირფიტების ლაბიალური კიდეები ოდნავ მოღუნულია კაუდალური მიმართულებით. უკანასკნელი, მე-12, ფირფიტა სუსტადაა განვითარებული, იგი მე-11 ფირფიტის სიმაღლის დაახლოებით ორ მესამედს აღწევს.

ფირფიტების ზედაპირი სუსტტალღობრივია. ფირფიტების კიდეები სინუსებს არ ქმნის. მესამე, მეოთხე და მეხუთე ფირფიტები ოთხი ძირითადი კონუსისაგან შედგება, მეშვიდე — ხუთისაგან.

მინანქრის სისქე მეათე ფირფიტაზე 1,5 მმ უდრის. კბილის სიგრძე (გვირგვინის ფუძესთან) 120 მილიმეტრია, უდიდესი სიგანე—62 მილიმეტრი, სიმაღლე — 140 მილიმეტრი; ფირფიტის სისქე (მინანქრის სისქის ჩათვლით) 6—7,5 მილიმეტრია, ფირფიტათაშორისი შუალედის სისქე— 2,5 მილიმეტრი.

შედარება და ზოგადი შენიშვნები. ჩვენი M' ფირფიტების რაოდენობით, სიხშირითა და ფორმით, აგრეთვე მინანქრის შრისა და ფირფიტის სისქეთა შეფარდებით, სავსებით შეესაბამება მაღალი სპეციალიზაციის მქონე ნამდვილი მამონტის კბილს, მაგრამ შესამჩნევად განსხვავდება მისგან მცირე ზომებით. ამ მხრივ იგი უახლოვდება „ჯუჯა" მამონტებს, რომლებიც ცნობილია ტიურინგიიდან და იტალიიდან. ყველაზე მეტად ჩვენი მამონტი ჰგავს *Mamonteus primigenius* Blum. *var. hydruntinus* Botti-ს [2],—„ჯუჯა" მამონტს, რომელიც იტალიის პლეისტოცენში გვხვდება. გორის ფორმა კბილის სიდიდით, ფირფიტების რიცხვითა და სიხშირით ძლიერ უახლოვდება იტალიის ფორმას, მაგრამ მასალის სიმცირე და ცუდი დაცულობა არ გვაძლევს ამ მამონტთა გაიგივების საშუალებას.

ამიერკავკასიის ფარგლებში *Mamonteus primigenius* Blum. მხოლოდ დუშეთის რაიონიდანაა ცნობილი [1]. აღწერილი კბილის ნახვა ადასტურებს ამიერკავკასიის მეოთხეული ფაუნის შემადგენლობაში მამონტის არსებობას.

„ჯუჯა" მამონტის ნახვა საქართველოსა და იტალიაში შესაძლოა მოწმობდეს, რომ სამხრეთ ევროპაში, მატერიკის ჩრდილო ნაწილისაგან განსხვავებით, ძირითადად არსებობდნენ *Mamonteus primigenius* Blum.-ის მცირე ზომის ფორმები, რომლებიც გაცილებით უფრო მცირედ იყვნენ გავრცელებული, ვიდრე მათი ჩრდილოეთის მონათესავენი.

აღწერილი კბილის პოვნა მტკვრის პირველი ჭალის ზედა ტერიტორიის ნალექებში უთუოდ მოწმობს, რომ გორის მამონტი გეოლოგიურად ძალიან ახალგაზრდა უნდა ყოფილიყო. ჩვენ შესაძლებლად მიგვაჩნია სავარაუდოდ იგი მივაკუთვნოთ ვიურმის შემდგომი დროის დასაწყისს (არქეოლოგიური დანაწილებით, დროს მეზოლითის დასაწყისიდან ქვედა ნეოლითამდე), რაც არ ეწინააღმდეგება სპეციალური ლიტერატურის მონაცემებს მამონტის გეოლოგიური გავრცელების შესახებ.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
პალეობიოლოგიის სექტორი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 28. 10. 1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. ნ. ბურჩაკ-აბრამოვიჩი. *Elephas primigenius* Blum.-ის ნაშთი დუშეთის რაიონიდან. საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმის მოამბე, ტ. XIII A, 1946.
2. H. F. Osborn. *Proboscidea.* Vol. II, 1942.

ტექნიკა

გ. ცეცხლაძე

რთული სივრცობრივი კომპოზიციების აგება პერსპექტივაში

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 31. 7. 1951)

პერსპექტივის ფართო გამოყენება აღორძინების ხანის დიდი ოსტატების შემოქმედებაში კიდევ არ ნიშნავს გამოსახულების ამ მეთოდის სრულყოფას. პირიქით, ნიჭისა და ინტუიციის წყალობით პერსპექტივის აგების შესაძლებლობა ერთგვარად აბრკოლებდა კიდეც ამ დარგის თეორიულ განვითარებას.

პერსპექტივის ან ორთოგონალის გამოყენება არქიტექტურულ და საინჟინრო შემოქმედებაში აგრეთვე არ ნიშნავს თვით ამ გამოსახულებათა აგებაში შემოქმედების საჭიროებას; პირიქით, რაც უფრო ზუსტ მეცნიერულ სისტემად ჩამოყალიბდება გამოსახულებათა ეს მეთოდები, მით უფრო გარკვეული და ადვილი იქნება მათი გამოყენება არქიტექტორისა და ინჟინრის შემოქმედებაში.

დეზარგის შრომებმაც კი, სადაც კონუსურმა დაგეგმილებამ, პროექციური გეომეტრიის სახით, პირველი თეორიული განზოგადება პოვა, ვერ მოახდინა არსებითი გავლენა თვით პერსპექტივის შემდგომ განვითარებაზე. საერთოდ პერსპექტივის განვითარება უმეტესად შემოქმედთა პრაქტიკული მოღვაწეობის სფეროთი შემოიფარგლა, რის გამოც პერსპექტივის აგების ყველა არსებული მეთოდი ერთგვარი ცალმხრივობით განირჩევა, მაგრამ მათი განხილვა ამჯერად არ შეადგენს ჩვენი მსჯელობის საგანს.

პერსპექტიულ აგებათა საერთო სისტემის გარკვევისათვის პირველ ნახაზზე აგებულია კუბი და მისგან დაცემული ჩრდილი პერსპექტივაში, თავმოყრის ყველა წერტილის წარმოშობისა და დანიშნულების სივრცობრივი განსაზღვრით.

წინამდებარე შრომა მიზნად არ ისახავს პერსპექტივის დარგში რაიმე უნივერსალური სისტემის შექმნას. ჩვენი მიზანია მივაღწიოთ სივრცის რთულ კომპოზიციების აგებას უშუალოდ პერსპექტივაში.

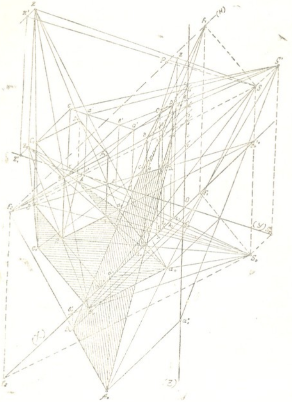
1. თეორიული საფუძველი

ცნობილია, რომ ერთი გეგმილი არ განსაზღვრავს ტანის ფორმასა და მდებარეობას სივრცეში, მეორე გეგმილი არის ის დამატებითი პირობა, რომელიც ცალსახად განსაზღვრავს ამოცანას.

მონჟის სისტემის უპირატესობის გამოსაყენებლად აუცილებელია შევინარჩუნოთ ეპიურაზე ორი გეგმილის არსებობის პირობა. ჩვენ მიერ დასახული სისტემისათვის ერთი მათგანი აუცილებლად უნდა იქნეს ცენტრალური პროექცია, მეორე კი ორთოგონალური.

ეპიურაზე ორთოგონალური პროექციის შენარჩუნება იძლევა ყველა იმ უპირატესობის გამოყენების შესაძლებლობას, რომელიც დამახასიათებელია საერთოდ ორთოგონალური გეგმილებისათვის; ცენტრალური პროექციის არსებობა კი ყოველგვარი სივრცობრივი კომპოზიციის უშუალოდ პერსპექტივაში აგების საშუალებას გვაძლევს.

ამიტომ ჩვენს ეპიურაზე ცალსახად დაკავშირებული ორთოგონალური და ცენტრალური პროექციის მისაღებად, ორიგინალს ვაგეგმილებთ თარაზულ გეგმილთ სიბრტყეზე ორთოგონალურად, შვეულზე კი — ცენტრალურად.



ნახ. 1

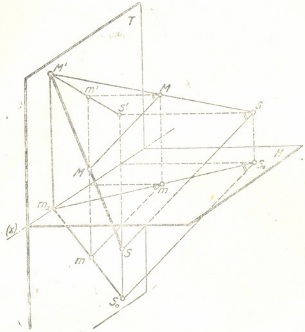
მონჟის მეთოდისაგან განსხვავებით, დაგეგმილების სივრცობრივი აპარატიდან ეპიურაზე გადასვლის დროს, გეგმილთ სიბრტყეების შეთავსების ნაცვლად სივრცის ყველა ელემენტს მათ თარაზულ გეგმილებთან ერთად პარალელურად ვაგეგმილებთ შვეულ სიბრტყეზე (ნახ. 2).

პარალელური გეგმილების მიმართულების შერჩევის დროს ვხელმძღვანელობთ მხოლოდ იმ განზრახვით, რომ სივრცობრივი აპარატიდან ეპიურაზე გადასვლის შემდეგაც თარაზული გეგმილი შევინარჩუნოთ დაუმახინჯებლად. გეგმილთ სიბრტყეებს შორის კუთხე 90°-ს უდრის, ამიტომ დაგეგმილების მიმართულება აღებულია მათთან 45°-ის დახრით.

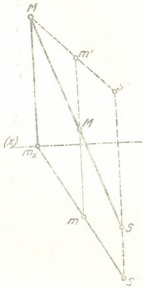
ამგვარი გარდაქმნების შედეგად მიღწეულია ახალი შესაბამისობა ორიგინალის ცენტრალურსა და ორთოგონალურ გეგმილებს შორის. ახალ ეპიურაზე (ნახ. 3) არსებობს შემდეგი ელემენტები: გეგმილთ ღერძი (X), შვეულად მაგეგმილებელი სხივების ცენტრი S, იმავე ცენტრის თარაზული გეგმილი S_0, ორიგინალის თარაზული გეგმილი m (ყველა ეს ელემენტი დაგეგმილებულია ეპიურაზე 45°-ით) და, ბოლოს, ორიგინალის ცენტრალური პროექცია (M').

აღწერილი ეპიურის საფუძველზე ჩვენ მიერ გადაწყვეტილია გეომეტრიული ელემენტებისა და მათი შესაძლო კომბინაციის შემდეგი ძირითადი საკითხები: ხაზისა და სიბრტყის უმთავრეს მდებარეობათა განსაზღვრა, ხაზებისა და სიბრტყეების კვლების პოვნა, ორი სიბრტყის თანკვეთის ხაზის პოვნა, ხაზისა და სიბრტყის თანკვეთის წერტილის პოვნა, გეომეტრიული ელემენტების ნამდვილი ზომების დადგენა, ტანების თანკვეთა სიბრტყით და, ბოლოს, ორი ტანის თანკვეთის აგება უშუალოდ პერსპექტივაში.

დასახელებული საკითხებიდან ჩვენ აქ განვიხილავთ მხოლოდ ორი ტანის თანკვეთის აგებას, რადგან სწორედ ეს ამოცანა იძლევა თეორიულ საფუძველს რთული სივრცობრივი კომპოზიციების უშუალოდ პერსპექტივაში აგებისათვის.



ნახ. 2



ნახ. 3

2. ტანების თანკვეთა

ავიღოთ ორი ხუთწახნაგოვანი პირამიდის თანკვეთის ისეთი შემთხვევა, როდესაც ერთი მათგანის ფუძე თარაზულ სიბრტყეზე დევს, ხოლო მეორის ფუძე ზოგადი მდებარეობის სიბრტყეს წარმოადგენს (ნახ. 5).

ამ ამოცანის გადაწყვეტა შეიცავს ხაზისა და სიბრტყის თანკვეთის წერტილის პოვნას და, როგორც ცნობილია, მისი მსვლელობა პროექტირების ყოველგვარ მეთოდში შემდეგი ეტაპებით განისაზღვრება (ნახ. 4).

1) მოცემული ტანების ფუძეებზე უნდა გატარდეს სიბრტყეები და განისაზღვროს მათი თანკვეთის ხაზი (MN);

2) განისაზღვროს მოცემული პირამიდების წვეროების შემაერთებელი სწორი ხაზის გადაკვეთის წერტილები ფუძეებზე გატარებულ სიბრტყეებთან K_1 და K_2);

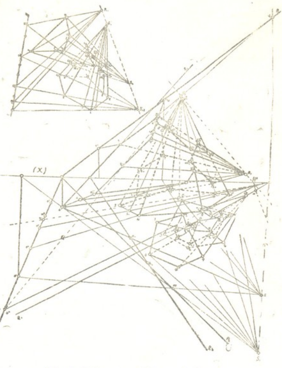
3) ერთი პირამიდის წიბოების მეორე პირამიდის წახნაგებთან თანკვეთის წერტილების საპოვნელად აღნიშნულ წიბოებზე უნდა გატარდეს სიბრტყეები, გამავალი მეორე პირამიდის წვეროზე. უნდა მოიძებნოს გატარებული სიბრტყეების თანკვეთის ხაზები მეორე პირამიდასთან, რომელთა კვეთა შესაბამის წიბოებთან იძლევა საძიებელ წერტილებს.

ამრიგად, ორთოგონალურ გეგმილებში თანკვეთის ყოველი წერტილის საპოვნელად საჭიროა ოთხი დამხმარე ხაზის გატარება.

თუ განვიხილავთ იმავე წერტილების პოვნისათვის საჭირო აგებებს ცენტრალურ პროექციაში (ნახ. 5), დავინახავთ, რომ თანკვეთის ყოველი წერტილის საპოვნელად ჩვენთან საჭიროა მხოლოდ 3 დამხმარე ხაზის გატარება, ე. ი. ერთი დამხმარე ხაზით ნაკლებისა, ვიდრე ორთოგონალურ პროექციებში.

ეს სწორედ ის ერთი გამორიცხული ხაზია, რომელიც გამოსახავს ორთოგონალურ გეგმილებში წიბოზე გატარებული სიბრტყისა და პირამიდის ფუძეზე გამავალი სიბრტყის ერთსახელა კვლების თანკვეთის წერტილის ღერძზე დაგეგმილებას.

ცენტრალურ პროექციაში ვიპოვოთ $2'_0$ წერტილი. ამისათვის $0'_1$ $5'$ წიბოზე გატარებულია სიბრტყე, რომლის სასურათო კვალი $5'H'$ ხაზია.



