1954/2

საქართველოს სსრ
მეცნიერებათა აკადემიის
მოამბე

ტომი XV, № 7

ძირითადი, ქართული გამოცემა

1954

524/2

6

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის გამომცემლობა
თბილისი

ეროვნული
ბიბლიოთეკა

შინაარსი

მათემატიკა

დრეკადობის თეორია

ქიმია

ქიმიური ტექნოლოგია

გეოგრაფია

პალეონტოლოგია

ტექნიკა

ენერგეტიკა

პარაზიტოლოგია

ხელოვნების ისტორია

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 7, 1954

6642

მათემატიკა

ბ. ხვედელიძე

ერთი კლასის კოშის გულიან სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა შესახებ

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ვ. კუპრაძემ 28.4.1954)

ვთქვათ, C აღნიშნავს ლიაპუნოვის[1] ბრტყელ შეკრულ წირთა სასრულ ერთობლიობას.

შემდეგში $L_p(C)$-თი აღვნიშნავთ $\varphi(t)$, $t \in C$, p-ხარისხში ჯამად ფუნქციათა სივრცეს შემდეგი ნორმით

$$\|\varphi\|^p = \int\limits_C |\varphi(t)|^p \, d\sigma, \quad d\sigma = |dt|.$$

განვიხილოთ კოშის გულიანი სინგულარული ინტეგრალური განტოლება

$$A\varphi \equiv a(t_0)\,\varphi(t_0) + \frac{b(t_0)}{\pi i}\int\limits_C \frac{\varphi(t)}{t - t_0}\,dt + T\varphi = f(t_0), \quad t_0 \in C, \tag{1}$$

სადაც $a(t)$, $b(t)$ უწყვეტი ფუნქციებია, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობას $a^2(t) - b^2(t) \neq 0$, $t \in C$, ცნობილი ფუნქცია $f(t)$ და საძიებელი ფუნქცია $\varphi(t)$ ეკუთვნიან $L_p(C)$, $p > 1$, სივრცეს, T სავსებით უწყვეტი ოპერატორია, რომელსაც $L_p(C)$ გადაჰყავს თავის ნაწილში.

როგორც ცნობილია (იხ. მაგ., [1]), იმ შემთხვევაში, როცა $a(t)$, $b(t)$, $f(t)$ და $\varphi(t)$ აკმაყოფილებენ C-ზე ჰელდერის პირობას, (1) განტოლებისათვის კარგა ხანია, რაც დადგენილია ნეტერის თეორემები. ამ თეორემების სამართლიანობა უწყვეტ ფუნქციათა უფრო ზოგად კლასებში, ვიდრე ჰელდერის აზრით უწყვეტი ფუნქციებია, დამტკიცებულ იქნა ლ. მაღნარაძის [2] მიერ. თუ ფუნქციები $a(t)$ და $b(t)$ აკმაყოფილებენ ჰელდერის პირობას, $a^2(t) - b^2(t) \neq 0$, ხოლო $f(t)$ და $\varphi(t)$ ფუნქციები ეკუთვნიან $L_2(C)$ სივრცეს, მაშინ ნეტერის თეორემების სამართლიანობა დამტკიცებულია ჩვენს წერილში [3][2]. არსებითი განზოგადება იმ საკმარისი პირობებისა, რომლებიც უზრუნველყოფენ ნეტერის თეორემების სამართლიანობას, მოცემულ იქნა ს. მიხლინის მიერ [5]. ს. მიხლინმა აჩვენა, რომ (1) განტოლებისათვის ადგილი

---

[1] წირს უწოდებენ ლიაპუნოვის წირს, თუ მისი შემხების მიერ სიბრტყეზე აღებულ რაიმე მიმართულებასთან შედგენილი კუთხე, როგორც წირის წერტილის ფუნქცია, აკმაყოფილებს ჰელდერის პირობას.

[2] ამ შედეგების სამართლიანობა იმ შემთხვევაში, როცა $f(t)$ და $\varphi(t)$ ეკუთვნიან $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეს ნაჩვენებია ჩვენ წერილში [4].

ეროვნული ბიბლიოთეკა

აქვს ნეტერის თეორემებს, თუ: $a(t)$, $b(t)$ ფუნქციები უწყვეტია, $a^2(t)-b^2(t)\neq 0$, ხოლო $f(t)$ და $\varphi(t)$ ფუნქციები ეკუთვნიან $L_2(C)$ სივრცეს.

ფ. ატკინსონმა [6] და ი. გოხბერგმა [7] შეისწავლეს წრფივი განტოლებები ბანახის სივრცეში საკმაოდ ზოგად პირობებში.

წინამდებარე წერილში [4, 5, 6] ნაშრომთა ზოგიერთი შედეგის გამოყენებით ჩვენ ვაჩვენებთ, რომ იმ პირობებში, რომელიც აღნიშნული იყო ზემოთ, ადგილი აქვს ნეტერის თეორემებს (1) განტოლებისათვის.

შემოვიღოთ აღნიშვნა

$$s\varphi \equiv \frac{1}{\pi i}\int \frac{\varphi(t)}{t-t_0}\,dt, \quad t_0 \in C.$$

ადგილი აქვს

ლემა 1. ოპერატორი $s\varphi$ შემოსაზღვრულია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში.

ლემის დამტკიცება საკმარისია იმ შემთხვევაში, როცა C არის ერთი ღია რკალი, რომლის სიგრძე $l<2\pi$.

რადგან C აკმაყოფილებს ლიაპუნოვის პირობას, ამიტომ ადგილი აქვს ტოლობას

$$\frac{dt}{t-t_0} = \frac{1}{2}\operatorname{ctg}\frac{\sigma-\sigma_0}{2}\,d\sigma + \Omega(\sigma,\sigma_0)\,d\sigma, \tag{2}$$

სადაც σ და σ_0 რკალური აბსცისებია t და t_0 წერტილებისა, ხოლო ფუნქცია Ω აკმაყოფილებს პირობას

$$|\Omega(\sigma,\sigma_0)| < \frac{\text{const}}{|\sigma-\sigma_0|^{\alpha}}, \quad 0 \leqq \alpha < 1. \tag{3}$$

(2) ტოლობის გამოყენებით მივიღებთ

$$s\varphi = \frac{1}{2\pi i}\int_0^l \varphi(\sigma)\operatorname{ctg}\frac{\sigma-\sigma_0}{2}\,d\sigma + \frac{1}{\pi i}\int_0^l \Omega(\sigma,\sigma_0)\,\varphi(\sigma)\,d\sigma.$$

მ. რისის ცნობილი შედეგის ძალით პირველი ინტეგრალი შემოსაზღვრულია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში. ამგვარად, დაგვრჩა ვაჩვენოთ ამავე სივრცეში

$$\Omega\varphi = \int_0^l \Omega(\sigma,\sigma_0)\,\varphi(\sigma)\,d\sigma$$

ოპერატორის შემოსაზღვრულობა.

(3) დამოკიდებულებისა და ჰელდერის უტოლობის გამოყენებით მივიღებთ

$$|\Omega\varphi|^p \leqq \text{const}\cdot\int_0^l \frac{|\varphi(\sigma)|^p}{|\sigma-\sigma_0|^{\alpha}}\,d\sigma,$$

საიდანაც თავის მხრივ გამომდინარეობს

$$\|\Omega\varphi\| \leqq \text{const}\cdot\|\varphi\|.$$

იმ შემთხვევაში, როცა C-ს აქვს შემოსაზღვრული სიმრუდე და $p=2$ ეს ლემა დამტკიცებულია ს. მიხლინის [5] მიერ.

ლემა 2. თუ $\omega(t)$ უწყვეტი ფუნქციაა C-ზე, მაშინ ოპერატორი

$$h\varphi \equiv \int\limits_C \frac{\omega(t)-\omega(t_0)}{t-t_0}\,\varphi(t)\,dt,$$

სავსებით უწყვეტია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში.

ეს ლემა, როცა C-ს აქვს შემოსაზღვრული სიმრუდე და $p=2$, დამტკიცებულია ს. მიხლინის [5] მიერ. თუ გავითვალისწინებთ წინა ლემას და თეორემას სავსებით უწყვეტ ოპერატორთა თანაბრად კრებადი მიმდევრობის ზღვრის შესახებ სრულ სივრცეში (იხ. [8], გვ. 215, თეორემა 2), ადვილად შევამჩნევთ, რომ ს. მიხლინის დამტკიცება ძალაში რჩება ჩვენს შეზღუდვებშიაც.

ამ ლემიდან და ფორმულიდან $s^2\varphi=\varphi$, რომელსაც ადგილი აქვს (იხ. [3]), თუ $\varphi\in L_p(C)$, $p>1$, მივიღებთ:

$$\begin{aligned} s(\omega\varphi) &= \omega s\varphi + T_1\varphi,\\ s(\omega s\varphi) &= \omega\varphi + T_2\varphi, \end{aligned} \tag{4}$$

სადაც ω უწყვეტი ფუნქციაა C-ზე, $\varphi\in L_p(C)$, $p>1$, ხოლო T_1 და T_2 სავსებით უწყვეტი ოპერატორებია $L_p(C)$ სივრცეში.

განვიხილოთ ახლა ოპერატორი

$$M\psi \equiv \frac{a(t)}{a^2(t)-b^2(t)}\,\psi - \frac{b(t)}{a^2(t)-b^2(t)}\,s\psi.$$

ლემა 1-ისა და $a(t)$, $b(t)$ ფუნქციებისაგან მოთხოვნილ შეზღუდვების ძალით, $M\psi$ ოპერატორი შემოსაზღვრულია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში.

(4) ტოლობების გამოყენებით მივიღებთ, რომ

$$AM\psi = \psi + T_3\psi, \quad MA\varphi = \varphi + T_4\varphi, \tag{5}$$

სადაც T_3 და T_4 სავსებით უწყვეტი ოპერატორებია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში.

აღვნიშნოთ k-თი $A\varphi=0$ ერთგვაროვანი განტოლების წრფივად დამოუკიდებელ ამოხსნათა რიცხვი $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში, ხოლო k^*-ით შეუღლებული ერთგვაროვანი განტოლების $A^*\psi=0$ წრფივად დამოუკიდებელ ამოხსნათა რიცხვი $L_q(C)$, $q=p/(p-1)$, სივრცეში. სხვაობას $k-k^*$ ვუწოდოთ A ოპერატორის ინდექსი და აღვნიშნოთ ასე: $\varkappa(A)$. მაშ,

$$\varkappa(A) = k - k^*.$$

თუ მივიღებთ მხედველობაში, რომ ოპერატორები A და M შემოსაზღვრული წრფივი ოპერატორებია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში, და გავითვალისწინებთ (5) ტოლობებსა და [6] ნაშრომში დამტკიცებულ I, III, IV თეორემებს, დავრწმუნდებით, რომ ადგილი აქვს შემდეგ დებულებებს:

თეორემა 1. იმისათვის, რომ განტოლება

$$A\varphi = f, \quad f\in L_p(C), \tag{1}$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ამოხსნადი იყოს $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში, აუცილებელია და საკმარისი ადგილი ჰქონდეს ტოლობებს

$$\int_C f(t)\,\psi_j(t)\,dt = 0, \quad j = 1,\ 2, \ldots,\ k^*,$$

სადაც $\psi_j(t)$, $j = 1, \ldots, k^*$, ამოხსნათა სრული სისტემაა $A^*\psi = 0$ განტოლებისა $L_q(C)$, $q = p/(p-1)$ სივრცეში.

თეორემა 2. A ოპერატორის ინდექსი დამოუკიდებელია სავსებით უწყვეტი შესაკრებისაგან, ე. ი.

$$\varkappa(A + T') = \varkappa(A),$$

სადაც T' ნებისმიერი სავსებით უწყვეტი ოპერატორია $L_p(C)$, $p>1$, სივრცეში.

თეორემა 3. ყოველთვის შეიძლება $a(t)$, $b(t)$ ფუნქციათა ისეთი საკმაოდ მახლობელი $\alpha(t)$ და $\beta(t)$ ფუნქციების შერჩევა[1], რომ ეს ფუნქციები დააკმაყოფილებენ ჰელდერის პირობებს, $\alpha^2(t) - \beta^2(t) \neq 0$ ყველგან C-ზე, და

$$\varkappa(A) = \varkappa(B),$$

სადაც

$$B\varphi \equiv \alpha(t)\,\varphi(t) + \beta(t)\,s\varphi + T\varphi.$$

იმ შემთხვევაში, როცა C შემოსაზღვრული სიმრუდის მქონე შეკრული წირია, ხოლო $p = 2$, ზემოაღნიშნული თეორემები დამტკიცებული იყო ს. მიხლინის მიერ (იხ. [5]).

მე 2 და მე-3 თეორემებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\varkappa(A) = \varkappa(B_0),$$

სადაც

$$B_0\varphi \equiv \alpha(t)\,\varphi + \beta(t)\,s\varphi.$$

[4] ნაშრომში ჩვენ ნაჩვენები გვაქვს, რომ

$$\varkappa(B_0) = \frac{1}{2\pi}\int_C d\arg\frac{\alpha(t) - \beta(t)}{\alpha(t) + \beta(t)}.$$

რადგან $a^2(t) - b^2(t) \neq 0$ ყველგან C-ზე, ხოლო $\alpha(t)$ და $\beta(t)$ საკმაოდ ახლოსაა $a(t)$ და $b(t)$-სთან, გვექნება

$$\int_C d\arg\frac{a(t) - b(t)}{a(t) + b(t)} = \int_C d\arg\frac{\alpha(t) - \beta(t)}{\alpha(t) + \beta(t)}.$$

[1] მახლობლობა იგულისხმება უწყვეტ ფუნქციათა მეტრიკის თვალსაზრისით.

ეროვნული

მაშ,

$$\varkappa(A) = \frac{1}{2\pi} \int\limits_C d \arg \frac{a(t) - b(t)}{a(t) + b(t)}. \tag{6}$$

ამგვარად, ადგილი აქვს

თეორემა 4. *ზემოაღნიშნულ შეზღუდვებში, A ოპერატორის ინდექსი გამოითვლება (6) ფორმულით.*

როგორც ადვილი შესამჩნევია, ამ შენიშვნაში მიღებული შედეგები რჩება ძალაში სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა სისტემის შემთხვევაშიაც.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ა. რაზმაძის სახელობის
თბილისის მათემატიკის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 29.4.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. И. Мусхелишвили. Сингулярные интегральные уравнения. Москва, 1946.
2. ლ. მაღნარაძე. რიმან-ჰილბერტის ერთი წრფივი სასაზღვრო ამოცანის შესახებ. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. VIII, № 9—10, 1947.
3. ბ. ხვედელიძე. სინგულარული ინტეგრალური განტოლებები კოში-ლებეგის განსაკუთრებულ ინტეგრალებში. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. VIII, № 7, 1947.
4. ბ. ხვედელიძე. ზოგიერთი შენიშვნა ანალიზურ ფუნქციათა თეორიის წრფივი სასაზღვრო ამოცანისა და კოშის გულიან სინგულარულ ინტეგრალურ განტოლებათა შესახებ. საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XII, № 2, 1952.
5. С. Г. Михлин. Сингулярные интегральные уравнения с непрерывными коэффициентами. Доклады АН СССР, т. 59, № 3, 1948.
6. Ф. В. Аткинсон. Нормальная разрешимость линейных уравнений в нормированных пространствах. Мат. сборн., т. 28, № 1, 1951.
7. И. Ц. Гохберг. О линейных уравнениях в нормированных пространствах. Доклады АН СССР, т. 76, № 4, 1951.
8. Л. А. Люстерник и В. И. Соболев. Элементы функционального анализа. Москва, 1951.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 7, 1954

მათემატიკა

ნ. ბერიკაშვილი

ორადობის თეორემების შესახებ ნებისმიერ სიმრავლეთათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა გ. კუპრაძემ 4.5.1954)