ნახ. 4 (ზემოთ) და ნახ. 5 (ქვემოთ)

გატარებული სიბრტყის მეორე პირამიდის ფუძის სიბრტყესთან გადაკვეთის ხაზის პერსპექტივის მისაღებად საკმარისია მეორე პირამიდის ფუძის სიბრტყისა და გატარებული სიბრტყის სასურათო კვლების გადაკვეთის n_5 წერტილი შევაერთოთ K' წერტილთან (პირამიდის წვეროების შემაერთებელი ხაზის გადაკვეთის წერტილი მეორე პირამიდის ფუძის სიბრტყესთან). აგების სწორედ ამ ეტაპზე ჩანს ცენტრალურ პროექციაში ზემოთ აღნიშნული ხაზის გამორიცხვის შესაძლებლობა.

n_5 K' ხაზისა და $9'$ $10'$ ხაზის ურთიერთ გადაკვეთით ვღებულობთ 2_1 წერტილს, რომლის მეორე პირამიდის $0'_2$ წვეროსთან შეერთებით მივიღებთ წიბოზე გატარებული სიბრტყის გადაკვეთას პირველი პირამიდის $9'_1 10' 0'_2$ წახნაგთან; ამ $(2_1 0'_2)$ ხაზის გადაკვეთა $5' 0'_1$ წიბოსთან გვაძლევს საძიებელ $2'_0$ წერტილს.

ამგვარი შედარებით ცხადია, რომ მიღწეულია გამარტივება სივრცის ტანების თანკვეთის გადაწყვეტაში ორთოგონალური პროექციების მიმართ, რაც საფუძველს გვაძლევს იმავე ამოცანის აქ წარმოდგენილი გრაფიკული გადაწყვეტა ცენტრალური პროექციებისათვის გაცილებით მარტივად ჩავთვალოთ.

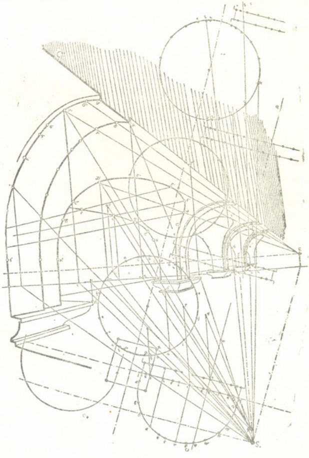
3. პრაქტიკული მნიშვნელობა

ტანების თანკვეთის ამოცანის განხილვიდან ცხადად ჩანს, რომ დასახული სისტემის გამოყენება უფრო ეფექტური იქნება მრავალწახნაგა ტანებისა და მრუდი პირეულების გადაკვეთის რთული შემთხვევებისათვის. ქვემოთ განხილულ ამ ტიპის მაგალითებზე დავრწმუნდებით, რომ ყველა გრაფიკული აგება და საბოლოოდ მიღებული პერსპექტიული გამოსახულება განირჩევა სრული თვალსაჩინოებით, რაც საგრძნობლად აჩქარებს ამოცანის გადაწყვეტის მსვლელობას.

მეექვსე ნახაზზე ნაჩვენებია მოსკოვის მეტროპოლიტენის „სოკოლის“ სადგურის ინტერიერის აგება, აღწერილი ეპიურას გამოყენებით, რაც სიმარ-

ტივისა და გაზომვის მოხერხებულობის მხრივ. საგრძნობლად განირჩევა ამგვარი ინტერიერების აგების სხვა ხერხებისაგან.

მოცემული გეომეტრიული სქემის მიხედვით ადვილი მისახვედრია, რომ აქ უმთავრეს ამოცანას წარმოადგენს თარაზული და შვეული ცილინდრების თანკვეთის სივრცის მრუდის აგება. პერსპექტივაში. აღნიშნული მრუდი არის გეომეტრიული ადგილი ისეთი წერტილებისა, რომლებიც ერთდროულად მდებარეობენ როგორც თარაზულ, ისე შვეულ ცილინდრებზე, ამიტომ შვეული ცილინდრების თარაზულ გეგმილებზე და თარაზული ცილინდრების შვეულ გეგმილებზე შესაბამისად აღებული ძირითადი (*abcdef* და *a'b'c'd'e'f'*) წერტილები იქნება საძიებელი სივრცის მრუდზე მდებარე წერტილების თარაზული და შვეული გეგმილები, რომელთა პერსპექტივების ერთობლიობა მოგვცემს საძიებელი სივრცის მრუდის პერსპექტიულ გამოსახულებას.



ნახ. 6

მარჯვენა თარაზული ცილინდრის შვეულ გეგმილზე (ჭრილზე) აღნიშნულია საძიებელი წერტილების შვეული გეგმილები: *a'b'c'd'e'f'* და ა. შ., რომელთა დაშორებებით თარაზული სიბრტყიდან განისაზღვრება შესაბამისი წერტილების სიმაღლეები. ჩვენი ეპიურით წერტილის პერსპექტივის აგებისათვის სრულიად საკმარისია მისი თარაზული გეგმილისა და სიმაღლის ცოდნა; ასე, მაგალითად, D' წერტილის საპოვნელად d წერტილიდან შვეულ ხაზზე გადაზომილია მისი სიმაღლე d' წერტილამდე; S_0-დან d წერტილზე გატარებულია მაგეგმილებელი სხივის თარაზული გეგმილი ღერძთან გადაკვეთამდე, საიდანაც აღმართულია მართობი Sd' მაგეგმილებელი სხივის გადაკვეთამდე, და მიღებულია წერტილი D', D წერტილის საძიებელი პერსპექტიული გამოსახულება.

ასეთივე აგებით ვღებულობთ საძიებელი მრუდის სხვა წერტილებსაც ($A'B'C'E'F'$.... და ა. შ. ნახაზზე ნაჩვენებია მხოლოდ D' წერტილის აგება). საგულისხმოა, რომ, თუ აღწერილი წესით ავაგებთ პირველი შვეული ცილინდრის გადაკვეთის მრუდებს ორივე თარაზულ გვირაბთან, დანარჩენი ანალოგიური მრუდები ხელმეორედ აგებას არ მოითხოვს. გვირაბების ღერძების თავმოყრის F_1 წერტილის დახმარებით ვიპოვით დანარჩენი საძიებელი მრუდების უმთავრესი წერტილების პერსპექტიულ გამოსახულებას. ყველა დამატებითი არქიტექტურული დეტალის აგება გაცილებით თვალსაჩინოა და მხოლოდ ანალოგიურ გრაფიკულ აგებათა ამოცანას შეიცავს.

არსებული ხერხებით ასეთივე რთული სივრცობრივი კომპოზიციის აგება მოითხოვს წინასწარ გეგმის პერსპექტივის აგებას, რომელზედაც შემდეგ აიგება თვით სივრცობრივი კომპოზიციის პერსპექტიული გამოსახულება. ასეთი აგება (როგორც პირველი, ისე მეორე ეტაპი) საგრძნობ სიძნელეებს შეიცავს და არსებულ ხერხებს უპირატესობა შეიძლება მიენიჭოს მხოლოდ მაშინ, როცა გვაკმაყოფილებს ფრონტალური პერსპექტივის აგება.

სურ. 1. „ოშკი“

მართლაც, ფრონტალურ პერსპექტივაში განივი თაღები, გვირაბები და ყველა განივი ჭრილი სასურათო სიბრტყის პარალელურ სიბრტყეებში მოიქცევა და მათი აგება პერსპექტივაში ნაპოვნი ცენტრებიდან მხოლოდ ჩვეულე-

ბრივი წრეხაზების შემოხაზვას მოითხოვს. ამასთან, თავმოყრის მხოლოდ ერთი წერტილის არსებობა ამარტივებს როგორც სიღრმის, ისე განივი მასშტაბით სარგებლობას. სწორედ ასეთი წესითაა აგებული მეტროპოლიტენის სადგურის ინტერიერი [1].

გარდა ამისა, დასახული სისტემის პრაქტიკულად გამოყენება მეტად ნაყოფიერი აღმოჩნდა ძველი ქართული ძეგლების სივრცობრივი რესტავრაციის დროს. ამას ცხადყოფს თუნდაც სამხატვრო აკადემიის არქიტექტუ-

სურ. 2. მცხეთის „სვეტიცხოველი“

რის ფაკულტეტის სტუდენტთა მიერ შესრულებული პერსპექტივები. საილუსტრაციოდ აქ წარმოდგენილია ოსმალეთის მიერ მიტაცებული X საუკუნის ქართული ძეგლის „ოშკის“ პერსპექტივა (სურ. 1. „ოშკი“). აღნიშნული პერსპექტივა შესრულებულია საქართველოს ხელოვნების მუზეუმში არსებული ძველი ორთოგონალური ანაზომების საფუძველზე; იგი იძლევა ისეთ პერსპექტიულ ხედს, რომლის ნახვის ან ფოტოგრაფიულად გადაღების შესაძლებლობა ამ-

ქამად ჩვენ აღარ გვაჩნია, რადგან საბჭოთა ტერიტორიის გარეთ დარჩენილი ძეგლები ხანგრძლივი მოუვლელობის გამო, ძლიერ დაზიანდა.

შედარებისათვის აქვე ნაჩვენებია დღემდე უვნებლად შენახული XI საუკუნის მცხეთის „სვეტიცხოვლის" პერსპექტივა, რომელიც მზერის წერტილის სწორი შერჩევის შედეგად აღნიშნული ძეგლის საუკეთესო ხედს იძლევა (სურ. 2. მცხეთის „სვეტიცხოველი").

აღნიშნული მაგალითებიდან ცხადია, რომ ამგვარი ამოცანების გადაწყვეტის დროს დასახული სისტემის გამოყენება მნიშვნელოვან პრაქტიკულ ნაყოფს მოგვცემს.

დასკვნები

1. ორი ორთოგონალური პროექციით ერთდროულად სარგებლობა აბრკოლებს ტანების ფორმისა და მდგომარეობის შესახებ მთლიან მხედველობითს წარმოდგენას; ამით აიხსნება ორთოგონალური პროექციების ნაკლები თვალსაჩინოება. მიუხედავად იმისა, რომ დასახულ სისტემაშიაც ამოცანების გრაფიკული ამოხსნა წარმოებს ორიგინალის ორ პროექციაზე შეუღლი ორთოგონალური პროექციის ცენტრალური გეგმილით, შეცვლა გაცილებით უფრო თვალსაჩინოს ხდის ამოცანის მსვლელობას.

2. დასახულ სისტემაში მიღწეული კავშირი ორთოგონალურსა და ცენტრალურ პროექციას შორის შესაძლებელს ხდის მათი ცალკეული უპირატესობების ერთდროულ გამოყენებას. ეს განსაკუთრებით ნათელია ორი ტანის თანკვეთის მაგალითიდან, სადაც ცენტრალურ პროექციაზე წარმოებული ყველა გრაფიკული აგება და საბოლოოდ მიღებული თანკვეთის გამოსახულება განირჩევა სრული თვალსაჩინოებით, რაც აჩქარებს ამოცანის გადაწყვეტას.

3. დასახული სისტემით ტანების თანკვეთის ამოცანის გადაწყვეტა გამარტივებულია ორთოგონალური პროექციების მიმართაც კი, რაც საფუძველს გვაძლევს ამოცანის გრაფიკული გადაწყვეტა ჩავთვალოთ გაცილებით უფრო მარტივად ცენტრალურ პროექციაში არსებულ სხვა ხერხებთან შედარებით.

4. დასახული სისტემის პრაქტიკული გამოყენება შემოიფარგლება ამოცანების გარკვეული ჯგუფით:

ა) კომპოზიციები, რომლებიც შეიცავს სხვადასხვა მიმართულების ხაზების დიდ რაოდენობას;

ბ) კომპოზიციები, რომლებიც შეიცავს სხვადასხვა ბრტყელ და სივრცობრივ მრუდებს;

გ) კომპოზიციები, რომლებიც წარმოადგენს ტანების თანკვეთის რთულ შემთხვევებს.

ძველი ქართული არქიტექტურული ძეგლების პერსპექტიული გამოსახულებაც სწორედ ამგვარი ამოცანების კომპლექსს შეიცავს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
სამშენებლო საქმის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 31. 7. 1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. И. Добряков. Сборник задач по курсу начертательной геометрии, М.-Л. стр. 303, 1941.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 3, 1952

ტექნიკა

ი. შენგელია

სამუშაოს წარმოების რაციონალური მეთოდის შერჩევის საკითხისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 14.2.1952)

ცალკეული სამშენებლო პროცესების შესასრულებლად ამჟამად გამოყენებულია სხვადასხვა მეთოდი — ხელის, ნახევრადმექანიზებული, მექანიზებული და ბოლოს ინდუსტრიული მეთოდი. თითოეული მათგანის გამოყენება შესაფერის პირობებში თავის გამართლებას პოულობს; ასე, მაგალითად, სამუშაოს მცირე მოცულობა, ოპერაციათა სხვადასხვაობა, სამუშაო ფრონტის გაბნეულობა, როგორც წესი, ხელის იარაღებით მუშაობას მოითხოვს, უკეთეს შემთხვევაში კი ნახევრად მექანიზაციას; პირიქით, მასობრივი სტანდარტული მშენებლობა ერთმანეთთან ახლოს მდებარე სამუშაო ფრონტებით ყველა პირობას ქმნის სამშენებლო პროცესების მექანიზაციისათვის. გარდა ამისა, მშენებლობის სტანდარტიზაციასა და გამსხვილებას თან სდევს მრავალი ოპერაციის ინდუსტრიალიზაცია [2, 3]; ეს ღონისძიებანი საშუალებას იძლევა ავამაღლოთ შენების ეკონომიურობა, რაც სავსებით შეესაბამება ხელმძღვანელი ორგანოების მოთხოვნებს [1].

სამუშაოთა წარმოების რაციონალური მეთოდის შერჩევაში (თანაბარ პირობებში) განმსაზღვრელად ეკონომიურობის ფაქტორი ითვლება. ამიტომ საჭიროა ყოველ ცალკე შემთხვევაში ზუსტად და დასაბუთებულად მივუთითოთ, თუ მექანიზაციის რომელი მეთოდი იქნება ყველაზე მეტად შესაფერისი სხვა არსებულ მეთოდთან შედარებით.

სამშენებლო სამუშაოთა წარმოების ორგანიზაციის პროექტის შედგენისას სამუშაოთა წარმოების მეთოდის საკითხის გადაწყვეტის დროს ყოველთვის როდი ხერხდება სწორი გადაწყვეტილების ადვილად მიღება და უფრო ხშირად გვიხდება მივმართოთ სხვადასხვა შესაძლო ვარიანტის შედგენა-შედარებას; ამ გზას უმრავლეს შემთხვევაში უხეშ მიახლოებამდე მივყავართ, რაც მექანიზმების არასრულ გამოყენებასა და სახსრების გადახარჯვასთანაა დაკავშირებული.

ამ შრომის მიზანს შეადგენს სამშენებლო პროცესების წარმოების ეკონომიური მეთოდის შერჩევის ანალიზური გადაწყვეტა, რაც მნიშვნელოვნად შეამსუბუქებს ინჟინერ-მგეგმავისა და სამუშაოთა მწარმოებლის შრომას და ამ საქმეში უზრუნველყოფს სახელმწიფო სახსრების მაქსიმალურ ეკონომიას.