ამ შრომის ძირითადი მიზანია ჩეხისა და ვიეტორისის სხვადასხვა ტიპის ჰომოლოგიის ჯგუფებისათვის ორადობის თეორემების დამტკიცება. ეს მიღწეულია § 6-ში. აღნიშნული ჯგუფები შემოყვანილია § 4-ში და აქვეა დამყარებული დამოკიდებულებანი მათ შორის. § 1-ში განხილულია კომპლექსთა სპექტრის გარკვეული სახეობა, კერძოდ (§ 2-ში) სივრცის დაფარვათა ნერვებისა და ე. წ. ვიეტორისიანთა სპექტრები. სივრცის ნებისმიერ ქვესიმრავლისათვის, როგორც ნერვებისათვის, ისე ვიეტორისიანებისათვის, ვიღებთ ორ-ორ ასეთ სპექტრს: შიგას და გარეს; § 3-ში მტკიცდება, რომ ეს ორი სპექტრი ერთი და იგივე სპექტრის კოფინალური სპექტრებია. კერძოდ, ნერვების შემთხვევაში აქედან გამოდის ჩეხის ე. წ. გარე ჯგუფთა ინვარიანტობა [1, 2]; ამ შემთხვევაშიაც ჩვენი დამტკიცება რამდენადმე უფრო მარტივია. შრომის შესრულების დროს ჩვენ ვეყრდნობით გარე ჯგუფთა ინვარიანტობის კაპლანის დამტკიცებას, ჰურევიჩ-დუგუნჯი-დაუკერის მიერ მოცემულ ტოპოლოგიურ განმარტებას ვიეტორისის ჯგუფებისა და ორადულ დამოკიდებულებათა მიღების მიზნით ჭოლოშვილის მიერ მითითებულ მეთოდს ჩაკეტილ და ღია სიმრავლეებით აპროქსიმაციებისას. სიმარტივისათვის ჩვენ განვიხილავთ მხოლოდ Δ ჯგუფებს და არა მრავალნაირობებს, არამედ მხოლოდ სფერულ სივრცეებს.

1. განსაზღვრა 1. $D=\{T, S, K_\tau, K^s_\tau, q^i_{\tau\sigma}\}$ კომპლექსთა[1] სპექტრი არის ინდექსთა მიმართული $T=\{\tau, <\}$ სისტემით აღნიშნული K_τ კომპლექსთა, K_τ-ს მიმართული $S=\{s, <\}$ სისტემით აღნიშნულ K^s_τ ქვეკომპლექსთა და სიმპლექსურ $q^i_{\tau\sigma}$ გადასახვათა ერთობლიობა, რომლებიც ასეთ პირობებს აკმაყოფილებენ:

a) თუ $s<r$, $s, r \in S$, მაშინ

$$K^s_\tau \subseteq K^r_\tau;$$

b) ყოველი წყვილისათვის $\tau<\sigma$ განმარტებულია ერთი ან რამდენიმე სიმპლექსური $q^i_{\tau\sigma}$ გადასახვა K_σ-სი K_τ-ში, ე. წ. პროექცია; ამასთან, ეს გა-

[1] ყოველთვის განიხილება სიმპლექსური აბსტრაქტული კომპლექსი.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

დასახვა, K^s_σ-ზე განხილული, ყოველი s-თვის სიმპლექსური გადასახვაა K^s_σ-სი K^s_τ-ში;

c) თუ $\tau<\sigma<v$ და $q^i_{\sigma v}$, $q^j_{\tau\sigma}$ პროექციებია, მაშინ $q^j_{\tau\sigma}\, q^i_{\sigma v}$ აგრეთვე პროექციაა;

d) $q^i_{\tau\sigma}$ პროექციები ნებისმიერი i-სათვის სიმპლექსურად მახლობელნი არიან, როგორც K_τ კომპლექსების მიმართ, ასევე s-ურ ქვეკომპლექსთა მიმართ.

იგივური გადასახვა K^s_τ-ისა K_τ-ში p^τ_s-ით აღვნიშნოთ, ხოლო K^s_τ-ისა K^r_τ-ში, $s<r$, p^τ_{sr}-ით.

განსაზღვრა 2. ვიტყვით, რომ კომპლექსთა $D' = \{R, S, K_\rho, K^s_\rho, q^i_{\rho\varkappa}\}$ სპექტრი კოფინალურია D-ში და დავწერთ $D' \subset D$, თუ:

a) ინდექსთა R სისტემა კოფინალურია T-ში, ე. ი. R არის T-ს ისეთი ქვესიმრავლე, რომ ყოველ τ-ს მოსდევს რომელიმე $\sigma=\rho\in R$ ელემენტი: $\tau<\sigma$; ამასთან R-ში დალაგება ისეთია, რომ, თუ $\rho<\varkappa$, $\rho, \varkappa\in R$, და $\rho=\tau$, $\varkappa=\sigma$, მაშინ $\tau<\sigma$;

b) თუ $\rho=\tau$, მაშინ $K_\rho=K_\tau$, $K^s_\rho=K^s_\tau$;

c) როცა $\rho<\varkappa$ და $\tau=\rho$, $\sigma=\varkappa$, მაშინ $q^i_{\rho\varkappa}$ სიმპლექსურად მახლობელია $q^i_{\tau\sigma}$-სა, როგორც K_τ კომპლექსების, ისე მათ s-ურ ქვეკომპლექსების მიმართ.

კომპლექსთა D სპექტრისათვის X დისკრეტულ კოეფიციენტთა ჯგუფის მიმართ შემდეგნაირად განვსაზღვრავთ სამი ტიპის ჰომოლოგიის ჯგუფს: $H^n_1(D,X)$, $H^n_2(D,X)$, $H^n_3(D,X)$ და საშუალედოს $H^n_s(D,X)$. K კომპლექსის n-განზომილებიანი ჰომოლოგიის ჯგუფი X ჯგუფის მიმართ, დამყარებული სასრულ ჯაჭვებზე, აღვნიშნოთ $H^n(K,X)$-ით. თუ $\tau<\sigma$, მაშინ $q^i_{\tau\sigma}$ განმარტავს $\bar{q}_{\tau\sigma}$ ჰომომორფიზმს $H^n(K_\sigma,X)$-სა $H^n(K_\tau,X)$-ში და $\bar{q}^s_{\tau\sigma}$ ჰომომორფიზმს $H^n(K^s_\sigma,X)$-ისა $H^n(K^s_\tau,X)$-ში. პირველი განსაზღვრის (d) პირობიდან გამომდინარეობს, რომ ეს ჰომომორფიზმები არ არის დამოკიდებული i-ზე. ამრიგად, გვაქვს ჯგუფთა ორი შებრუნებული სპექტრი $\{H^n(K_\tau,X), \bar{q}_{\tau\sigma}\}$ და $\{H^n(K^s_\tau,X), \bar{q}^s_{\tau\sigma}\}$; მათი ზღვრული ჯგუფები, დისკრეტული ტოპოლოგიით განხილულნი, აღვნიშნოთ შესაბამად $H^n_1(D,X)$-ით და $H^n_s(D,X)$-ით.

ვთქვათ, $h_s\in H^n_s(D,X)$, $h_s=\{h^s_\tau\}$. თუ $s<r$, მაშინ $h_r=\{\bar{p}^\tau_{sr}h^s_\tau\}\in H^n_r(D,X)$ და $h=\{\bar{p}^\tau_s h_\tau\}\in H^n_1(D,X)$ (აქ $\bar{p}^\tau_{sr}$ და $\bar{p}^\tau_s$ აღნიშნავს p^τ_{sr} და p^τ_s გადასახვების მიერ წარმოშობილ ჰომომორფიზმებს ჰომოლოგიის ჯგუფებისას). ასე განიმარტება ჰომომორფიზმები p_{sr}: $H^n_s(D,X)\to H^n_r(D,X)$, $s<r$, და p_s: $H^n_s(D,X)\to H^n_1(D,X)$. $H^n_1(D,X)$-ის $\bigcup\limits_s p_s H^n_s D,X)$ ქვესიმრავლე აღვნიშნოთ $H^n_2(D,X)$-ით. ეს უკანასკნელი ქვეჯგუფია, რადგან ნებისმიერი s, r და t-თვის, $s<t$, $r<t$, ადგილი აქვს ჩართვას

$$p_s H^n_s(D,X)\cup p_r H^n_r(D,X)\subset p_t H^r_t(D,X).$$

$H^n_s(D,X)$ ჯგუფები და p_{sr} ჰომომორფიზმები ქმნიან პირდაპირ სპექტრს. მისი ზღვრული ჯგუფი იყოს $H^n_3(D,X)$.

თუ D' კოფინალურია D-ში, მაშინ D-ს ჰომოლოგიის ჯგუფები იზომორფულია D'-ის შესაბამის ჯგუფებთან. მართლაც, კოფინალური სპექტრის განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ

$$\{H^n(K_\rho, X), \bar{q}_{\rho x}\} \text{ და } \{H^n(K^s_\rho, X), \bar{q}^s_{\rho x}\}$$

სპექტრები კოფინალურნი არიან შესაბამისად სპექტრებისა $\{H^n(K_\tau, X), \bar{q}_{\tau\sigma}\}$ და $\{H^n(K^s_\tau, X), \bar{q}^s_{\tau\sigma}\}$. მაშასადამე,

$$H^n_1(D, X) \cong H^n_1(D', X) \text{ და } H_s(D, X) \cong H_s(D', X).$$

აქედან ადვილი მისახვედრია, რომ ადგილი აქვს იზომორფიზმებს:

$$H^n_2(D, X) \cong H^n_2(D', X) \text{ და } H^n_3(D, X) \cong H^n_3(D', X).$$

2. ვთქვათ, მოცემული გვაქვს ტოპოლოგიური L სივრცე და მისი M ქვესიმრავლე. M-ის კომპაქტური ქვესიმრავლეები იყვნენ N_s და $S = \{s\}$ ინდექსთა სისტემა დავალაგოთ ჩაწერის მიხედვით, ე. ი. $s < r$, თუ $N_s \subset N_r$. L-ის ღია სიმრავლეები აღვნიშნოთ w-ით, M-ისა კი—u-თი. M-ის დაფარვა L-ის ღია სიმრავლეებით აღვნიშნოთ W-თი, ხოლო დაფარვა თავისავე ღია სიმრავლეებით U-თი. $\{U_\tau\}$ იყოს ყველა შიდა დაფარვის ერთობლიობა და ინდექსების სიმრავლე $T = \{\tau\}$ ჩაწერის მიხედვით დავალაგოთ. ასევე, $\{W_\alpha\}$ სისტემა იყოს ყველა გარე დაფარვათა ერთობლიობა და ინდექსების $A = \{\alpha\}$ სიმრავლე ჩაწერის მიხედვით დავალაგოთ. განვიხილოთ ნერვები $n(U_\tau) = n_\tau$, $n(W_\alpha) = n_\alpha$. n_τ-ს [n_α-ს] ის სიმპლექსები, რომლის წვეროების თანაკვეთა შეიცავს N_s-ის წერტილს, ქმნიან n^s_τ ქვეკომპლექსს [n^s_α ქვეკომპლექსს]. თუ $\tau < \sigma$ [თუ $\alpha < \beta$], მაშინ განმარტებულია სიმპლექსური $q^i_{\tau\sigma}$ გადასახვა n_σ ნერვისა n_τ ნერვში [$q^i_{\alpha\beta}$ გადასახვა n_β ნერვისა n_α ნერვში]. $D(C, M) = \{T, S, n_\tau, n^s_\tau, q^i_{\tau\sigma}\}$ კომპლექსთა სპექტრია 1 განსაზღვრის აზრით. ასევე

$$D_e(C, M) = \{A, S, n_\alpha, n^s_\alpha, q^i_{\alpha\beta}\}$$

კომპლექსთა სპექტრია. $D(C, M)$-ს ვუწოდოთ ჩეხის შიდა სპექტრი, ხოლო $D_e(C, M)$-ს ჩეხის გარე სპექტრი.

W-სათვის განვმარტოთ კომპლექსი $k(W)$ (იხ. [3]), ე. წ. ვიეტორისიანი, ასე: მისი წვეროებია L-ის ყველა ის წერტილი, რომელსაც W ფარავს. $x_0, x_1, \dots, x_n$ წვეროები ქმნიან სიმპლექსს, თუ არსებობს W-ში ისეთი w, რომ $x_i \in w$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$. ასევე განიმარტება ვიეტორისიანი $k(U)$. აღვნიშნოთ $k(U_\tau) = k_\tau$, $k(W_\alpha) = k_\alpha$. ყოველი s-ისათვის k_α-ს ის სიმპლექსები, რომლის წვეროები N_s-ში მდებარეობენ, ქმნიან k^s_α ქვეკომპლექსს; ანალოგიურად განიმარტება k^s_τ. თუ $\tau < \sigma$, მაშინ, ცხადია, k_σ ქვეკომპლექსია k_τ-სი. იგივური გადასახვა $k_\sigma \to k_\tau$ იყოს $g_{\tau\sigma}$; ასევე k_β-ს იგივური გადასახვა k_α-ში, $\alpha < \beta$, აღვნიშნოთ $g_{\alpha\beta}$-თი. ვიღებთ კომპლექსთა სპექტრებს: ვიეტორისის შიდა

$$D(V, M) = \{T, S, k_\tau, k^s_\tau, g_{\tau\sigma}\}$$

და ვიეტორისის გარე $D_e(V, M) = \{A, S, k_\alpha, k^s_\alpha, g_{\alpha\beta}\}$ სპექტრს.

3. M-ის ღია დაფარვას (შიდას ან გარეს) ვუწოდოთ კანონიკური, თუ მისი ნერვის ყოველი სიმპლექსის წვეროების თანაკვეთა შეიცავს M-ის წერტილს. ცხადია, ყველა შიდა დაფარვა კანონიკურია. $\{Z_\rho\}$ იყოს ყველა კანო-

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ნიკური დაფარვები. $R = \{\rho\}$. ინდექსები ასე დავალაგოთ: $\rho < \varkappa$, $Z_\varkappa$-ს ყოველი $z_\varkappa$ ელემენტისათვის მოიძებნება Z_ρ-ს ისეთი z_ρ ელემენტი, რომ $z_\varkappa \cap M \subset z_\rho \cap M$. ამ დალაგებით $\{\rho\}$ ინდექსთა სისტემა მიმართულია. თუ $\rho < \varkappa$, მაშინ განიმარტება $q^i_{\rho\varkappa}$ სიმპლექსური გადასახვა $n_\varkappa = n(z_\varkappa)$ ნერვისა $n_\rho = n(z_\rho)$ ნერვში თანადობით $z_\varkappa \to z_\rho$, სადაც z_ρ ერთ-ერთი ელემენტია Z_ρ-დან, რომელიც ზემოთ აღნიშნულ ჩართვას აკმაყოფილებს. ვიღებთ სპექტრს

$$\overline{D}(C, M) = \{R, S, n_\rho, n^s_\rho, q^i_{\rho\varkappa}\}.$$

თუ $\rho < \varkappa$, მაშინ $g^i_{\rho\varkappa}$ გადასახვა $k(Z_\varkappa) = k_\varkappa$ კომპლექსისა $k(Z_\rho) = k_\rho$ კომპლექსში განმარტებულია ასე: $k_\varkappa$-ს x წვეროსათვის $g^i_{\rho\varkappa} x = x$, თუ $x \in M$ და თუ $x \overline{\in} M$, მაშინ $g^i_{\rho\varkappa} x = x'$ არის ერთ-ერთი ისეთი წერტილი M-ისა, რომელიც x-ის შემცველ ყველა $z_\varkappa \in Z_\varkappa$ ელემენტში შედის. ასეთი x' არსებობს, რაკი $Z_\varkappa$ კანონიკურია. ცხადია, $g^i_{\rho\varkappa}$ სიმპლექსური გადასახვაა; ასე რომ ვიღებთ კომპლექსთა სპექტრს $\overline{D}(V, M) = \{R, S, k_\rho, k^s_\rho, g^i_{\rho\varkappa}\}$.

სამართლიანია შემდეგი თეორემა.

თეორემა 1. სეპარაბელური მეტრული სივრცის ნებისმიერი სიმრავლის ჩეხის და, შესაბამად, ვიეტორისის შიდა და გარე სპექტრებს აქვთ ისეთი კოფინალური ქვესპექტრები, რომლებიც ერთი და იგივე სპექტრის (სახელდობრ $\overline{D}(C, M)$, და, შესაბამად, $\overline{D}(V, M)$ სპექტრის) კოფინალური ქვესპექტრებია.

პირდაპირ ჩანს, რომ ადგილი აქვს ჩართვებს $D(V, M) \subset \overline{D}(V, M)$ და $D(C, M) \subset \overline{D}(C, M)$.