მივიღოთ შემდეგი აღნიშვნები:

V — შესასრულებელი სამუშაოთა მოცულობა (კუბური მეტრობით);

β — მექანიზმის მონტაჟისა და დემონტაჟის ღირებულება (მანეთობით);

T—მექანიზმის ტრანსპორტირების ღირებულება მექანიზაციის პარკიდან სამუშაო ადგილამდე და უკან (მანეთობით);

t_1—მექანიზმის მონტაჟისა და დემონტაჟისთვის საჭირო დრო (დღე-ღამეებით);

t_2—მექანიზმის ტრანსპორტისათვის საჭირო დრო (დღე-ღამეებით);

a—ერთი კუბური მეტრი პროდუქციის ხელის იარაღებით დამზადების ღირებულება (მანეთობით);

b—ერთი კუბური მეტრი პროდუქციის მექანიზებული მეთოდით დამზადების ღირებულება (მანეთობით);

c—მექანიზმის საიჯარო ღირებულება (მანეთობით დღე-ღამეში).

სამუშაოს მექანიზებული წესით შესრულება საჭირო პერიოდში მოიცავს ზედნადებ ხარჯებს მექანიზმის ტრანსპორტირებაზე, სამონტაჟო სამუშაოებსა და იჯარის გადახდაზე, რაც შეადგენს:

$$\beta + T + c\,(t_1 + t_2).$$

ხვედრითი ხარჯი (მზა პროდუქციის ერთ კუბურ მეტრზე) არის

$$\frac{\beta + T + c\,(t_1 + t_2)}{V}.$$

ამიტომაც მექანიზებული მეთოდით პროდუქციის ერთი კუბური მეტრის დამზადების ღირებულება იქნება

$$\frac{\beta + T + c\,(t_1 + t_2)}{V} + b.$$

ცხადია, რომ მოცემული სამშენებლო პროცესის მექანიზაცია ეკონომიურად გამართლებული იქნება მხოლოდ იმ შემთხვევაში, როცა

$$\frac{\beta + T + c\,(t_1 + t_2)}{V} + b \leqq a.$$

საიდანაც

$$V \geqq \frac{\beta + T + c\,(t_1 + t_2)}{a - b}. \tag{1}$$

ამგვარად, ყოველ ცალკეულ შემთხვევაში ჩვენ შეგვიძლია მივუთითოთ მოთხოვნილი პროდუქციის იმ მინიმალურ მოცულობაზე, რომლის დროსაც მექანიზაციის აღებული მეთოდი ეკონომიურად გამართლებულია ხელის იარაღებით მუშაობასთან შედარებით.

ისეთ შემთხვევაშიც კი, როცა გვინდა ერთმანეთს შევადაროთ სამუშაოს წარმოების სხვა მეთოდები, ზემოთ ნაჩვენები საანგარიშო ფორმულა მსგავს სახეს ინარჩუნებს.

თუ სამშენებლო მოედანზე გამოყენებულია არასტაციონალური მექანიზმები (დასაშლელ-ასაკრები, გადასაადგილებელი, მოძრავი), მაშინ (1) ფორმულაში მონტაჟისა და დემონტაჟის ხარჯები (β) განმეორდება $N_{\min}$-ჯერ, სადაც $N_{\min}$-ით დადგმულობის პოზიციათა მინიმალური რიცხვია აღნიშნული. ეს სიდიდე, მექანიზმის მოქმედების რენტაბელური რადიუსის გათვალისწინებით, განისაზღვრება ფორმულით

$$N_{\min} = \frac{l}{\sqrt{\frac{\beta}{2kc_0}}},$$

სადაც l წარმოადგენს სამუშაო ფრონტის სიგრძეს (მეტრობით);

k გრძივ მეტრზე ერთეულების რიცხვია (ჯერი, კვადრატული მეტრი, კუბური მეტრი);

c_0 მექანიზმიდან მიღებული პროდუქციის ერთეულის გადატანის ღირებულებაა ერთ მეტრზე, რაც სამშენებლო მოედნის ფარგლებში მოცემული გზის ტიპისა, ტვირთის ჯგუფისა და გამოყენებული ტრანსპორტის სახისთვის მუდმივად მიიღება [4, 5].

გარდა ამისა, გამოჩნდება საჭირო დამატებითი ხარჯები მექანიზმის ერთი პოზიციიდან მეორეზე გადატანისათვის

$$\sum_{1}^{N} T_i$$

და მექანიზმის ასეთ გადაადგილებათა პერიოდისათვის საიჯარო ხარჯები

$$c\sum_{1}^{N} t'_i.$$

ამ ხარჯების გათვალისწინებით სამუშაოს წარმოების რაციონალური მეთოდის შესარჩევი ფორმულა, არასტაციონალური მექანიზმებით სარგებლობის შემთხვევაში, მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$V \geqq \frac{N_{\min}\beta + T + c\left[(t_1 + t_2) + \sum_{1}^{N} t'_i\right] + \sum_{1}^{N} T_i}{a-b}. \qquad (2)$$

ზემოთ ჩატარებული გაანგარიშება შეეხებოდა შემთხვევას, როცა ერთი მექანიზმი გამოიყენებოდა. რადგან სამუშაოს წარმოებისათვის საჭირო დრო მცირდება ერთდროულად მომუშავე მექანიზმების რიცხვის გაზრდით, ამიტომ ცალკე მოცემული შემთხვევისათვის გარკვეული მნიშვნელობა ენიჭება ერთდროულად მოქმედი მექანიზმების მაქსიმალური რენტაბელური რიცხვის განსაზღვრას (ცხადია, სამუშაო ფრონტის შესაძლებლობის გათვალისწინებით).

თუ მოქმედი მექანიზმების რიცხვს m-ით აღვნიშნავთ, მაშინ სამუშაოს ხვედრითი მოცულობა, რაც ერთ მექანიზმზე მოვა, დაახლოებით შეადგენს

$$\frac{V}{m}$$

და საანგარიშო ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{V}{m} \geqq \frac{N_{\min}\beta + T + c\left[(t_1 + t_2) + \sum_{1}^{N} t'_i\right] + \sum_{1}^{N} T_i}{a-b},$$

საიდანაც მივიღებთ:

$$m \leqq \frac{V(a-b)}{N_{\min}\beta + T + c\left[(t_1+t_2) + \sum_{1}^{N} t'_i\right] + \sum_{1}^{N} T_i}. \tag{3}$$

მიღებული შედეგიდან ცხადად ჩანს, რომ, თუ $m < 1$, მოცემული სამშენებლო პროცესის მექანიზაციას ეკონომიური გამართლება არა აქვს.

საჭიროა აღინიშნოს, რომ იმ შემთხვევისათვის, როცა გამოყენებული მექანიზმები პოზიციის შეცვლის დროს დაშლა-აწყობას არ მოითხოვს, (1), (2) და (3) ფორმულებიდან გამოირიცხება β, რითაც აღნიშნული საანგარიშო ფორმულები გამარტივდება:

$$V \geqq \frac{T + ct_2}{a-b}; \tag{1'}$$

$$V \geqq \frac{T + c\left(t_2 + \sum_{1}^{N} t'_i\right) + \sum_{1}^{N} T_i}{a-b}; \tag{2'}$$

$$m \leqq \frac{V(a-b)}{T + c\left(t_2 + \sum_{1}^{N} t'_i\right) + \sum_{1}^{N} T_i}. \tag{3'}$$

ეს ფორმულები საშუალებას გვაძლევს სამუშაოთა წარმოების მეთოდის შერჩევის კონკრეტული ამოცანები სწრაფად გადავწყვიტოთ, ამასთან გამოვრიცხოთ ვარიანტების შედგენისათვის საჭირო შრომატევადი სამუშაოები.

რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა
ვ. ი. ლენინის სახელობის
თბილისის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 14.2.1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Л. П. Берия. 34-ая годовщина Великой Октябрьской Социалистической Революции. Доклад на торжественном заседании Московского Совета 6 ноября, 1951 года, „Правда", 7|XI, 1951.
2. Д. Д. Бизюкин и др. Технология строительного производства. Москва, 1951.
3. Б. П. Горбушин и др. Общий курс строительного производства, часть III, Москва, 1945.
4. И. Н. Иванов. Строительство автомобильных дорог, часть II, Москва, 1948.
5. Н. А. Наумов. Производственные предприятия в строительстве. Москва, 1951.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 3, 1952

ნიადაგმცოდნეობა

მ. ჭანტურიშვილი

ნიადაგის ქიმიური შედგენილობის შესწავლისათვის ვაზის ქლოროზთან დაკავშირებით

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა მ. საბაშვილმა 2.6.1951)

კულტურულ მცენარეთა ქლოროზით დაავადების მოვლენები დიდი ხანია ცნობილია. ჩვენში, არსებული მონაცემებით, ქლოროზი პირველად შემჩნეულ იქნა XIX საუკუნის დამლევს. ცნობები ამის შესახებ მოყვანილია კავკასიის ფილოქსერის კომიტეტის ანგარიშებში. ქლოროზი მრავალწლეული მცენარეების (ხეხილი, ვაზი და სხვა) თანდათანობით დასუსტებასა და გახმობას იწვევს.

ვაზის ქლოროზის წარმოქმნის მიზეზების დადგენა და მის წინააღმდეგ ბრძოლის საშუალებათა დამუშავება-დასაბუთება გადაუდებელ ამოცანას წარმოადგენს. ეს გასაგებია, თუ მხედველობაში მივიღებთ იმას, რომ აღმოსავლეთ საქართველოს რიგ რაიონებში ვენახებსა და ხეხილს დიდი ფართობი უჭირავს.

წინამდებარე წერილი შეეხება ქლოროზის წარმოქმნის საკითხებს ლიტერატურაში არსებული ცნობებისა და ჩვენ მიერ ჩატარებული გამოკვლევის მიხედვით.

ქლოროზის შესახებ ვრცელი ცნობები, არსებული მონაცემების საფუძველზე, მოცემულია ა. იაჩევსკის შრომაში [9]. ქლოროზით დაავადების გამომწვევ მიზეზად ავტორი თვლის: 1) ნიადაგში რკინის ნაკლებობას, 2) კირის სიჭარბეს, 3) გვალვას, 4) ნიადაგის გადაჭარბებულ ტენიანობას, 5) ნიადაგისა და ჰაერის არასაკმარის სითბოს, 6) სოკოვან დაავადებას და 7) ცხოველთა პარაზიტებს.

ზოგი მკვლევრის აზრით, ქლოროზის გამომწვევი მთავარი მიზეზია ნიადაგში მცენარის მიერ შესათვისებელი რკინის დეფიციტი. ქლოროზის მიზეზად მიაჩნიათ ნიადაგში კარბონატების სიჭარბეც. აღნიშნული საკითხის ირგვლივ მკვლევართა შეხედულება სხვადასხვაგვარია. ზოგიერთის შეხედულებით კარბონატების ზრდასთან ერთად იზრდება ქლოროზიც, ხოლო უკარბონატო ნიადაგზე ქლოროზი არ ჩნდება. ასევე დიდ როლს აკუთვნებენ ქლოროზის გავრცელებაში ნიადაგის კარბონატულობას ა. კირსანოვი, ა. სანიკიძე და ტ. ბაქრაძე [6]. მათი აზრით, ქლოროზით ვაზის დაავადება შესაძლებელია უკარბონატო ნიადაგშიც, თუ იგი განვითარებულია ნახშირმჟავა კალციუმით მდიდარ ქანზე.

ქლოროზით ვაზის დაავადების მოვლენებს შესათვისებელი ფოსფორმჟავას დინამიკასაც უკავშირებენ. ზ. ბაღდასარაშვილის მიერ [3] ქლორო-

როზიანი ვაზის ნიადაგში აღნიშნულია შესათვისებელი ფოსფორის სიჭარბე. მისი აზრით, კირიან ნიადაგებზე ქლოროზის გამომწვევი უშუალო მიზეზი კირი კი არაა, არამედ ქიმიური გარდაქმნების შედეგად წარმოქმნილი ტუტე გარემო და კალციუმის ბიკარბონატის ჭარბი რაოდენობა. კალციუმის ბიკარბონატის დაგროვებას ნიადაგში ხელს უწყობს ორგანული ნივთიერების დაშლით წარმოქმნილი CO_2. ნიადაგში ტუტე რეაქციის შექმნით მცენარისათვის აუცილებელი ელემენტები — რკინა და ფოსფორი — გადადის უხსნად ფორმაში, რაც ხელს უწყობს ქლოროზით ვაზის დაავადებას.

ვ. მაჭარაშვილის დაკვირვებით [8], ვაზი ქლოროზით ავადდება ისეთ კარბონატულ ნიადაგებზე, რომლებიც არ შეიცავს კალციუმის სულფატს; მისი აზრით, თაბაშირიან ნიადაგებზე ვაზი უფრო გამძლეა ქლოროზის მიმართ. მის მიერ ჩატარებული გამოკვლევები გვიჩვენებს სასუქების გავლენას (N, NP, NPK და ნაკელისას) ქლოროზის შემცირებაზე. აღნიშნულია აგრეთვე ნიადაგში ხელოვნურად შეტანილი გოგირდის დადებითი გავლენა.

დემოლონი და ბასტისი [5], ახალი გამოკვლევების საფუძველზე, ქლოროზის გამომწვევ მრავალ მიზეზს ასახელებენ და მათ შორის ნიადაგში რკინის მცენარისათვის შეუთვისებელ ფორმაში გადასვლის შესაძლებლობას. ამასთან ერთად ისინი მიგვითითებენ რკინის ნაკლებობით გამოწვეული ქლოროზის ტიპზე, მისი დადგენის მარტივ მეთოდებზე ($Fe(NO_3)_2$-ის ხსნარის გამოყენებით) და მკურნალობის მეთოდზე ფერი-სილიკატურ კომპლექსში რკინით მცენარის კვების საშუალებით. აღნიშნული ავტორები რკინის გააქტივების მექანიზმს სილიკატების დამცველი როლით ხსნიან. ასევე დამცველ როლს ასრულებს მანგანუმი და სხვა კატიონები.

ამრიგად, მკვლევართა დიდი უმრავლესობა ქლოროზის წარმოქმნის ძირითად მიზეზად ნიადაგში კირის სიჭარბესა და უხსნად ფორმაში მყოფ რკინას თვლის.

როგორც ცნობილია, რკინას უდიდესი მნიშვნელობა აქვს მცენარეთა და ცხოველთა კვების ფიზიოლოგიურ პროცესში. მცენარის ზრდისა და გამწვანების საქმეში იგი აქტიურად მოქმედი კატალიზატორის როლს ასრულებს [7].

ექსპერიმენტული ნაწილი

საქართველოს სსრ მევენახეობის რაიონებში ვაზის ქლოროზის შესწავლას, მის წინააღმდეგ ბრძოლის ღონისძიებათა დადგენის მიზნით, აწარმოებენ საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ბოტანიკის, მევენახეობა-მეღვინეობის, მცენარეთა დაცვისა და ნიადაგმცოდნეობის ინსტიტუტები. დადგენილია ქლოროზის გავრცელების ძირითადი კერები, სხვადასხვა რაიონში მისი გამომწვევი მიზეზები და ამ მხრივ საძირეების დიდი როლი; კერძოდ, დადგენილია ქლოროზის მიმართ ბერლანდიერის ჰიბრიდებზე დამყნილი ვაზების დიდი გამძლეობა.