ვიგულისხმოთ, რომ L სეპარაბელური მეტრული სივრცეა. ისევე როგორც [2]-ში ვაჩვენოთ, რომ ყოველ W-ში ჩაწერილია კანონიკური W. მართლაც, W გარე დაფარვა იწვევს M-ის შიდა დაფარვას. ცნობილია (იხ., მაგ. [2]), რომ ყოველ დაფარვაში ჩაწერილია ვარსკვლავურად სასრული თვლადი $U = \{u_i\}$ დაფარვა. ჩეხის განზოგადებული ლემის თანახმად (იხ., მაგ., იქვე) არსებობს გარე კანონიკური დაფარვა $W' = \{w'_i\}, w'_i \cap M = u_i$. ყოველ u_i-სათვის ავიღოთ ერთი ისეთი $w_i \in W$, რომ $u_i \subset w_i$. განვმარტოთ $\overline{w}_i = w'_i \cap w_i$. $\overline{W} = \{\overline{w}_i\}$ კანონიკური გარე დაფარვაა, ჩაწერილი W-ში. ამის გამო, თუ $D_e(C, M)$ და $D_e(V, M)$ სპექტრებში ამოვშლით არაკანონიკურ W-თა შესაბამის კომპლექსებსა და სიმპლექსურ გადასახვებს, მივიღებთ გამოსავალი სპექტრების კოფინალურ $D'_e(C, M)$ და $D'_e(V, M)$ სპექტრებს, შესაბამისად.

ვაჩვენოთ, რომ $D'_e(C, M)$ და $D'_e(V, M)$, შესაბამისად, კოფინალურნი არიან $\overline{D}(C, M)$ და $\overline{D}(V, M)$ სპექტრებისა. ნებისმიერ $Z_\rho = U$ დაფარვაში ჩაწერილია $U = \{u_i\}$ ვარსკვლავურად სასრული დაფარვა. ჩეხის განზოგადებული ლემის თანახმად, არსებობს კანონიკური $W = \{w_i\}$, $w_i \cap M = u_i$; თუ $Z_\varkappa = W$, მაშინ, ცხადია, $\varkappa > \rho$. თუ $W_\alpha = Z_\rho$, $W_\beta = Z_\varkappa$ და $\alpha < \beta$, მაშინ $\rho < \varkappa$. $q'_{\alpha\beta}$ და $g_{\alpha\beta}$, შესაბამისად, სიმპლექსურად მახლობელნი არიან $q^i_{\rho\varkappa}$ და $g_{\rho\varkappa}$ გადა-

ეროვნული ბიბლიოთეკა

სახვებისა. ამრიგად, განსაზღვრა 2-ის ყველა პირობა შესრულებულია და, მაშასადამე,

$$D'_e(C, M), \subset \overline{D}_e(C, M), \quad D'_e(V, M) \subset \overline{D}_e(V, M),$$

რაც უნდა დაგვემტკიცებინა.

M სივრცის სხვადასხვა ტიპის ჩეხის შიდა ჯგუფები განიმარტება ტოლობებით:

$$H_i^n(M, X) = H_i^n[D(C, M), X], \ i = 1,2,3;$$
$$H^n(M, N_s, X) = H_s^n[D(C, M), X],$$

ხოლო გარე ჯგუფები ტოლობებით:

$$H_{ie}^n(M, X) = H_i^n[D_e(C, M), X], \ i = 1, 2, 3;$$
$$H_e^n(M, N_s, X) = H_s^n[D_e(C, M), X].$$

M სივრცის ვიეტორისის შიდა ჯგუფები განიმარტება ტოლობებით:
$V_i^n(M, X) = H_i^n[D(V, M), X], i = 1, 2, 3$, და $V^n(M, N_s, X) = H_s^n[D(V, M,), X]$,
ხოლო გარე ჯგუფები ტოლობებით:
$V_{ie}^n(M, X) = H_i^n[D_e(V, M), X], i = 1,2,3$, და $V_e^n(M, N_s, X) = H_s^n[D_e(V, M), X]$.

ზემოთ დამტკიცებული თეორემიდან გამომდინარეობენ შემდეგი შედეგები, როცა L სეპარაბელური მეტრული სივრცეა.

შედეგი 1. $H_i^n(M, X) \cong H_{ie}^n(M, X), \ i = 1,2,3; \ H^n(M, N_s, X) \cong H_e^n(M, N_s, X)$;

შედეგი 2. $V_i^n(M, X) \cong V_{ie}^n(M, X), \ i = 1,2,3; \ V^n(M, N_s, X) \cong V_e^n(M, N_s, X)$.

შედეგი 1, როცა $i = 1$, დამტკიცებულია [1,2]-ში.

ცხადია, რომ, თუ M კომპაქტური სივრცეა, მაშინ

$$H_1^n(M, X) = H_2^n(M, X) \cong H_3^n(M, X);$$
$$V_1^n(M, X) \cong V_2^n(M, X) \cong V_3^n(M, X).$$

ადგილი აქვს

თეორემა 2. $H^n(M, N_s, X) \cong H_1^n(N_s, X); \ V^n(M, N_s, X) \cong V_1^n(N_s, X)$.

ვაჩვენოთ, მაგალითად, მეორე იზომორფიზმი. N_s-ის დაფარვები თავის ღია სიმრავლეებით აღვნიშნოთ Γ-თი. გავაერთიანოთ U და Γ დაფარვები ერთად და დავალაგოთ ისინი ასე: $\{U\}$ და $\{\Gamma\}$ სისტემებში დალაგება განვიხილოთ ჩაწერის მიხედვით; შემდეგ, $\Gamma > U$, თუ Γ ჩაწერილია U-ში და $U > \Gamma$, თუ U-ს ნებისმიერი u ელემენტისათვის, $u \cap M \neq 0$, მოიძებნება Γ-ში ისეთი γ, რომ $u \cap M \subset \gamma$. კომპლექსები $k_\tau^s, k_\gamma = k(\Gamma)$ და მათი იგიური გადასახვანი, როცა ერთი დაფარვა მოსდევს მეორეს, ქმნიან კომპლექსთა სპექტრს, რომელშიაც კოფინალური არიან როგორც $D(V, N_s)$ სპექტრი, ისე $\{k_\tau^s, q_{\tau\sigma}\}$ სპექტრი; აქედან გამომდინარეობს საჭირო იზომორფიზმი.

აქ განხილულ კომპლექსთა სპექტრებისათვის კოეფიციენტთა ჯგუფად შეგვიძლია ავილოთ კომპაქტური ჯგუფი Y. ალგებრულ $H^n(M, N_s, Y)$ ჯგუფში შევიტანოთ კომპაქტური ტოპოლოგია ასეთი წესით: τ-თა კოფინალური ნაწილისათვის n_τ^s სასრული კომპლექსია. ამის გამო $H^n(n_\tau^s, Y)$ შეგვიძლია განვიხილოთ კომპაქტური ტოპოლოგიით. ამ კომპაქტურ ჯგუფთა ზღვრული ჯგუფი იგივეა ალგებრულად, რაც $H^n(M, N_s, Y)$ და აქვს კომპაქტური ტოპოლოგია, რითაც ამ უკანასკნელ ჯგუფში შეაქვს კომპაქტური ტოპოლოგია.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ამასთან გადასახვა p_{sr}: $H^n(M, N_s, Y) \rightarrow H^n(M, N_r, Y)$ უწყვეტია და, მაშასადამე, გვაქვს კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირი სპექტრი, რომლის ზღვრულ ჯგუფს ჩოგოშვილის აზრით აღვნიშნავთ $\widetilde{H}^n_s(M, Y)$-ით.