ნიადაგმცოდნეობის ინსტიტუტმა მიზნად დაისახა ქლოროზის დაავადებაში ნიადაგური პირობების როლის შესწავლა და ეს მუშაობა ჩაატარა

მარნეულისა და ბოლნისის რაიონებში. ქლოროზით დაავადებული ამ რაიონების ვენახების ნიადაგის შესწავლა ჩაატარა ი. ბ ა რ ა თ ა შ ვ ი ლ მ ა. ამ გამოკვლევის შედეგად [1,2] დადგენილია, რომ ქლოროზი მეტადაა გავრცელებული კარბონატებით მდიდარ კულტურულ და წაბლა ნიადაგებზე (სარწყავებზე), განსაკუთრებით ისეთ ვენახებში, რომლებიც ძლიერ ირწყვის; ქლოროზი მეტადაა გამოსახული მძიმე მექანიკური შედგენილობის ნიადაგებზე; უფრო მეტად ავადდება ალიგოტესა და საფერავის ჯიშის ვაზები. ძლიერი დანესტიანება ხელს უწყობს ქლოროზით ვაზის დაავადებას აგრეთვე კირით ღარიბ ნიადაგებზეც.

სტაციონარულმა დაკვირვებებმა შაუმიანსა და სადახლოში ცხადყო, რომ გაზაფხულზე ქლოროზის მეტი ინტენსივობა, სხვა მიზეზებთან ერთად, დაკავშირებულია ნიადაგში რკინისა და ფოსფორის შენაერთების სიმცირესთან და, მეორე მხრივ, წლის ამ პერიოდში ნიადაგის მეტ ტენიანობასთან (ნალექების სიჭარბისა და მორწყვის ზეგავლენით). ზაფხულის დამლევს ნიადაგში მცირდება რკინისა და ფოსფორის რაოდენობა, ამით სუსტდება ქლოროზის გამოსახულებაც.

ჩვენს მიზანს შეადგენდა ქლოროზთან დაკავშირებით ნიადაგში რკინის შემცველობისა და ფორმების შესწავლა და ხსნადი რკინის შესწავლის მეთოდის დაზუსტება. კვლევისათვის ჩვენ ავიღეთ მარნეულის რაიონის კულტურული და წაბლა ნიადაგების (სარწყავების) ნიმუშები.

კულტურულ (სარწყავ) ნიადაგებს, ი. ბარათაშვილის აზრით, მორწყვის მეტი ხანგრძლიობის შედეგად უფრო მეტად აქვს შეცვლილი პირველადი სახე. მათ შედარებით ღრმა ფენებშიც კი უფრო ღრმა პროფილი და ჰუმუსიანობა ახასიათებს. მექანიკური შედგენილობით ეს ნიადაგები თიხებსა და მძიმე თიხნარებს წარმოადგენს. ეს პირველი ცხრილის მონაცემებიდან ჩანს.

წაბლა ნიადაგებს (სარწყავს) ჰუმუსიანი ფენები ნაკლები სისქისა აქვს, რწყვის გავლენა მათ შედარებით ნაკლებად ემჩნევა; მეტია მათი კარბონატულობაც.

მოგვყავს აღნიშნული ნიადაგების მექანიკური და ქიმიური შედგენილობის მონაცემები (იხ. ცხრილი 1).

აღნიშნულ ნიადაგებს კარგი აგრეგატული შედგენილობა აქვს, რაც უმთავრესად კალციუმის კარბონატების ზეგავლენით აიხსნება.

როგორც ვხედავთ, კულტურული ნიადაგი (სარწყავი) უფრო აგრეგირებულია ქვედა ფენებში, ვიდრე წაბლა ნიადაგი.

როგორც ქიმიური ანალიზებიდან ჩანს, კულტურულ და წაბლა ნიადაგებში (სარწყავებში) ჰუმუსისა და აზოტის შემცველობა როგორც საღ, ისე დაავადებულ ვენახში თითქმის ერთნაირადაა წარმოდგენილი. რაც შეეხება შესათვისებელ ფოსფორს, ის მეტია კულტურულ ნიადაგებში, ვიდრე წაბლა ნიადაგებში.

ლაბორატორიული კვლევისათვის საჭირო ნიმუშები აღებულ იქნა როგორც ქლოროზით დაავადებულ, ისე საღ ვენახებიდან. ხსნადი რკინის განსაზღვრისათვის დამაკმაყოფილებელი მეთოდის უქონლობამ გვაიძულა შეგვესრულებინა სათანადო მეთოდური ხასიათის მუშაობა.

ცხრილი 1

კულტურული ნიადაგების (სარწყავის) მექანიკური შედგენილობა Nacl დამუშავებით

ადგილმდებარეობა და ნიადაგი	ჭრილის №№ და ვაზის მდგომარეობა	სიღრმე სმ-ით	ჰიგროსკოპული წყალი	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	0,001	ჯამი 0,0
სოფ. შაუმიანი., კულტურულ ნიადაგში (სარწყავი)	1 დაავად. ვაზი	0—20 40—50 70—80 100—110	6,34 8,41 5,86 6,77	2,43 3,17 2,70 3,17	8,01 4,57 14,81 3,38	21,76 17,19 20,31 18,68	8,41 4,72 15,78 9,38	20,30 22,45 8,00 27,55	44,09 37,90 38,40 37,85	72,80 75,07 62,18 74,78
იგივე	2 საღი ვაზი	0—20 40—60 70—80	5,63 8,75 5,64	2,10 2,82 3,39	3,89 11,60 6,16	11,61 14,80 15.74	21,61 10.00 9,60	16,14 15,04 21,32	44,65 45,38 43,79	82,40 71,42 74,71
იგივე	6 საღი ვაზი	0—20 50—60 100—110	4,93 5,42 6,05	2,88 3,17 1,59	12.78 6,35 5,29	18,79 20,41 13,78	4,10 8,53 24,10	19,36 15,05 13,40	42,09 46,48 41,84	65,55 70,06 73,34
იგივე	33 დაავადებ. ვაზი	0—20 40—50 75—85 120—130	6,53 5,20 5,90 8,50	1,44 2,03 1,30 2,62	7,57 1,76 6,57 1,01	12,47 14,55 20,70 4,45	13,00 19,11 12.60 28,42	34,82 23.26 22,83 22,81	40.70 32,29 34,95 40,69	78,52 81,66 71,43 91,92

ცხრილი 2

კულტურული და წაბლა ნიადაგების (სარწყავების) აგრეგატული ანალიზი

ადგილმდებარეობა და ნიადაგი	ჭრილის №№ და ვაზის მდგომარეობა	სიღრმე სმ-ით	>3 მმ	3—1 მმ	1—0,25 მმ	<0,25 მმ
ს. შაუმიანი, კულტურული ნიადაგი (სარწყავი)	1 დაავადებ. ვაზი	0—20 40—50 70—80	32,0 57,0 12,0	48,0 9.0 65,0	8,0 19,0 14,0	12,0 15,0 9,0
იგივე	2 საღი ვაზი	0—20 40—50 85—95	51,0 21,0 —	31,0 60,0 18,0	6,0 7,0 31,0	9,0 12,0 51,0
იგივე	53 საღი ვაზი	0—15 40—50 70—80	35,0 19,0 —	47,0 57,0 55,0	3,0 4,0 10,0	15,0 20,0 35,0

ცხრილი 3

კულტურულ (სარწყავ) და წაბლა ნიადაგებში ჰუმუსის, აზოტისა და შესათვისებელი P_2O_5 შემცველობა

ადგილმდებარეობა და ნიადაგი	ჭრილის №№ და ვაზის მდგომარეობა	სიღრმე სმ-ით	ჰუმუსი %-ით	აზოტი %-ით	შესათვისებ. ფოსფორი მ-ლგრ-ით 100 გრ. ნიად.	$CaCO_3$ %-ით
ს. შაუმიანი, ხელუხ-ბალი. კულტურული ნიადაგი (სარწყავი)	1	0—20	3,47	0,26	131,3	5,63
	დაავადებული ვაზი	40—50	2,64	0,21	130,0	6,43
		70—80	1,59	—	127,0	7,24
		100—110	1,50	—	—	8,04
იგივე	2	0—20	3,15	0,24	126,8	6.80
	საღი ვაზი	40—50	2,46	0,21	122,2	10,88
		65—75	1,79	—	120,9	12,24
		100—108	1,35	—	—	14,28
გიულ-ბალი წაბლა ნიადაგი (სარწყავი)	7	0—18	3,66	0,24	54.5	4,37
	დაავადებული ვაზი	40—50	2,30	0,15	36,1	6,36
		100—110	0,56	—	—	33,82
შაუმიანი, თას-ბალი. წაბლა ნიადაგი (სარწყავი)	41	0—20	3,66	0,22	49,8	10,20
	საღი ვაზი	45—55	1,44	0,13	37.3	12,92
		100—120	0,89	—	—	8,84

საჭირო მეთოდის შემუშავებისათვის ჩვენ ვხელმძღვანელობდით იმ ძირითადი მოსაზრებით, რომ ხსნარ მდგომარეობაში გადაგვეყვანა მოძრავი რკინის შენაერთები. ნიადაგიდან ამ ფორმის რკინის ხსნარში გადასაყვანად ავიღეთ ორი გამხსნელი: სუფთა წყალი და სუსტად დისოცირებული ლიმონის მჟავა. წყლის გამონაწურში რკინა უმნიშვნელო რაოდენობით იყო განურჩევლად იმისა, ქლოროზით დაავადებული თუ საღი ვაზისათვის იყო დამახასიათებელი ესა თუ ის ნიმუში. ამიტომ წყლის გამონაწურში რკინის განსაზღვრაზე იძულებული გავხდით უარი გვეთქვა.

მოძრავი რკინის გამოსაკვლევად მთავარი ყურადღება ჩვენ შევაჩერეთ ლიმონის მჟავას სხვადასხვა კონცენტრაციის ხსნარებზე (0, 01, 0,05, 0,3, 1,0, 2,0%). ასეთი მიდგომით ჩვენ მიზნად ვისახავდით ისეთი ოპტიმალური კონცენტრაციის გამხსნელის ექსპერიმენტულად გამონახვას, რომელიც, გამოაძევებდა რა აქტუალურად მოქმედ რკინას, ამავე დროს მაქსიმალურად ინდიფერენტული იქნებოდა სხვა შენაერთების მიმართ.

ჩატარებული ცდებით დადასტურდა მჟავას კონცენტრაციის ზრდასთან ერთად რკინის ხსნად ფორმაში მოსალოდნელი გადასვლის უწყვეტი ზრდა, თუ არ მივიღებთ მხედველობაში მცირე გამონაკლისებს, სადაც ადგილი აქვს რკინის კონცენტრაციის უმნიშვნელო შემცირებას.

ზემოთხე ცხრილში მოცემული ქიმიური ანალიზებიდან ჩანს კარბონატებისა და შესათვისებელი ფოსფორის მეტი რაოდენობა, ხოლო რკინის ნაკლე-

ცხრილი 4

ლიმონის მჟავას სხვადასხვა კონცენტრაციის გამონაწვლილში რკინის, ხსნადი ფოსფორისა და pH-ის რაოდენობა (სოფ. შაუმიანი)

$CaCO_3$ %	ჭრილის №№	0,01				0,05			0,3			1,0			2,0			ვაზის მდგომარეობა
		სიღრმე სმ-ით	Fe მგ. 100 გრ. ნიად.	P_2O_5 მგ. 100 გრ. ნიად.	pH	Fe	P_2O_5	pH	Fe	P_2O_5	pH	Fe	P_2O_5	pH	Fe	P_2O_5	pH	
5,63	1	0—10	8,50	81,80	6,42	8,12	34,0	5,7	13,03	67,4	4,38	36,66	106,3	3,88	52,67	123,9	3,79	ქლოროზიანი
6,47		40—50	2,16	29,90	5,17	2,45	47,8	4,71	15,69	75,4	4,17	37,33	94,2	3,70	58,41	116,6	3,25	"
7,24		70—80	8,46	29,80	5,19	9,56	19,6	4,86	15,12	72,3	4,17	36,45	99,2	3,67	57,03	119,7	3,29	"
8,04		100—110	12,89	35,30	5,18	12,02	47,8	4,92	19,70	79,5	4,19	25,77	137,7	3,62	44,07	156,0	3,34	"
0,8	48	0—20	9,17	—	—	15,03	—	—	56,68	—	—	94,22	—	—	103,63	—	—	საღი
0,8		40—50	17,03	—	—	22,70	—	—	38,47	—	—	66,41	—	—	83,91	—	—	"
0,8		100—110	17,62	39,5	4,87	23,17	49,8	4,66	45,93	58,6	3,60	70,17	66,0	3,38	88,45	71,8	—	"
0,79	56	0—20	11,20	39,4	—	20,47	—	—	83,74	—	—	96,30	—	—	102,58	—	—	"
0,79		50—60	27,06	21,0	5,0	32,16	10,8	5,89	61,33	—	—	90,74	—	—	104,40	—	—	"
1,19		100—110	19,94	—	—	212,19	—	—	33,36	—	—	52,40	—	—	60,49	—	—	"
26,39	62	0—10	16,94	—	—	19,0	—	—	19,01	—	—	25,01	—	—	36,44	—	—	ქლოროზიანი
24,79		50—60	13,79	165,7	5,0	14,44	142,9	4,8	15,93	207,3	4,42	21,13	—	—	49,10	—	—	"
39,20		100—110	13,95	41,8	6,55	14,26	75,8	5,98	14,60	85,9	4,87	16,96	—	—	21,99	—	—	"

ბი შემცველობა ქლოროზით დაავადებული ვენახების ნიადაგებში, ვიდრე საღი ვენახების ნიადაგში. ფოსფორის შემცველობის მიმართ ამას ადასტურებს ვ. მაჭარაშვილისა და სხვა მკვლევართა მონაცემებიც.

ამა თუ იმ ფორმის რკინის ხსნადობისას მნიშვნელობა აქვს ნიადაგის რეაქციას; ამის შესახებ მსჯელობის საშუალებას გვაძლევს ტ ე ი კ ლ უ ს ა და გ ა ა რ დ ე რ ი ს გამოკვლევები, რომელთა მონაცემებით ჩვენ ვსარგებლობთ პროფ. გ. დ ა ვ თ ი ა ნ ი ს წიგნიდან [4]. მათი გამოკვლევის თანახმად, $FePO_4$-ის ხსნადობის ორი მაქსიმუმია მიღებული: 3 pH-ზე დაბალი და 6,5 pH-ზე მაღალი. ჩვენი საკვლევი ნიადაგების pH სცილდება ამ საზღვრებს. ის მერყეობს 3,25—6,55 pH-ის ფარგლებში, რაც საშუალებას გვაძლევს ვიფიქროთ, რომ ჩვენს საკვლევ ნიადაგებში რკინა არ უნდა იყოს დაკავშირებული PO_4 ანიონთან. შესაძლებელია ვიფიქროთ, რომ აქტიური რკინის ფორმა დაკავშირებულია სხვა ანიონებთან.

ვფიქრობთ, რომ ნიადაგის ბუნებრივი ხსნარის კონცენტრაციასთან ყველაზე ახლოა $1\,^{0}/_{0}$-ანი ლიმონის ან სხვა ასეთივე დისოციაციის მჟავას ხსნარი. ხსნარის ეს კონცენტრაცია მიღებული გვაქვს ჩვენს გამოკვლევაში.

მარტო მოძრავი რკინის ფორმის დადგენა არაა საკმარისი ქლოროზის ასახსნელად, თუმცა აქაც საჭიროა ფართო და სპეციალურად შერჩეული მასალის დამუშავება; წინასწარი მოსაზრების საფუძველზე ვვარაუდობთ, რომ რკინის რეჟიმი აქ უთუოდ უფრო რთულ და მრავალფეროვან ფაქტორებთანაა შეპირობებული და სპეციალური კვლევის საგნად უნდა იქნას მიჩნეული. ექსპერიმენტულ კვლევებში, ცხადია, მთავარი ყურადღება უნდა მიექცეს მთლიანად მცენარის, მისი ცალკე ორგანოებისა და გამონაყოფების სათანადო პერიოდულ ანალიზებს.

დ ა ს კ ვ ნ ა

1. ჩვენი აზრით ნიადაგში რკინის განსასაზღვრავად მისაღებია $1\,^{0}/_{0}$-იანი ლიმონის ან ასეთივე სიძლიერის სხვა მჟავას ხსნარი, რომელიც ყველაზე მეტად უახლოვდება ნიადაგის ბუნებრივი ხსნარის კონცენტრაციას.

2. ჩვენი მონაცემებით დადასტურდა რიგ მკვლევართა შეხედულება ნიადაგში კარბონატებისა და ფოსფორის ზრდასთან ერთად ქლოროზის გაძლიერებისა და რკინის შემცირების შესახებ.

3. ჩვენი აზრით, აქტიური რკინა არ უნდა იყოს დაკავშირებული PO_4-ის ანიონთან; მეტწილად ის შეიძლება დაკავშირებული იყოს CO_3-თან ან სხვა რომელიმე ანიონთან.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ნიადაგმცოდნეობის, აგროქიმიისა და
მელიორაციის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 2.6.1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. ი. ბარათაშვილი. მარნეულის რაიონის ქლოროზით დაავადებული ვენახების ნიადაგები. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნიადაგმცოდნეობის ინსტიტუტის შრომები, ტ. II, 1949.

2. ი. ბარათაშვილი. ვაზის ქლოროზის საკითხისათვის მარნეულისა და ბოლნისის რაიონებში. საქ. სსრ მეცნ. აკადემიის მოამბე, ტომი XII, № 1, 1951.

3. ზ. ბალდასარაშვილი. კირნარ ნიადაგებზე ვაზის ქლოროზის გამომწვევი მიზეზები. საქ. სსრ მეცნიერებათა აკადემიის სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა განყოფილების VIII სამეცნიერო სესიის მოხსენებათა თეზისები, 1946.

4. Г. С. Давтян. Фосфорный режим почв Армении. Ереван, 1946.

5. А. Демолон и Е. Бастис. Направляющая роль кремнекислоты в геохимических и физиологических явлениях. Перевод с французского, 1944.

6. А. Т. Кирсанов, А. О. Саникидзе и Т. Г. Бакрадзе. Хлороз виноградной лозы в зависимости от свойств почвы и удобрений. Труды почвенного Института АН СССР, т. XIV, 1937.

7. ნ. მაქსიმოვი. მცენარეთა ფიზიოლოგიის მოკლე კურსი. თბილისი, 1946.

8. ვ. მაჭარაშვილი. ვაზის ქლოროზის მოვლენებში ნიადაგური პირობების შესწავლისათვის. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის სოფლის მეურნეობის მეცნიერებათა განყოფილების XII სამეცნიერო სესიის მოხსენებათა თეზისები, 1949.

9. А. А. Ячевский. Антракноз и хлороз. Одесса, 1911.

ენტომოლოგია

ნ. სიფრაშვილი

ზოგიერთი მონაცემი ქართლისათვის ხეხილის ახალ მავნებელ ხვატარზე—*MONIMA* (*TAENIOCAMPA*) *STABILIS* V'IEW

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. ზაიცევმა 18. 4. 1951)

ბოლო წლებში ქართლის ბაღების ჩვეულებრივ მავნე მწერთა შორის შენიშნულია ხვატრებისა და მზომელების ზოგიერთი სახეობა, რომელთა მატლები მასობრივი გამრავლების დროს ხეხილის ნარგაობას საგრძნობ ზარალს აყენებენ. მათ შორის განსაკუთრებულ ყურადღებას ხვატრის ერთი სახე *Monima* (*Taeniocampa*) *stabilis* View იქცევს, რომელსაც ქართლში მწვანე ხვატარს უწოდებენ.

ლიტერატურული მცირე მონაცემების მიხედვით აღნიშნული ხვატარი გავრცელებულია ჩრდილო-დასავლეთ, ცენტრალურ და აღმოსავლეთ რუსეთში, აგრეთვე შუა და სამხრეთ ევროპაში [5].

შუა ევროპაში *Taeniocampa* (*monima*)-ს გვარიდან ოთხი სახეობა *munda* Esp., *incerta Hufn.*, *gothica L* და *stabilis* View. ზოგჯერ შესამჩნევი რაოდენობით ჩნდება ფოთლოვან ტყის ჯიშებზე (მუხა, არყის ხე) და ვაშლზე [6].

ს. მოკრჟეცკი [1] 1898—1899 წწ. აღნიშნავდა ხეხილის დაზიანებას, გამოწვეულს ბაღის ხვატრით — *Monima stabilis* View. ამ მავნებელთან ერთდროულად ის იხსენიებდა აგრეთვე მსხლის ხვატარს — *Calimnia trapezina L.* ორივე ხვატარს ის ყირიმის ბაღებისათვის ახალ მავნებლებად თვლიდა. *Monima ineerta* ახლახან აღმოაჩინეს შუა აზიაშიც, როგორც ჭერამის მავნებელი [4]. აფხაზეთში, შავი ზღვის სანაპიროებზე, ე. მილიანოვსკიმ [2] იპოვნა *M. stabilis* View, *M. gothica L.* (გაგრა, სოხუმი) და *M. ineerta* Hufn (სოხუმი).

აღმოსავლეთ საქართველოში *Monima stabilis* View-ის მავნეობაზე ცნობების უქონლობა საბაბს გვაძლევს გამოვაქვეყნოთ ის, შედარებით პატარა, მასალა, რაც ამ უკანასკნელი ორი წლის მანძილზე გორის რაიონში ჩვენ დაკვირვებების შედეგადაა მიღებული.

ამ ხვატრის მატლების ერთეულები ჩვენ მიერ პირველად ნაპოვნია 1945 წლის გაზაფხულზე ვარიანისა და ქიწნისის (გორის რაიონი) საბჭოთა მეურნეობებში ვაშლისა და ქლიავის ფოთლებზე. უმნიშვნელო რაოდენობით ისინი შემდეგ წლებშიც გვხვდებოდა. მატლების ერთგვარ მომატებას ადგილი ჰქონდა 1949 წელს, როდესაც მატლები, გარდა გორის რაიონისა, აგრეთვე ქარელის, კასპისა და სტალინირის რაიონებშიც გავრცელდა. ხოლო 1950 წელს ეს მავნე მწერი აღნიშნულ რაიონებში ისე მასობრივად გამრავლდა, რომ ზოგიერთი მეურნეობის ბაღები, სადაც ბრძოლის ღონისძიებები დაგვიანე-

ბით ჩატარდა, ძლიერ დაზიანდა; მაისსა და ივნისში ჩავატარეთ ხეხილის ნარგავების გამოკვლევა; აღმოჩნდა, რომ ფოთლების დაზიანება ზოგიერთ ნაკვეთზე 100 %-ს უდრიდა, ხოლო ფოთლების ზედაპირი 30—50 %-ით იყო შეჭმული. ამასთან, მატლების მიერ 20—40 %-ით იყო დაზიანებული ნასკვები და ახალგაზრდა ნაყოფები.

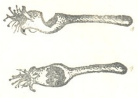
ზემოთ აღნიშნულ რაიონებში ხვატრის მატლი აზიანებს ვაშლს, მსხალს, ქლიავს, ბალს, ატამსა და სხვა ხეხილს.

სურ. 1. ხვატრის მატლების მიერ დაზიანებული ვაშლის ფოთლები

ქართლის ზოგიერთ სოფელში ამ ხვატარს ქარხლის მავნებლად თვლიან, მაგრამ ეს შეხედულება ჩვენი დაკვირვებებით არ დადასტურდა. ზოგიერთი სპეციალისტი მას შეცდომით მსხლის ხვატრად თვლის.

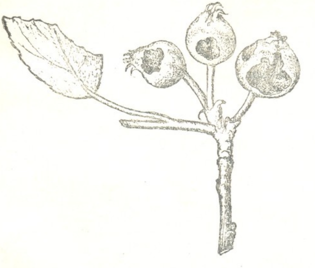
ხვატრის მატლები ვაშლის ფოთლებს ხშირად მთლიანად ანადგურებენ, ასე რომ მხოლოდ მთავარი ძარღვი რჩება (იხ. სურ. 1), ხოლო ნასკვებსა და ახალგაზრდა ნაყოფებს ნახევრამდე გამოხრავენ ხოლმე (იხ. სურ. 2 და 3).

ნასკვების დიდი რაოდენობით დაზიანება 1950 წ. შემჩნეულ იქნა აგრეთვე ბალზე. დაზიანებული ნაყოფები ჯერ გაყვითლდა და შემდეგ ჩამოცვივდა. ვაშლის შესახებ უნდა ითქვას, რომ, მართალია, დაზიანებული ნაყოფები ძირითადად ნასკვების შებერტყვისას ჩამოცვივდა, მაგრამ ხეებზე მაინც ბევრი ნაყოფი შერჩა (15—20 %), რომლის დაზიანებული ადგილები დროთა განმავლობაში საფევი ქსოვილებით დაიფარა. მიუხედავად ამისა, ნაყოფები საბოლოოდ მაინც დამახინჯებული დარჩა.



სურ. 2. ხვატრის მატლების მიერ დაზიანებული ვაშლის ნასკვები

ქართლში მწვანე ხვატარი წლის განმავლობაში ერთ თაობას იძლევა. იგი ჭუპრის სახით ნიადაგებში იზამთრებს. პეპლები გაზაფხულზე გამოდიან. 1950 წელს მეხილეობის საცდელი სადგურის (სკრა) ბაღში პეპლების პირველი გამოფრენა 17 მარტს შევნიშნეთ. გამოფრენა თანდათანობით მიმდინარეობდა და თითქმის 1,5 თვეს გაგრძელდა. დედა პეპლები კვერცხებს ვაშლის კოკრების დაბერვისა და გაშლის დროს დებენ. კვერცხებს დებენ ჯგუფად და ახალგაზრდა ტოტებსა და შტამბზე ათავსებენ. თითო ჯგუფი 40-დან 96-ზე მეტ კვერცხს შეიცავს.

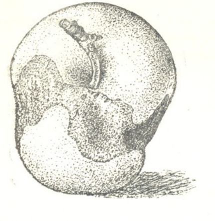


სურ. 3. ხვატრის მატლების მიერ დაზიანებული ვაშლის მოზრდილი ნაყოფები

მდედრებს კვერცხის დასადებად, როგორც ეტყობა, დამატებითი კვება ესაჭიროებათ. კვერცხების დადება პეპლების გამოფრენიდან მეოთხე-მეშვიდე დღესაა შემჩნეული. კვერცხდება, ისე როგორც პეპლების გამოფრენა, გაჭიანურებულია და თვეზე მეტს გრძელდება.

ბაღში ხვატრის მატლები კვერცხების დადებიდან 14—20 დღის განმავლობაში იჩეკებიან. ახლად გამოჩეკილი მატლები ნაკლებად მოძრაობენ და პირველ ხანებში კვერცხების ნაჭუჭს არ შორდებიან, ხოლო გამოჩეკიდან რამდენიმე საათის შემდეგ ფოთლებსა და ნასკვებზე გადადიან, რომლითაც ისინი მთელი თავისი სიცოცხლის განმავლობაში იკვებებიან. მატლებს გაუმაძღრობა ახასიათებს, განსაკუთრებით კი უკანასკნელ ორ ხნოვანებაში: ერთ

მატლს შეუძლია 3—4 ნასკვი და 6—8 ფოთოლი დააზიანოს. 1950 წელს მატლების კვერცხებიდან გამოსვლა ბაღში შემჩნეულ იქნა ვაშლის კოკრების განცალკევებისა და შეფერვის პერიოდში. ხეხილზე მატლების დიდი რაოდენობა შესამჩნევი გახდა მაისის თვეში. ეს თვე ხეხილისათვის სახიფათო პერიოდად უნდა ჩაითვალოს, რადგან მატლები ამ დროს უკვე საკმარისად მოზრდილია და ამასთან ერთად ძლიერ იკვებებიან. 1950 წლის მაისში ზოგიერთ ბაღში თითო ხეზე 600-ზე მეტი მატლი იქნა შეგროვილი.



სურ. 4. ხვატრის მატლების მიერ დამზადებული ბანანის ჯიშის ვაშლის გაზრდილი ნაყოფი

ხეხილის ბაღებში მავნე ხვატრის მატლები 1,5—2 თვის (IV, V, VI) განმავლობაში გვხვდებოდა. მატლები სრულ განვითარებას მაისის დამლევსა და ივნისის პირველ დეკადაში აღწევენ და ამის შემდეგ დასაჭუპრებლად მიდიან. დაჭუპრება მაისის მეორე ნახევრიდან იწყება და ივნისის პირველ ნახევრამდე გრძელდება. ზრდადამთავრებული მატლები ხეებიდან ჩამოდიან და ნიადაგში მიდიან ხეების ვარჯის ქვეშ, სადაც 5—10 სმ სიღრმეზე მიწისაგან აკეთებენ მოგრძო ბუდეს და შიგ 7—10 დღის შემდეგ ჭუპრდებიან. ხვატრის ჭუპრი ნიადაგში მომავალი წლის გაზაფხულამდე რჩება.

* * *

ხვატრის ახლად დადებული კვერცხი ბაცი მწვანე ფერისაა. იგი 5—7 დღის შემდეგ ღია ნაცრისფერს ღებულობს და ზემო მხრიდან შუაში ყავისფერი წერტილი აღინიშნება. ამ წერტილს ყავისფერივე წვრილი ხაზი ფარგლავს. მატლების გამოჩეკის წინ კვერცხები მუქ ყავისფერს იღებს, რის გამო

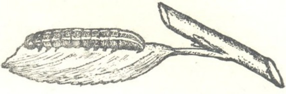
სურ. 5. ხვატრის კვერცხები

ხაზი ქრება, ხოლო შუა წერტილი ოდნავღა მოჩანს. კვერცხი მრგვალი ფორმისაა და წახნაგოვანი აგებულება აქვს.