ასევე, ვიეტორისის შემთხვევაში, თუ U_τ დაფარვის მხოლოდ სასრული რაოდენობა ელემენტებისა $u^1_\tau, u^2_\tau, \ldots, u^k_\tau$, კვეთს N_s-ს, მაშინ $H^n(k^s_\tau, Y)$ ალგებრულ ჯგუფში კომპაქტური ტოპოლოგია ასე შეიძლება შევიტანოთ: ავირჩიოთ N_s-ის სასრული რაოდენობა ელემენტები $x_1, x_2 \ldots, x_m$, ისე, რომ, თუ $u^1_\tau, u^2_\tau, \ldots, u^k_\tau$ სისტემის რაიმე ქვესისტემას არა ცარიელი თანაკვეთა აქვს N_s-ში, მაშინ მათი თანაკვეთა შეიცავს რომელიმე x_i-ს. $k(U_\tau)$-ს ქვეკომპლექსი, დაჭიმული არჩეულ წერტილებზე, იყოს $\bar{k}^s_\tau$. განვმარტოთ π სიმპლექსური გადასახვა k^s_τ-ისა $\bar{k}^s_\tau$-ში. არჩეული x_i წერტილები უძრავად დავტოვოთ, ხოლო სხვა ნებისმიერი x წვეროსათვის k^s_τ-დან πx იყოს ის ერთ-ერთი x_i, რომელიც ყველა იმ u^i_τ-ში შედის, რომელიც x-ს შეიცავს. π იწვევს ალგებრულ იზომორფიზმს $H^n(k^s_\tau, Y)$-სა და $H^n(\bar{k}^\tau_s, Y)$-ს შორის. უკანასკნელიდან შევიტანოთ პირველ ჯგუფში კომპაქტური ტოპოლოგია. ეს ტოპოლოგია არ არის დამოკიდებული π-ს და x_i-ების არჩევაზე. τ-თა კოფინალური ნაწილისათვის ეს კონსტრუქცია შესაძლებელია და ისე, როგორც ზემოთ, $V^n(M, N_s, Y)$ შეგვიძლია განვიხილოთ კომპაქტურ ტოპოლოგიაში. $V^n(M, N_s, Y)$-თა პირდაპირი სპექტრის ზღვრული ჯგუფი ჩოგოშვილის აზრით აღვნიშნოთ $\widetilde{V}^n_3(M, Y)$-ით.

[3]-ში მოცემული წესით შეიძლება L პარაკომპაქტური სივრცის შემთხვევაში ისეთი სპექტრის აგება, რომელშიაც $D(C, M)$ და $D(V, M)$ კოფინალურნი იქნებიან, რის გამოც ადგილი ექნება

თეორემა 3. $H^n_i(M, X) \cong V^n_i(M, X)$, $i = 1, 2, 3$.

5. K კომპლექსის სასრულ ქვეკომპლექსთა სისტემა იყოს $\{K_\tau\}$. Y კომპაქტური ჯგუფისათვის ბუნებრივი წესით ვიღებთ $H^n(K_\tau, Y)$ კომპაქტურ ჯგუფთა პირდაპირ სპექტრს. მისი ზღვრული ჯგუფი ჩოგოშვილის აზრით აღვნიშნოთ $\widetilde{H}^n(K, Y)$-ით. თუ f სიმპლექსური გადასახვაა K-სი P კომპლექსში, მაშინ $\bar{f}$ ჰომომორფიზმი $\widetilde{H}^n(K, Y)$-ისა $\widetilde{H}^n(P, Y)$-ში განიმარტება ასე: თუ $h_k \in \widetilde{H}^n(K, Y)$, $h_\tau \in h_k$, $h_\tau \in H^n(K_\tau, Y)$, მაშინ P-ში ავირჩიოთ ისეთი ნებისმიერი სასრული P_τ ქვეკომპლექსი, რომ $f(K_\tau) \subset P_\tau$. f შეუსაბამებს h_τ-ს $H^n(P_\tau, Y)$-ის ელემენტს; ამ ელემენტის კლასი იყოს h_p. მივიღოთ, რომ $\bar{f} h_k = h_p$. ასე განმარტებული გადასახვები აკმაყოფილებენ ტრანზიტივობის პირობას და სიმპლექსურად მახლობელი გადასახვები ერთსა და იგივე ჰომომორფიზმებს იწვევენ. $\widetilde{H}^n(K, Y)$-ის კომპაქტური გაფართოება აღვნიშნოთ $\widetilde{H}^n_c(K, Y)$-ით.

D სპექტრისათვის $\widetilde{H}^n(K_\tau, Y)$ ჯგუფები და $q^i_{\tau\sigma}$-თაგან გამოწვეული $\bar{q}_{\tau\sigma}$ უწყვეტი ჰომომორფიზმები ქმნიან კომპაქტური ჯგუფების შებრუნებულ სპექტრს. მისი ზღვრული ჯგუფი აღვნიშნოთ $\widetilde{H}^n(D, Y)$-ით. შემოვიღოთ აღნიშვნები:

$$\widetilde{H}^n(M, Y) = \widetilde{H}^n[D(C, M), Y]; \widetilde{H}^n_e(M, Y) = \widetilde{H}^n[D_e(C, M), Y].$$

თეორემა 1-დან გამომდინარეობს

შედეგი 1. $\widetilde{H}^n_e(M, Y) \cong \widetilde{H}^n(M, Y)$.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

6. თეორემა 4. თუ F და G სფერული Σ^n სივრცის ურთიერთ დამატებითი სიმრავლეებია და $X|Y$ (X დისკრეტული, Y კომპაქტური), მაშინ $V_1^k(F, X) \mid \widetilde{V}_{3c}^r(G, Y)$, $r+k=n-1$.

დამტკიცება არ მოგვყავს, რადგან ანალოგიური თეორემა (როცა $V_1^k(F, X)$ შეცვლილია $H_1^k(F, X)$-ით) დამტკიცებულია [1,4]-ში.

ეს თეორემა დაგვჭირდება კერძო შემთხვევაში, როცა F კომპაქტური ქვესიმრავლეა. ტრიანგულაცია G-სი აღვნიშნოთ K-თი. თეორემა იღებს სახეს $V_1^k(F, X) \mid \widetilde{H}_c^r(K, Y)$. აქ გამრავლება vh ასეა განმარტებული: თუ $z^r \in h \in \widetilde{H}^r(K, Y)$ კომბინატორული ციკლია K-დან, მაშინ განმარტებულია ჩაჯაჭვა vz^r. ადგილი აქვს ტოლობას $vh=vz^r$. თუ $h \in \widetilde{H}_c^r(K, Y)$, მაშინ vh განიმარტება ნამრავლის უწყვეტობით.

თეორემა 5. თუ A და B სფერული Σ^n სივრცის დამატებითი ქვესიმრავლეებია და $X \mid Y$, მაშინ $V_3^k(A, X) \mid \widetilde{H}^r(B, Y)$, $k+r=n-1$.

დამტკიცება. განვიხილოთ B-ს მიდამო G და მისი ტრიანგულაცია K; ამ ტრიანგულაციის შესაბამისი დაფარვა K-ს წვეროების ვარსკვლავებით აღვნიშნოთ W-თი. ყველა ასეთი W-თა ერთობლიობა B-სათვის იყოს $\{W_\tau\}$. ესენი B-ს გარე დაფარვებია. τ ინდექსები დავალაგოთ ჩაწერის მიხედვით. $\{W_\tau\}$ სისტემა კოფინალურია გარე დაფარვებში. W_τ-ს მიერ დაფარული სიმრავლე იყოს $|W_\tau|$. ვთქვათ, $F_\tau=\Sigma^n \setminus |W_\tau|$. თუ $\tau<\sigma$, ე. ი. თუ W_σ ჩაწერილია W_τ-ში, მაშინ $F_\tau \subseteq F_\sigma$. თუ აქ ტოლობაა, მაშინ $p_{\tau\sigma}$ იყოს იგივური გადასახვა $V^k(A, F_\tau, X)$-სა თავის თავში. თუ $F_\tau \subset F_\sigma$, მაშინ $p_{\tau\sigma}$ იყოს $V_3^k(A, X)$-ის განმარტების დროს განსაზღვრული გადასახვა. ასე ვიღებთ პირდაპირ სპექტრს $\{V^k(A, F_\tau, X), p_{\tau\sigma}\}$. $\widetilde{H}^n(n(W_\tau), Y)$ ჯგუფები და ჩაწერის ჰომომორფიზმები $q_{\tau\sigma}$ ქმნიან შებრუნებულ სპექტრს $\{\widetilde{H}^n[n(W_\tau), Y], \bar{q}_{\tau\sigma}\}$. ეს სპექტრები შეუღლებულნი არიან; მართლაც, ვთქვათ $\tau<\sigma$, $v_\tau \in V^k(A, F_\tau, X)$ და z^r არის W_σ-ს სასრული ჯაჭვი განხილული, როგორც $|W_\sigma|$-ის პოლიედრალური ჯაჭვი. მაშინ, ცხადია, რომ $q_{\lambda\mu} z^r \sim z^r$ უწყვეტად $|W_\tau|$-ში. ამის გამო ჩაჯაჭვა z^r-სა და $q_{\lambda\mu} z^r$-სა v_τ-სთან, $v_\tau \in V^k(A, F_\tau, X)$ ერთი და იგივეა და, მაშასადამე, z^r-ის ჩაჯაჭვაც $p_{\tau\sigma} v_\tau$-სთან ტოლია $q_{\tau\sigma} z^r$-ის ჩაჯაჭვისა v_τ-სთან. ეს კი ნიშნავს, რომ სპექტრები შეუღლებულნი არიან. ამრიგად,

$$\underrightarrow{\lim}\{V^k(A, F_\tau, X), p_{\tau\sigma}\} \mid \underleftarrow{\lim}\{\widetilde{H}_c^r(n(W_\tau), Y), \bar{q}_{\tau\sigma}\}$$