კვერცხიდან ახლად გამოჩეკილი მატლი ბაცი მწვანე ფერისაა, მოლურჯო ელფერით, სიგრძით 2—2,5 მმ. მატლის სხეული წვრილი შავი წერტილე-

ბითაა დაფარული. მისი თავი და კეფა შავი ფერისა და ბჭყვიალაა. წინა 3 წყვილი ფეხი მუქია, დანარჩენი კი მოლურჯო. მატლი კანს ხუთჯერ იცვლის.

გაზრდილი მატლი ხორციანია, მწვანე ფერისა მოყვითალო ელფერით. ასეთივე ფერისა აქვს თავი და კეფა. მატლის ზურგზე, მთელ სიგრძეზე სამი თეთრი ხაზი გასდევს. ამასთან შუა მათგანი უფრო ვიწროა, ხოლო გვერდითი შედარებით განიერი. შუა და გვერდის ზოლებს შორის კიდევ ორი ვიწრო წყვეტილი თეთრი ხაზი გასდევს, რაც აღნიშნულ ხაზებთან შედარებით მკრთალად მოჩანს და უკანასკნელ ხნოვანებაში დაჭუპრების წინ თითქმის ქრება. მატლის მთელი ზურგი მრავალი პატარა თეთრი წერტილითაა დაფარული. გაზრდილი მატლის სიგრძე 3,5—4 სმ უდრის, თავის სიგანე კი 4 მმ. მატლს კისერზე მოყვითალო თეთრი ზოლი აქვს. ასეთივე ფერის განივი ნამგლისებრი ზოლი აქვს მას უკანასკნელ სეგმენტზე ზურგის მხრიდან.



სურ. 6. მატლი

ხვატრის მატლის დამახასიათებელ ნიშნად უნდა ჩაითვალოს მის გვერდებზე, სასუნთქი ორგანოების ირგვლივ, თეთრი ლაქები, 9—9 ლაქა თითო მხარეს. ლაქები შავი ხაზითაა შემოფარგლული.

ჭუპრი ყავისფერია, სიგრძით 15—17 მმ და სიგანით 4—6 მმ. ჭუპრის ბოლო ოდნავ წაგრძელებულია და ორი პატარა ეკლით თავდება (სურ. 7).

სურ. 7. ჭუპრი

პეპლის წინა ფრთები ყავისფერ-მოწითალოა. მათ შუაზე ნაპირთან ორ-ორი ლაქა აქვს, რაც თეთრი ხაზებითაა შემოფარგლული, ფრთების ბოლოში გარდიგარდმო ტალღისებრი ყვითელ-მოთეთრო ხაზი მისდევს. უკანა ფრთები მოყავისფრო ნაცრისფერია, ღია ფერის ფოჩებით. უნდა აღინიშნოს, რომ მამრი პეპელა მდედრთან შედარებით უფრო მუქია. პეპლის სიგრძე 15—17 მმ, ხოლო გაშლილი ფრთების სიგანე 30—32 მმ უდრის.

ხვატრის გამრავლებისა და გავრცელების ერთ-ერთ შემაფერხებელ ფაქტორად უნდა ჩაითვალოს ნალექების (თოვლის სახით) სიმცირე ზამთრის იმ თვეებში, როდესაც დიდი ყინვები და ცივი გამომშრობი ქარები იცის, რაც ქართლის სამრეწველო ბაღების რაიონებში ხშირი მოვლენაა. ასეთ პირობებში ნიადაგის ზედაფენებში მყოფი ჭუპრების გამოშრობა და გაყინვა ხდება.

სურ. 7. პეპელა

ხვატრის მატლების მასობრივი გამრავლება 1950 წლის გაზაფხულზე იმით აიხსნება, რომ ზამთრის (იანვარი, თებერვალი) პერიოდში ნიადაგი ღრმა თოვლით იყო დაფარული, რამაც ჭუპრები ქარისა და ყინვის დამღუპველი მოქმედებისაგან გადაარჩინა. მართლაც, ქართლში 1949—1950 წწ ზამთარი, ჩვეულებრივ ზამთრებთან შე-

დარებით, მდიდარი იყო ნალექებით (თოვლით). 3 თვის განმავლობაში მიწა თითქმის ყოველთვის თოვლით იყო დაფარული; დეკემბერში ტემპერატურის დიდ დაცემას ადგილი არ ჰქონია, ამ თვეში თოვლიც უმნიშვნელო იყო. დიდი ყინვები დაიჭირა იანვარსა და თებერვალში. თოვლის სიღრმეც ამ პერიოდში დიდი იყო (24 სმ აღწევდა); მრავალწლიანი მონაცემების მიხედვით კი შემოდგომა-ზამთრის თვეებში დიდი ყინვები აქ სწორედ იმ ხანებში მოდის, როცა თოვლის საფარი ან სრულიად არაა, ან უმნიშვნელოა.

ხვატრის წინააღმდეგ საბრძოლველად 1949—1950 წლებში ჩვენ მიერ გამოცდილ იქნა როგორც აგროტექნიკური, ისე ქიმიური ღონისძიებები.

ჰუპრებთან ბრძოლაში დადებითი შედეგები მოგვცა შემოდგომა-ზამთრის განმავლობაში ბაღებში ნიადაგის დამუშავებამ. ამ შემთხვევაში ნიადაგის ზედაფენებში ან ზედაპირზე მოქცეული ჰუპრები მშრალი და ცივი ქარებისა და ზამთრის ყინვებისაგან იღუპება.

ამ მავნე მწერის შემცირებას ხელს უწყობს აგრეთვე ზაფხულში (ივნისი, ივლისი, აგვისტო) ხეების ვარჯის ქვეშ ნიადაგის დამუშავება (თოხნა, კულტივაცია). თოხნის დროს ნიადაგის ზედაპირზე მოხვედრილი ჰუპრები მზის სხივებისა და მშრალი ქარების მოქმედებისაგან იხოცებიან.

გარდა ამისა, ზამთარსა და ზაფხულში ნიადაგის დამუშავების დროს ჰუპრების ნაწილს ფრინველები (ყვავები) ანადგურებენ.

ხვატრის მიერ დაზიანებული ნაკვეთების ზაფხულში მორწყვამ სასურველი ეფექტი არ მოგვცა, მორწყვის შემდეგ მეხუთე-მეშვიდე დღეს ჩატარებულმა გათხრებმა გვიჩვენა, რომ ხვატრის ბუდეები მიწაში წყლით ისე არ გაჟღენთილა, რომ ისინი დაშლილიყო, რის გამო ჰუპრებიც ცოცხლები გადარჩნენ. შესაძლებელია, შემოდგომა-ზამთარში ბაღების მორწყვამ დადებითი შედეგი მოგვცეს, რადგან მაშინ ნიადაგის უხვად გაჟღენთვა წყლით უფრო ადვილია.

ქიმიური პრეპარატებიდან პარიზის მწვანა და დ დ ტ იქნა გამოცდილი. ეს უკანასკნელი აღებულ იქნა მინერალურ ზეთში ნარევი (დიზელის საწვავი, ემულგატორი—სპილენძის აჯასპი) პასტისა და დუსტის სახით. ზემოთ აღნიშნული პირველი სამი პრეპარატი 1%-ანი ბორდოს სითხესთან ერთად იქნა გამოცდილი.

პრეპარატები გამოცდილ იქნა ლაბორატორიულ და ბაღის პირობებში როგორც ახალგაზრდა (პირველ და მეორე ხნოვანებაში) და გაზრდილი (ორ უკანასკნელ ხნოვანებაში) მატლების, ისე კვერცხების წინააღმდეგ. ლაბორატორიაში ცდები ჩატარდა აპრილის ბოლოს 16°—18° ტემპერატურის პირობებში, ხოლო ბაღში მაისის შუა რიცხვებში, თბილ მზიან ამინდში. ცდის ყოველი ვარიანტისათვის ლაბორატორიაში აღებულ იქნა ხუთ-ხუთი განმეორება, ხოლო თითო განმეორებაში — 60-დან 100-მდე მატლი ან კვერცხი; ბაღში კი ცდის თითო ვარიანტისათვის 4—6 ხე (15—18 წლის) ირიცხებოდა[1].

[1] აღრიცხული ხეების რაოდენობა მავნებლის დასახლების სიხშირით განისაზღვრებოდა.

ლაბორატორიაში ცდები ვაწარმოეთ ორ ვადაში, ხოლო ბაღში ერთხელ. მავნებელზე პრეპარატების მოქმედების შედეგები მოყვანილია პირველ და მეორე ცხრილში.

ცხრილი 1

ლაბორატორიულ პირობებში ხვატარზე პრეპარატების მოქმედების ეფექტურობა

პრეპარატები	კონცენტრაცია (პროცენტობით)	მატლები: ახალგაზრდა — რაოდენობა	მატლები: ახალგაზრდა — დაღუპვის პროცენტი	მატლები: მოზრდილები — რაოდენობა	მატლები: მოზრდილები — დაღუპვის პროცენტი	კვერცხები — რაოდენობა	კვერცხები — დაღუპვის პროცენტი
პარიზის მწვანე	0,2	380	77,1	300	56,8	—	—
დ დ ტ მინზეთების ემულსიაში	0,08	500	96,8	500	80,4	386	93
დ დ ტ-ს პასტა	0,5	300	100	500	88,3	—	—
	1	300	100	500	100	—	—
	1,5	300	100	500	100	—	—
დ დ ტ-ს დუსტი	სუფთა სახით	200	100	200	100	—	—
საკონტროლო		500	0	500	0	235	0

ლაბორატორიულ პირობებში ჩატარებული ცდების შედეგად დადგენილია, რომ ხვატართან ბრძოლაში ყველაზე ხელსაყრელ დროდ მიჩნეულ უნდა იქნეს მასობრივად კვერცხების დადებისა და მატლების გამოჩეკის დრო, რადგანაც მავნებელი ჩვენ მიერ გამოცდილი ყველა შხამის მიმართ ნაკლებ გამძლეობას იჩენს. მავნებლის კვერცხების 93% დაიღუპა იმ შემთხვევაში, როცა კვერცხებიანი ტოტები შხამებით კარგად დასველდა. სამწუხაროდ, დ დ ტ-ს პასტა და დუსტი კვერცხებზე ვერ გამოვცადეთ.

ცხრილი 2.

ბაღის პირობებში ხვატრის მატლზე პრეპარატების მოქმედების ეფექტურობა

პრეპარატები	კონცენტრაცია (პროცენტობით)	ახალგაზრდა მატლები — რაოდენობა	ახალგაზრდა მატლები — დაღუპვის პროცენტი	მოზრდილი მატლები — რაოდენობა	მოზრდილი მატლები — დაღუპვის პროცენტი	საცდელი ხეების რაოდენობა
პარიზის მწვანე	0,2	63	58,2	143	42,9	5
დ დ ტ მინზეთის ემულსიაში	0,08	58	85,4	191	08,1	6
დ დ ტ-ს პასტა	0,5	40	100	150	90,2	5
	1	52	100	135	100	5
	1,5	32	100	169	100	6
დ დ ტ-ს დუსტი	სუფთა სახით	188	100	302	100	4
საკონტროლო	—	0	0	158	0	4

პირველი და მეორე ცხრილიდან ჩანს, რომ ბაღში და ლაბორატორიაში ჩატარებული ცდების შედეგები თითქმის ერთგვარია. ამ შემთხვევაშიც (ბაღში) დიდი რაოდენობით დაიღუპა (მოქმედების სიჩქარე) ახალგაზრდა მატლე-

ბი. ნაცადი პრეპარატებიდან აქაც ყველაზე ეფექტური დდტ-ს პასტა და დუსტი აღმოჩნდა.

ყურადღება უნდა მიექცეს შემდეგ გარემოებას: დდტ-ს პასტით დამუშავებული ხეები შესხურებიდან 5—6 საათის შემდეგ მავნებლისაგან მთლიანად სუფთავდებოდა. მატლები ხეებიდან ცვივოდნენ ან ღეროზე ჩამოდიოდნენ და სხვადასხვა მხარეს მიდიოდნენ, ბალახისა და გოროხების ქვეშ მიძვრებოდნენ; უკანასკნელი ხნოვანების მატლები კი ნიადაგში ჩადიოდნენ, მაგრამ ვერ ჭუპრდებოდნენ და იხოცებოდნენ. ჩამოცვენილ მატლებს მიწითა და ვაშლის ფოთლით ვაგროვებდით, ლაბორატორიაში ვათავსებდით და მათზე დაკვირვებას განვაგრძობდით: უკანასკნელი ხნოვანების ზოგიერთ მატლს მიწისაგან ხელოვნურად გაკეთებულ ბუდეებში ვსვამდით, მაგრამ მატლები შიგ ვერ ჭუპრდებოდნენ და იხოცებოდნენ. ამავე დროს ჯანმრთელი მატლები ასეთ ბუდეებში ჩვეულებრივ ვითარდებოდნენ.

უნდა აღინიშნოს, რომ დდტ-ს პასტა, სხვა პრეპარატებთან შედარებით, როგორც ხვატრის, ისე ბაღის სხვა მავნებლის მიმართ მაღალ ეფექტს იძლევა. ამავე დროს იგი ჩქარა მოქმედი შხამია. გარდა ამისა, ამ პრეპარატის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ მისგან სამუშაო ხსნარის დამზადება მეტად ადვილია.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
მეხილეობის საცდელი სადგური
სკრა

(რედაქციას მოუვიდა 18. 4. 1951)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. С. А. Мокржецкий. Вредные животные и растения в Таврической губернии по наблюдениям 1899 года. Симферополь, 1900.
2. Е. С. Милиановский. Фауна чешуекрылых черноморского побережья Абхазии. Труды зоолог. инст-та АН Гр. ССР, т. IV, Тбилиси, 1941.
3. Список вредных насекомых СССР и сопредельных стран (под. ред. А. А. Штакельберга). Ленинград, 1932.
4. Животные Средней Азии (под. ред. Е. Н. Павловского). М.—Л., 1949.
5. A. Spiler. *Die Sehmetterlinge Europis*, Bd I. Stuttgart, 1908.
6. P. Sorauer. *Handbuch der Pflanzenkrankheiten* Bd IV. Berlin, 1925.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XIII, № 3, 1952

არქეოლოგია

გ. გობეჯიშვილი

ძველი ქართული სამთამადნო და მეტალურგიული წარმოების ნაშთები სოფ. ღებთან

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ნ. ბერძენიშვილმა 5. 2. 1952)

საქართველოსა და კავკასიის ბრინჯაოს მეტალურგიის საკითხებზე ბევრი შრომა დაწერილა. ამათგან ყველაზე სრული და მეცნიერულად დასაბუთებულია ა. იესენისა [1], [2] და ა. აფაქიძის [3] გამოკვლევები.

ზოგიერთი მკვლევარი, რომელიც ქართული ბრინჯაოს მეტალურგიის ძველი ფესვების ადგილობრივობაზე წერს, ძირითადად მიწის ღრმა ფენებიდან ამოთხრილი ლითონის მზამზარეული ნივთების ან, უკეთეს შემთხვევაში, სპილენძის ზოდების დამოწმებით კმაყოფილდება. ჩვენი აზრით, ამგვარი საბუთებით ესოდენ არსებითი საკითხი ამომწურავად ვერ გაშუქდება, ვინაიდან სპილენძის ზოდებსა და მზა ნაწარმს პოულობენ იმ რაიონებშიც, რომელთაც მეტალურგიული კერები ამარაგებდა ლითონით. ეჭვმიუტანელი რომ გახდეს ძველი წერილობითი ცნობების სიმართლე მეტალურგიის საქმეში ქართველი ტომების დამსახურების შესახებ, საჭიროა დადგინდეს მადნის ადგილობრივ მოპოვებისა და გადამუშავების ფაქტები.

ამ წერილის მიზანია სამეცნიერო წრეებსა და საზოგადოებრიობას გავაცნოთ ჩვენი ქვეყნის ერთ-ერთი უძველესი სამთამადნო და მეტალურგიული წარმოების კერა მდ. რიონის სათავეებში, რომელსაც იკვლევს საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ისტორიის ინსტიტუტი.

ცნობილია, რომ კლასიკური ბრინჯაოს ძირითად კომპონენტებს სპილენძი და კალა წარმოადგენს. იმ ქვეყნებში, სადაც ეს ლითონები არ მოიპოვებოდა, მეტალურგია დამყარებული იყო იმპორტულ მადანზე ან გადამუშავებულ ლითონზე. ძველ საქართველოში სპილენძის ადგილობრივ მოპოვება-დამუშავება ეჭვს არ იწვევს. ეს იმიტომ, რომ, ერთი მხრივ, ანტიკური დროის წერილობითი წყაროები მოსინიკებს გვაცნობენ, როგორც სპილენძის მოპოვება-დამუშავების უბადლო ოსტატებს და, მეორე მხრივ, საქართველოში დამოწმებულია სპილენძის ძველი მაღაროები.

სულ სხვაგვარად დგას ადგილობრივი კალის საკითხი. ბევრი ავტორი ფიქრობდა, რომ კალა ჩვენში გარედან შემოჰქონდათ. ა. იესენის ერთ-ერთი დამსახურება, უპირველეს ყოვლისა, ისაა, რომ მან საფუძვლიანად უარყო ეს მცდარი მოსაზრება და აღნიშნა ძვ. წ. II ათასეულიდან კავკასიაში ადგილობრივი კალის დამუშავება. მისი ვარაუდით, ამ ლითონის მოპოვება წარმოებდა: ცენტრალური კავკასიონის ორივე კალთაზე იალბუზიდან თერგამდე, ზემო რაჭაში, სამხრეთ ოსეთში, შორაპანში, გორისა და ბორჯომის რაიონებში ([2], გვ. 205).

ამ ბოლო ხანებში მართლაც ცნობილი გახდა საქართველოში კასიტერიტის ისეთი რესურსების არსებობა, რომლებიც მეტ-ნაკლებად დააკმაყო-

ფილებდა ძველი მეტალურგიის მოთხოვნილებას. მიუხედავად ამისა, არქეოლოგი ბ. კუფტინი კვლავ მოძველებულ პოზიციებზე დგას და ცდილობს დაამტკიცოს ამ ლითონის უცხოეთიდან შემოტანილობა ([4], გვ. 200—212). ბ. კუფტინის მცდარი მოსაზრება იმას ემყარება, რომ ქართულ ბრინჯაოს ნივთებში, ძვ. წ. II ათასეულის დასასრულამდე, კალის მომჭირნეობით გამოყენება შეინიშნება.

ჩვენი აზრით, ეს მოვლენა სრულიადაც არ მოწმობს კალის უცხოეთიდან შემოტანას, არამედ, უპირველეს ყოვლისა, იმას, რომ ადგილობრივ მოიპოვებოდა სხვა ლითონი, რომელსაც შეეძლო კალის მაგივრობა გაეწია. მართლაც, დასავლურ-ქართული ბრინჯაოს იარაღისა და სამკაულის ქიმიური შესწავლა გვიჩვენებს შენადნობში კალის მაგივრად ანტიმონის გამოყენებას ([5], გვ. 15—16; [6], გვ. 113). ასეთივე სურათი მიიღეს ა. აფაქიძემ [3], გ. ლომთათიძემ [17] და პროფ. გ. ნიორაძემ [16] გვიანი ბრინჯაოსა და ანტიკური ხანის აღმოსავლურ-ქართული ლითონის საგნების შესწავლის შედეგად.

ხომ არ ნიშნავს ეს იმას, რომ ანტიმონიც უცხოეთიდან შემოჰქონდათ ჩვენში? ამ საკითხზე პირველად 1940 წელს შეჩერდა ა. აფაქიძე. ეყრდნობოდა რა ქიმიური ანალიზების შედეგებს და კავკასიაში სათანადო მადნეული რესურსების არსებობას, იგი წერდა: „არ არის გამორიცხული [საქართველოში] ანტიმონის ძველი სამუშაოების აღმოჩენის შემთხვევებიც“ [3]. ასეთი სამუშაოების აღმოჩენას შეეძლო მტკიცე საფუძველზე დაემყარებინა მოსაზრება ქართული ბრინჯაოს მეტალურგიის ავტოქტონობის შესახებ. მართალია, საქართველოს სხვადასხვა კუთხეში მიკვლეულია ლითონსასხმელ სახელოსნოთა ნაშთები და სხვადასხვა ნივთის ჩამოსასხმელი ყალიბები, მაგრამ ეს კიდევ არ აძლევს საფუძველს მკვლევარს კატეგორიულად ამტკიცოს ლითონის კულტურის ადგილობრივი მადნეული რესურსების ბაზაზე განვითარება.

ზემო რაჭაში, სოფ. ღებს ახლო, ბრილში ისტორიის ინსტიტუტის არქეოლოგიური ექსპედიციის მიერ მოპოვებული მასალების შესწავლის პროცესში (1939—42 წწ.) ჩვენ იმ დასკვნამდე მივედით, რომ „ბრილის ძველი მოსახლეობა მეტალურგიაში რაციონალურად იყენებდა ადგილობრივ რესურსებს. სპილენძის მადნის ბუდობები რაჭის მთებში საკმაო რაოდენობით მოიპოვება; ანტიმონიც იშვიათი არ არის. ეს ორი ლითონი ძირითადად საკმაო იყო იმ მდიდარი ბრინჯაოს კულტურის შესაქმნელად, რომლის ნაშთები დიდი რაოდენობით შემოინახა ბრილის ნეკროპოლმა“ ([6], გვ. 117). ამ მოსაზრებას ვამყარებდით, ერთი მხრივ, ბრილში ამოთხრილი ნივთების ქიმიური შესწავლის შედეგებზე და, მეორე მხრივ, გეოლოგ დ. წერეთლის მიერ ჩვენთვის მოწოდებულ ცნობაზე, რომ რიონის ერთ-ერთი შენაკადის ხეობაში არსებობს ანტიმონის ძველი მაღარო. ამ აზრს იზიარებს ა. აფაქიძეც უფრო გვიან გამოქვეყნებულ სპეციალურ წერილში [7].

1947 და მომდევნო წლებში ძლიერ გამრავლდა ცნობები რიონის ზემო წელში ანტიმონის ძველი მაღაროების აღმოჩენის შესახებ. ამ ძეგლების მიკვლევისა და დაცვის საქმეში განსაკუთრებული როლი შეასრულა გეოლოგიურ-მინერალოგიურ მეცნიერებათა კანდიდატმა გ. ტოგონიძემ. მან აწ განსვენებულ აკად. ს. ჯანაშიას გამოუგზავნა ერთ-ერთ მაღაროში აღმოჩენილი გრანიტის ურო, რომელსაც ტარის მისამაგრებლად ირგვლივ შემოუყვება მცირე ღარი. ეს იარაღი ზოგადად მოგვაგონებს იმ უროებს, რომლებიც ძველად უხმარიათ ამიერსა და იმიერკავკასიაში ქვამარილისა და მადნეულის მაღაროებში ([8]. გვ. 92, №№ 63—87; [9], გვ. 153, სურ. 62).

1948 წელს ისტორიის ინსტიტუტმა განაახლა დიდი სამამულო ომის გამო დროებით შეჩერებული არქეოლოგიური კვლევა-ძიება რიონის სათა-

ვეებში. 1948—51 წლებში ჩვენმა ექსპედიციამ მდიდარი ცნობები შეკრიბა ანტიმონის ძველი მაღაროების აღმოჩენის პირობების შესახებ, მოიხილა 25 მაღარო, აზომა რამდენიმე მათგანი და დაიწყო ორი მაღაროს გაწმენდა. ამასთანავე შეგროვებულია მადნის სამტვრევი ქვის უროების დიდი კოლექცია. ძველი სამთამადნო წარმოების ძეგლების შესწავლის პარალელურად ექსპედიცია სწავლობდა მადნის სადნობ სახელოსნოთა ნაშთებსაც და კვლავ თხრიდა სამარხებს, რომლებშიც დიდი რაოდენობით გვხვდება ადგილობრივი ლითონის ნივთები.

რიონის სათავეების ანტიმონის ძველი მაღაროები (სურ. 1) მცირე ზომისაა. მათ შორის უდიდესის სიღრმე 11—15 მეტრს არ აღემატება, განი 6—8 მეტ-

სურ 1

რია და სიმაღლე 2—2,5 მეტრი. ცხადია, ეს მონაცემები რამდენადმე შეიცვლება მაღაროების საბოლოოდ გაწმენდის შემდეგ. ზოგი მაღარო უბრალო, მცირე მღვიმეს წარმოადგენს, ხოლო ზოგი საკმაოდ რთულია და მათი გეგმა ზოგადად საბერველს მოგვაგონებს.

ამგვარი მაღაროს შესასვლელის წინ მოგრძო ფარდულის მსგავსი მოედანია, რომელიც კარისაკენ თანდათან ვიწროვდება და გადადის 1,5—3 მ სიფართისა და დაახლოებით 8 მ სიგრძის ყელში. ეს უკანასკნელი უერთდება 3—5 მ სიგრძე-სიფართის მქონე მღვიმეს, რომელსაც ზოგჯერ გვერდითი დერეფნებიც აქვს. მაღაროს იატაკი დახრილია 10—25 გრადუსით, მადნის ძარღვის დაქანების კვალობაზე. ჭერის ჩამონგრევის თავიდან აცილების მიზნით შიგ დატოვებულია კლდის ბუნებრივი სვეტები. ზოგჯერ ასეთი სვეტების როლს ასრულებს მოხგრეული ფუჭი ქანის ნატეხებისაგან ამოყვანილი მშრალი წყობა (სურ. 2).

მაღაროებში მრავლად გვხვდება ხის ნახშირი. ეს იმას მოწმობს, რომ ჩვენი წინაპარი მემთამადნეხი მადნის მოსანგრევად ხმარობდნენ ცეცხლსა და წყალს: ტყიანი ზონიდან ალპურ ზონაში აჰქონდათ შეშა, ცეცხლით ახურებდნენ ქანებს, ზედ წყალს ასხამდნენ და ამგვარად დანაპრალებულ კლდეს ქვის უროებით ანგრევდნენ. სამთო საქმეში ამგვარი წესის გამოყენება ცნობილია საკაცობრიო კულტურის ადრეული საფეხურებიდანვე. შესაძლებელია, ამავე მიზნით ჩვენი წინაპრები იყენებდნენ ხის სოლებსა და რქისაგან დამზადებულ

წერაქვებსაც, მაგრამ ჩვენს მაღაროებში მათი შემონახვა ნაკლებად მოსალოდნელია თავისებური ბუნებრივი პირობების გამო.

გაირკვა, რომ მონგრეული მადნის პირველადი გამდიდრება იქვე, ფარდულებქვეშ წარმოებდა: მადნისთვის მოუშორებიათ ფუჭი და აგრეთვე სხვა მადნეული ქანები, რომელიც თან სდევს ანტიმონიტს.

ანტიმონის მადანი უზიდავთ ტყის ზონამდე. აქ, საწვავი მასალით მდიდარ ადგილებში, გამართული ყოფილა მადნის სადნობი ღუმელები. ღებელმა მუშებმა გვიჩვენეს ერთი ასეთი ადგილი, სადაც გ. ტოგონიძეს 1947 წელს უნახავს წიდა და ნახშირი. საცდელმა გათხრამ გამოავლინა წარმოების ბევრი გადანაყარი: გამომდნარი მადნის სხვადასხვა ზომის ნატეხები, გამოუდნობელი მადანი და ნახშირი. შემდგომმა არქეოლოგიურმა დაზვერვამ ცხადყო, რომ თვით სადნობი ღუმელები გამართული ყოფილა ჩვენ მიერ გათხრილი ადგილიდან ცოტა მოშორებით, ხელოვნურ ბორცვებზე. ამ ძეგლების გათხრა და გაღრმავებული შესწავლა საშუალებას მოგვცემს კარგად დავადგინოთ მადნის დამუშავება-გამოდნობის პროცესები და წესები. მაგრამ დღემდე მოპოვებული მასალა უკვე საკმარისია, რათა ვამტკიცოთ, რომ *ძველი ქართული ბრინჯაოს მეტალურგია ვითარდებოდა ადგილობრივი სამთამადნო წარმოების ბაზაზე.*

იმ საკითხის გადასაწყვეტად, თუ რა დროს ეკუთვნის ზემოხსენებული ძეგლები, კარგი მასალა მოგვცა ბრილის სამაროვანის გათხრებმა. ეს სამაროვანი მდებარეობს ზოფხითურისა და რიონის შესართავთან, ფეოდალური დროის ძეგლებით მდიდარ პატარა ტერასაზე, სოფ. ღებიდან 9 კმ მანძილზე. გათხრებმა დაამოწმა, რომ სამაროვანი გამოყენებული ყოფილა უწყვეტლივ დაახლოებით 2000 წლის მანძილზე, ძვ. წ. II ათასეულის შუა ხანებიდან საქართველოში ქრისტიანობის გავრცელების დასაწყისამდე. სხვადასხვა დროის სამარხები, შესაბამისად, განლაგებულია ერთიმეორის ზემოთ.

ისტორიული დროის თითქმის მთელ ამ გრძელ მონაკვეთზე მიცვალებულნი მოკუნტვით უმარხავთ, უბრალო ორმოებსა და ქვისსამარხებში. ზედა ფენაში, ალბათ დაკრძალვის ქრისტიანული წესების გავლენით, ზურგზე გაშოტილ, გულხელდაკრეფილ და თავით დასავლეთისაკენ დამხრობილ ჩონჩხებსაც ვხვდებით, თუმცა მეტად იშვიათად. როგორც ჩანს, გაქრისტიანებულმა მოსახლეობამ წარმართული სასაფლაო მალე გააუქმა. ფეოდალური დროის სამაროვანი საძებნელია იქვე ახლო, წმ. გიორგის სალოცავის ნანგრევებთან.

ძვ. წ. X—V სს. ინჰუმაციის პარალელურად წესად ყოფილა მიცვალებულის გვამის კრემაციაც. მრავალჯერ შემოწმებული ეს ფაქტი, რომელსაც მხარს უჭერს სხვა მასალებიც, მოწმობს მცდარობას ბ. კუფტინის ბოლოდროინდელი მტკიცებისას ([4], გვ. 95—96), თითქოს კრემაცია დასავლეთ საქართველოში ბერძნული კულტურის გავლენით გავრცელდა.