მარჯვენა მხარე, ცხადია, არის $\widetilde{H}_e^r(B, Y)$-ის იზომორფული. ინდექსთა $\{\tau\}$ სისტემაში დალაგება გავზარდოთ ასე: $\tau<\sigma$, თუ $F_\tau \subseteq F_\sigma$ და $\{V^k(A, F_\tau, X), p_{\tau\sigma}\}$ სპექტრში სათანადოდ დავუმატოთ გადასახვები. მიღებულ სპექტრში კონფინალურია თავიდან აღებული სპექტრი და მათ, მაშასადამე, ერთი და იგივე ზღვრული ჯგუფი აქვთ. მაგრამ უკანასკნელი სპექტრი არის $V^k(A, X)$-ის განმსაზღვრელი სპექტრისაგან მიღებული განმეორებებით, რითაც ზღვრული ჯგუფი არ იცვლება. მაშასადამე, $\underrightarrow{\lim}\{V^k(A, F_\tau, X), p_{\tau\sigma}\} \cong V^k(A, X)$. § 6-ის ძალით $\widetilde{H}_e^r(B, Y) \cong \widetilde{H}^r(B Y)$ და, ამრიგად, $V_3^k(A, X) \mid \widetilde{H}^r(B, Y)$, რაც უნდა დაგვემტკიცებინა.

სტალინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

(რედაქციას მოუვიდა 4.5.1954)

ᲐᲜᲐᲓᲔᲛᲘᲘᲡ ᲑᲘᲑᲚᲘᲝᲗᲔᲙᲐ

დამოწმებული ლიტერატურა

1. П. С. Александров. Основные теоремы двойственности для незамкнутых множеств n-мерного пространства. Мат. Сб., 21(63), 1947, 161–232.
2. S. Kaplan. Homology properties of arbitrary subsets of euclidean spaces. Trans. Amer. Math. Sos., v. 62, 1947, 248—271.
3. W. Hurewicz, J. Dugundji and C. H. Dawker. Continuous connectivity groups in terms of limit groups. Ann. of Math., v. 49, № 2, 1948, 391–406.
4. Г. С. Чогошвили. О гомологических аппроксимациях и законах двойственности для произвольных множеств. Мат. Сб., 28 (70) : 1, 1951, 89—118.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

დრეკადობის თეორია

ვ. კუპრაძე (საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი) და
მ. ბაშელეიშვილი

ანიზოტროპული ტანის დრეკადობის თეორიის ახალი ინტეგრალური განტოლებები და მათი გამოყენება სასაზღვრო ამოცანების ამოსახსნელად

§ 8. l იყოს ბრტყელი, შეკრული, ლიაპუნოვის წირი; ν—შიგა ნორმალი $Q \in l$ წერტილში, S_i—სასრული შიგა არე, S_a—უსასრულო გარე არე და $\bar{u}(u_1, u_2)$, $\bar{v}(v_1, v_2)$—ორჯერ წარმოებადი ვექტორი, რომლებიც აკმაყოფილებენ პირობებს:

$$\rho \bar{u}(P) = O(1), \quad \rho \bar{v}(P) = O(1), \quad \rho \frac{\partial \bar{u}}{\partial \rho} = o(1), \quad \rho \frac{\partial \bar{v}}{\partial \rho} = o(1), \qquad (8.1)$$ [1]

როცა $\rho \to \infty$, სადაც ρ არის P წერტილამდე მანძილი რომელიმე ფიქსირებული P_0 წერტილიდან. შევადგინოთ სკალარული ნამრავლი:

$$\bar{u}L(\bar{v}) = A_1 \cos(nx) + A_2 \cos(ny).$$

აქ $\bar{A}(A_1, A_2)$ გარკვეული ვექტორია.

(4.3) პირობები და განტოლებები (3.1) გვაძლევს:

$$div\, \bar{A} = \bar{u}\Delta^* \bar{v} + E(\bar{u}, \bar{v}),$$

სადაც

$$E(\bar{u}, \bar{v}) = A_{11} \frac{\partial u_1}{\partial x} \frac{\partial v_1}{\partial x} + A_{22} \frac{\partial u_2}{\partial y} \frac{\partial v_2}{\partial y} + G\left(\frac{\partial u_1}{\partial y} \frac{\partial v_1}{\partial y} + \frac{\partial u_2}{\partial x} \frac{\partial v_2}{\partial x}\right) +$$
$$+\left(\alpha \frac{\partial u_1}{\partial x} \frac{\partial v_2}{\partial y} + \delta \frac{\partial v_1}{\partial x} \frac{\partial u_2}{\partial y}\right) + \left(\gamma \frac{\partial u_2}{\partial x} \frac{\partial v_1}{\partial y} + \beta \frac{\partial u_1}{\partial y} \frac{\partial v_2}{\partial x}\right). \qquad (8.2)$$

მოვახდინოთ რა ინტეგრირებას S_i ან S_a-ზე, მივიღებთ:

$$\iint \bar{u}\Delta^* \bar{v}\, dxdy = \int_l \bar{u}L(\bar{v})\, d\sigma - \iint E(\bar{u}, \bar{v})\, dxdy \qquad (8.3)$$

ან

$$\iint (\bar{u}\Delta^* \bar{v} - \bar{v}\Delta^* \bar{u})\, dxdy = \int_l \{\bar{u}L(\bar{v}) - \bar{v}L(\bar{u})\}\, d\sigma - \iint E^*(\bar{u}, \bar{v})\, dxdy, \qquad (8.4)$$

სადაც

$$E^*(\bar{u}, \bar{v}) = (\alpha - \delta)\left(\frac{\partial u_1}{\partial x} \frac{\partial v_2}{\partial y} - \frac{\partial u_2}{\partial y} \frac{\partial v_1}{\partial x}\right) + (\gamma - \beta)\left(\frac{\partial u_2}{\partial x} \frac{\partial v_1}{\partial y} - \frac{\partial u_1}{\partial y} \frac{\partial v_2}{\partial x}\right)$$

[1] ფორმულებისა და პარაგრაფების ნუმერაცია აგრძელებს ჩვენს წინა სტატიაში მიღებულ ნუმერაციას; ყველა აღნიშვნა აგრეთვე იმავე სტატიისაა (იხ. „მოამბე", ტ. XV, № 6, 1954).