ბრილის სამარხებში აღმოჩენილია მრავალრიცხოვანი ნივთები: კაჟის, სპილენძის, ბრინჯაოს, რკინის, ვერცხლის, ოქროს, მინის, პასტის, თიხისა და სხვა მასალისა. მათი უმრავლესობა გამოირჩევა დამუშავების მაღალი ხარისხითა და მხატვრული ოსტატობით. ყველა ეს ნივთი, გარდა მცირე გამონაკლისისა, ადგილობრივი, ქართული ხელობისაა. უცხო წარმომავლობისად მიიჩნევა მხოლოდ ზოგიერთი საგანი: ფუნაგორიის გამოსახულებანი (ეგვიპტური „სკარაბეი") და მინის მძივების ერთი ნაწილი.

ბრილში ჩატარებული 5 არქეოლოგიური კამპანიის (1939, 1940, 1948, 1950, 1951 წწ.) შედეგების სრული დახასიათება ახლა ჩვენს მიზანს არ შეადგენს. აქ მხოლოდ ზოგიერთ შედეგს აღვნიშნავთ. უპირველეს ყოვლისა, აღსანიშნავია, რომ მეცნიერული შესწავლის საგნად იქცა ერთ პატარა ტე-

რასაზე თავმოყრილი ძეგლები, რომლებიც საშუალებას გვაძლევს გავითვალისწინოთ რიონის სათავეებში მოსახლე ერთ-ერთი ქართველი ტომის სხვადასხვა თაობის კულტურის განვითარება ძვ. წ. XV საუკუნიდან თითქმის დღევანდლამდე, რამდენადაც ეს ტერასა მდიდარია გვიანდელი ძეგლებითაც. ამის მნიშვნელობა კი თავისთავად ცხადია: საქართველოს სხვა რაიონებში მოპოვებულ მასალასთან ერთად, ბრილის მასალები მტკიცე რგოლებით აკავ-

სურ. 2

შირებს ფეოდალური დროის ქართული კულტურის ისტორიას ანტიკური, ადრეული რკინის ხანისა და ბრინჯაოს ხანის კულტურის ისტორიასთან. მტკიცდება აგრეთვე უკვე ძვ. წ. I ათასეულის დასაწყისში ადგილობრივი რკინის წარმოების გაჩენა, რასაც მოჰყვა მიწათმოქმედების განვითარება, სიმდიდრის სწრაფი ზრდა, გვაროვნული წყობილების სწრაფი რღვევა და, ამგვარად, საზოგადოების გათიშვა კლასებად. გარდა ამისა, საშუალება გვეძლევა ვილაპარაკოთ მთის რაიონების მნიშვნელოვან როლზე კულტურის განვითარების საერთო საქმეში. ღების მიდამოებში აღმოჩენილმა სამარხეულმა ინვენტარმა ხელი შეუწყო ზოგი კონკრეტული არქეოლოგიური საკითხის ახლებურად დაყენებასა და გადაჭრასაც. ასე, მაგალითად, ერთგვარი ოქროს მონეტები, რომელთაც სპეციალურ ლიტერატურაში იცნობენ „ალექსანდრე მაკედონელის სტატერების მიმბაძველობათა“ სახელწოდებით, პირველად ჩვენმა ექსპედიციამ აღმოაჩინა გათხრების დროს და, წინააღმდეგ მანამდე არსებული მოსაზრებებისა, დამტკიცდა, რომ ისინი არც ევროპულია, არც შუააზიური და არც ზოგადად კავკასიური, არამედ ქართულია, უპირატესად დასავლურ-ქართული ([6], გვ. 185). ისინი იჭრებოდნენ ძვ. წელთაღრიცხვის II საუკუნის გასულიდან ახალი წელთაღრიცხვის III საუკუნის ბოლომდე და მოწ-

მოზენ ძველ ქართულ სახელმწიფოებრივ ცხოვრებაში მთის ტომების მონაწილეობას. ამგვარივე სინათლის შუქი მოეფინა მხატვრულად დამუშავებულ ბრინჯაოს ბალთებსაც, რომელთაგან ბევრი მონეტებთან ერთად აღმოჩნდა. უფრო ადრეულ, VII—IV სს სამარხებში დამოწმებული ძეგლები გვაუწყებს ფართო კულტურულ კავშირს მთიან ყირიმთან და სკვითეთთან [10]. ამასთანავე, ე. წ. სკვითური რკინის საომარი ცული და „აკინაკი“ ისე მრავალრიცხოვანია VII—V სს სამარხებში, რომ არ შეიძლება არ დავსვათ საკითხი ამიერკავკასიიდან ჩრდილოეთში მათი გავრცელების შესახებ, მით უმეტეს, რომ ზემო სვანეთში ჩატარებული არქეოლოგიური დაზვერვის (1950 წ.) შედეგები მოწმობს ჩვენში რკინის წარმოების სრულ გაფურჩქვნას აღნიშნულ პერიოდში.

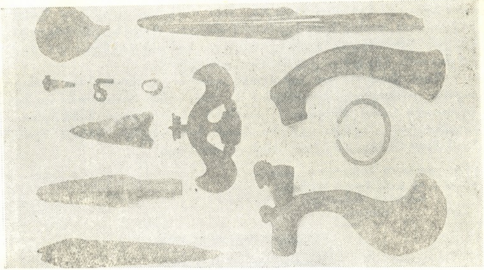
არანაკლები მნიშვნელობა აქვს ძვ. წ. I ათასეულის დასაწყისის ბრილურ ძეგლებს—ბრინჯაოს ცულებს, სატევრებს, სარტყლის ბალთებს, მშვილდურ საკინძებს და სხვადასხვანაირ სამკაულებს. ამ აღმოჩენებმა მინიმუმამდე შეამცირა იმ ტიპის საგანთა რიცხვი, რომლებიც მანამდე ცნობილი იყო მხოლოდ ყობანიდან და ნაპოვნი არ იყო საქართველოში. თუმცა ზოგიერთ მკვლევარს. იმ მიზეზით, რომ წერილობითი წყაროები კოლხებს იცნობს მხოლოდ ძვ. წ. VI საუკუნიდან, ნაადრევად მიაჩნია ამგვარი ძეგლების კოლხური კულტურის ნაყოფად გამოცხადება ([11], გვ. 145; [12], გვ. 17), ჩვენ ვფიქრობთ, რომ ეს სახელწოდება („კოლხური კულტურა“) სამართლიანად შემოიტანა სპეციალურ ლიტერატურაში მ. ი ვ ა შ ჩ ე ნ კ ო მ ([13], გვ. 50).

ეჭვი არაა, რომ, კოლხები და მათი მონათესავე ტომები მოსახლეობდნენ ზემოხსენებული კულტურის გავრცელების რაიონებში მანამდეც, სანამ მათ სახელს ბერძენი მწერლები ჩაწერდნენ. ეს წერილობითი წყაროები მხოლოდ იმ დროს მიგვითითებს, როდესაც ბერძნული კოლონიზაცია შავი ზღვის კოლხურ სანაპიროს მოედო და არა იმ დროს, როდესაც კოლხები აქ დასახლდნენ.

ჩვენი წერილის ძირითად ნაწილში აღძრული საკითხისათვის განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვს სამაროვანის ქვედა ფენაში აღმოჩენილ ძეგლებს. სამარხთა ინვენტარში შედის კაჟის ხელშუბისპირები, სპილენძისა და ბრინჯაოს მასრიანი შუბისპირები, სატევრისპირები, ლამაზი, ყუამილიანი ცულები, სხვადასხვანაირი სამკაული და თილისმები (სურ. 3).

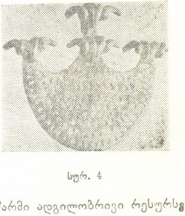
წინათ ჩვენ ამ ძეგლებს ვათარიღებდით ძვ. წ. I ათასეულის დასაწყისით [6]. 1948—1951 წწ. გათხრებმა წარმოაჩინა ფენებში ძეგლთა განლაგების ისეთი სურათი, რომელმაც ცხადყო ამ ძეგლების განვითარება ძვ. წ. II ათასეულის შუახანებიდან I ათასეულის დასაწყისამდე, ე. ი. დაადასტურა მსგავსი კულტურისათვის ზოგიერთი სხვა ავტორის მიერ დადგენილი თარიღი ([1], გვ. 95 და რუკა III; [13], გვ. 50). კავკასიის არქეოლოგიის ისეთი გამოჩენილი მკვლევრები, როგორიც არიან ა. ი ე ს ე ნ ი და ე. კ რ უ პ ნ ო ვ ი, ახლახან გამოქვეყნებულ ნაშრომებში ამ კულტურას სხვადასხვა დროით ათარიღებენ: ა. იესენი—გვიანი ბრინჯაოს ხანით ([12], გვ. 80, 84—86), ე. კრუპნოვი—II ათასეულის შუახანებით ([12), გვ. 17). ჩვენ კი იმ მოსაზრებას ვადგავართ, რომ ბრილის ქვედა ფენაში მიკვლეული ძეგლები და მათთან მჭიდროდ დაკავშირებული კომპლექსები—დიგორის სამაროვნებიდან [14], შავი ზღვისპირა დოლმენებიდან და აგრეთვე ჩვენ მიერ შიდა ქართლში სოფ. ქვასათალთან გათხრილი სამარხიდან—განვიხილოთ, როგორც კულტურის ხანგრძლივი განვითარების ნაყოფი II ათასეულის დასაწყისიდან I ათასეულის პირველ საუკუნეებამდე.

ბრილის გათხრების მიხედვით ჩანს, რომ II ათასეულის შუახანების სამარხებში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია კაჟის იარაღს, ხოლო I ათასეულის დასაწყისისათვის უკვე ჩნდება ე. წ. „ალისებრი მოყვანილობის“ სატევა-



სურ. 3

რი და აღმოსავლურ-ქართული ცულის მსგავსი საკიდები (სურ. 4); ამ დროისათვის ცულების ერთი ნაწილი კარგავს უტილიტარულ ფუნქციას და იქცევა საზეიმო-სარიტუალო სიმბოლოებად (სურ. 3 ქვემოთ, მარცხნივ). ბრილის ქვედა ფენის სამარხები, ცისფერი პასტის იოტებითა და ბრინჯაოს სასაფეთქლე სამკაულებით, ასაკობრივ უახლოვდება ნალჩიკის ცნობილ ყორღანში ჩაშვებულ 31-ე სამარხსაც [15].



სურ. 4

დამახასიათებელია, რომ ბრილის უძველესი დროის ლითონის ნივთთა უმეტესობა ნაჭედი ან ჩამოსხმულია (ზოგჯერ მოჩანს ორივე პროცესის კვალიც) ანტიმონიანი ბრინჯაოსაგან. ქიმიურმა ანალიზებმა, რომლებიც კიდევ საჭიროებს შემოწმებას, გამოავლინა შენადნობში ანტიმონის დიდი (4—12) პროცენტი. არის აგრეთვე წმინდა ანტიმონის სამკაულებიც. ეჭვი არაა, რომ მთელი ეს ნაწარმი ადგილობრივი რესურსების გადამუშავების ნაყოფია.

ამგვარად, რიონის სათავეებში დამოწმებულია ანტიმონიანი ბრინჯაოს საგანთა მდიდარი კომპლექსები, ლითონსადნობ სახელოსნოთა ნაშთები და

ანტიმონის მაღაროები. ვფიქრობთ, რომ ეს მაღაროები ეკუთვნის იმავე ხანას, რომლითაც დავათარიღეთ ქვედა ფენის სამარხეული ინვენტარი.

შემდგომმა კვლევა-ძიებამ ღების მიდამოებში ეგებ სხვა ახალი საბუთი მოგვცეს ამ თარიღის უფრო შორს გადასაწევად, მაგრამ როგორიც არ უნდა იყოს მომავალი მუშაობის შედეგები, ახლა სრულიად უყოყმანოდ შეიძლება ითქვას, რომ რიონის ზემო წელში დამოწმებული ძეგლები უმნიშვნელოვანეს მასალას წარმოადგენს ძველი ქართული სამთო საქმისა და მეტალურგიის მჭიდრო კავშირის დასადგენად.

შიდა ქართლსა და აფხაზეთში აღმოჩენილი ანტიმონიანი ბრინჯაოს ნივთთა კომპლექსები გვაფიქრებინებს, რომ ღების სამთამადნო და მეტალურგიული კერის მნიშვნელობა ლითონის ადგილობრივი მოხმარებით არ ამოიწურებოდა, თუმცა კავკასიის ქედის მეტალოგენურ ზონაში შეიძლება მომავალში სხვა ამგვარივე კერებიც აღმოჩნდეს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
აკად. ივ. ჯავახიშვილის სახელობის
ისტორიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 5. 2. 1952)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. А. Иессен. К вопросу о древнейшей металлургии меди на Кавказе. Известия ГАИМК, вып. 120. М.-Л., 1935.
2. А. А. Иессен. Олово Кавказа. Известия ГАИМК, вып. 110, 1935.
3. ა. აფაქიძე. ბაკურციხის არქეოლოგიური ძეგლები. 1940.
4. Б. А. Куфтин. Материалы к археологии Колхиды, I. Тбилиси, 1949.
5. Б. А. Куфтин. Археологические раскопки в Триалети, I. Тбилиси, 1941.
6. გ. გობეჯიშვილი. ბრინჯაოს ქართული უძველესი ბალთები. 1942.
7. ა. აფაქიძე ანტიმონის წარმოების ისტორიისათვის საქართველოში. საქართველოს სახელმწიფო მუზეუმის მოამბე, ტ. XIII—B. თბილისი, 1944.
8. Коллекции Кавказского Музея, т. V. Тифлис, 1902.
9. Материалы по археологии Кавказа, вып. IX. Москва, 1904.
10. Е. И. Крупнов. Северокавказская археологическая экспедиция. Краткие сообщения Института ИМК, вып. XVII Москва, 1947.
11. Е. И. Крупнов. К вопросу о хронологии Кобанской культуры. Ученые записки Кабардинского НИИ, т. I. Нальчик, 1946.
12. Материалы и исследования по археологии СССР, № 23. М.—Л, 1951.
13. М. М. Иващенко. Исследование архаических памятников материальной культуры в Абхазии. Тбилиси, 1935.
14. Материалы по археологии Кавказа, вып. VIII. Москва, 1900.
15. Материалы и исследования по археологии СССР, № 3. М.—Л., 1941.
16. გ. ნიორაძე. ალაზნის ველის გათხრები. თბილისი, 1940.
17. გ. ლომთათიძე. ბრინჯაოს სატევრები და მახვილები სამთავროს უძველეს სამარხებში, 1944.

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 27.2.1952 სააღრიცხვო-საგამომცემლო ფურცელი 5
ანაწყობის ზომა 7×11 ნაბეჭდი ფორმა 4
შეკვ 422 უე 01366 ტირაჟი 1000

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, რომლებშიც მისი წერილია მოთავსებული.

რედაქციის მისამართი: თბილისი, ძერჟინსკის ქ., 8.