ეროვნული ბიბლიოთეკა

თუ, კერძოდ, მივიღებთ, რომ $\alpha=\delta=A_{12}$, $\beta=\gamma=G$, მაშინ (8.3)-დან, (4.3) და (4.4)-ის თანახმად, გვექნება:

$$\iint \bar{u}\Delta^*\bar{v}\,dxdy=\int_l \bar{u}T\bar{v}\,d\sigma-\iint E(\bar{u},\bar{v})\,dxdy, \tag{8.5}$$

$$\iint(\bar{u}\Delta^*\bar{v}-\bar{v}\Delta^*\bar{u})\,dxdy=\int_l(\bar{u}T\bar{v}-\bar{v}T\bar{u})\,d\sigma. \tag{8.6}$$

(6.1) და (6.2) ფორმულები ანალოგიურად ამტკიცებს, რომ:

$$\iint \bar{u}\Delta^*\bar{v}\,dxdy=\int_l \bar{u}N\bar{v}\,d\sigma-\iint E(\bar{u},\bar{v})\,dxdy, \tag{8.5'}$$

$$\iint(\bar{u}\Delta^*\bar{v}-\bar{v}\Delta^*\bar{u})\,dxdy=\int_l(\bar{u}N\bar{v}-\bar{v}N\bar{u})\,d\sigma. \tag{8.6'}$$

ვთქვათ ახლა $\bar{u}\equiv\bar{v}$, მაშინ

$$E(\bar{u},\bar{v})\equiv E(\bar{u},\bar{u})=\left(\sqrt{A_{11}}\frac{\partial u_1}{\partial x}+\frac{\alpha}{\sqrt{A_{11}}}\frac{\partial u_2}{\partial y}\right)^2+\left(\sqrt{G}\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{\beta}{\sqrt{G}}\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)^2+$$
$$+\left(A_{22}-\frac{\alpha^2}{A_{11}}\right)\left(\frac{\partial u_2}{\partial y}\right)^2+\left(G-\frac{\beta^2}{G}\right)\left(\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)^2. \tag{8.7}$$

კერძოდ, თუ $\alpha=\delta=A_{12}$, $\beta=\gamma=G$, (8.7) მიიღებს სახეს:

$$E(\bar{u},\bar{u})=\left(\sqrt{A_{11}}\frac{\partial u_1}{\partial x}+\frac{A_{12}}{\sqrt{A_{11}}}\frac{\partial u_2}{\partial y}\right)^2+G\left(\frac{\partial u_1}{\partial y}+\frac{\partial u_2}{\partial x}\right)+$$
$$+\frac{1}{A_{11}}(A_{11}A_{22}-A_{12}^2)\left(\frac{\partial u_2}{\partial y}\right)^2.$$

თუ

$$\alpha^2\leqq A_{11}A_{22},\quad \beta^2\leqq G^2, \tag{8.8}$$

მაშინ ფორმა (8,7) არაუარყოფითია. (3.1')-ის საფუძველზე შეიძლება შემოწმდეს, რომ პირობები (8.8) შესრულებულია T და N ოპერატორებისათვის, სადაც α, β, γ, δ მუდმივები განსაზღვრულია სათანადოდ (4.3) და (6.1) ფორმულებით. ამ შედეგებიდან მიიღება ერთადერთობის რამდენიმე თეორემა. ჩვენ აღვნიშნავთ ამათგან სამს. (8.5) და (8.5')-დან, სადაც ვუშვებთ, რომ $\bar{u}\equiv\bar{v}$ და $\Delta^*\bar{u}=0$, ვღებულობთ:

1°. თუ l-ზე $\bar{u}=0$, მაშინ $\bar{u}=0$ ყველგან.

2°. თუ l-ზე $N\bar{u}=0$, მაშინ $\bar{u}=\text{const.}$ ყველგან.

3°. თუ l-ზე $T\bar{u}=0$, მაშინ $\bar{u}=C+[\bar{r}\cdot\bar{w}]$ და ხისტ გადაადგილებას წარმოადგენს.

§ 9. ვთქვათ, (8.6) და (8.6') ტოლობებში $\bar{u}$ არის $\Gamma_0(P,Q)$ მატრიცის რომელიმე სვეტი:

$$\bar{u}=\Gamma_0^{(1)}\quad \text{ან}\quad \bar{u}=\Gamma_0^{(2)}.$$

გარდა ამისა, ვთქვათ, $\bar{v}\equiv1$; გამოვრიცხავთ რა C_ε წრით $\Gamma_0(P,Q)$-ს პოლუსს, დავრწმუნდებით, რომ

საქართველოს პარლამენტის ეროვნული ბიბლიოთეკა

$$\int_l \Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)\, d\sigma_Q = \int_{C_\varepsilon} \Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)\, d\sigma_Q, \quad \int_l \Gamma_{\mathrm{II}}(P, Q)\, d\sigma_Q = \int_{C_\varepsilon} \Gamma_{\mathrm{II}}(P, Q)\, d\sigma_Q$$

აქედან, თუ ik-ურ ელემენტს აღვნიშნავთ $\{\Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)\}_{ik}$ და $\{\Gamma_{\mathrm{II}}(P, Q\}_{ik}$-თი, (5.2) და (6.3)-ის საფუძველზე მივიღებთ:

როცა $i=k$

$$\int_l \{\Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)\}_{kk}\, d\sigma_Q = \begin{matrix} 2\pi\Omega_k, & P \in S_i, \\ 0 & , P \in S_a, \\ \pi\Omega_k, & P \in l, \end{matrix} \quad \int_l \{\Gamma_{\mathrm{II}}(P, Q)\}_{kk}\, d\sigma_Q = \begin{matrix} 2\pi E_k, & P \in S_i, \\ 0 & , F \in S_a, \\ \pi E_k, & P \in l, \end{matrix} \tag{9.1}$$

და როცა $i \neq k$

$$\int_l \{\Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)\}_{ik}\, d\sigma_Q = \int_l \{\Gamma_{\mathrm{II}}(P, Q)\}_{ik}\, d\sigma_Q = 0. \quad (i, k = 1, 2) \tag{9.2}$$

აქ Ω_k და E_k $(k = 1, 2)$ სავსებით გარკვეული მუდმივებია, რომლებიც არ არიან ნული.

ანალოგიურად, როცა $i = k$:

$$\int_l \{T_P M_0(P, Q)\}_{kk}\, d\sigma_Q = \begin{matrix} 2\pi R_k, & P \in S_i \\ 0 & , P \in S_a \\ \pi R_k, & P \in l \end{matrix} \tag{9.3}$$

და როცა $i \neq k$:

$$\int_l \{T_P M_0(P, Q)\}_{ik}\, d\sigma_Q = 0, \quad (i, k = 1, 2), \tag{9.4}$$

სადაც R_k გარკვეული, ნულისაგან განსხვავებული მუდმივია.

იყოს $\overline{\varphi}(Q)$ l-ზე განსაზღვრული, ჰელდერის კლასის ვექტორი. იყოს

$$\Omega = \begin{Vmatrix} \Omega_1 & 0 \\ 0 & \Omega_2 \end{Vmatrix}, \quad E = \begin{Vmatrix} E_1, & 0 \\ 0, & E_2 \end{Vmatrix}, \quad R = \begin{Vmatrix} R_1, & 0 \\ 0, & R_2 \end{Vmatrix}, \quad \Omega^{-1},\ E^{-1},\ R^{-1} -$$

შებრუნებული მატრიცებია. შემოვიყვანოთ შემდეგი ოთხი ტიპის პოტენციალი:

პირველი გვარის მარტივი ფენის პოტენციალი:

$$V^{\mathrm{I}}(P) = \frac{1}{\pi}\, \Omega^{-1} \cdot \int_l \overline{\varphi}(Q)\, \Gamma_0(P, Q)\, d\sigma_Q;$$

პირველი გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალი:

$$W^{\mathrm{I}}(P) = \frac{1}{\pi}\, \Omega^{-1} \cdot \int_l \overline{\varphi}(Q)\, \Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)\, d\sigma_Q;$$

მეორე გვარის მარტივი ფენის პოტენციალი:

$$V^{\mathrm{II}}(P) = \frac{1}{\pi}\, R^{-1} \cdot \int_l \overline{\varphi}(Q)\, M_0(P, Q)\, d\sigma_Q;$$

6642.

ᲔᲠᲝᲕᲜᲣᲚᲘ ᲑᲘᲑᲚᲘᲝᲗᲔᲙᲐ

მეორე გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალი:

$$W^{\mathrm{II}}(P) = \frac{1}{\pi} E^{-1} \cdot \int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q)\, \Gamma_{\mathrm{II}}(P, Q)\, d\sigma_{Q}.$$

გავითვალისწინებთ რა ვექტორის მატრიცზე გამრავლების ჩვეულებრივ წესს და მივიღებთ რა მხედველობაში ფუნდამენტალური ამოხსნების ზემოთ დადგენილ თვისებებს, ადვილად დავრწმუნდებით, რომ ოთხივე ეს პოტენციალი ძირითადი განტოლების ამოხსნებია ყველგან l-ის წერტილებს გარდა.

(9.1), (9.2), (9.3) და (9.4), როგორც ეს ჩვეულებრივ ხდება, ახლაც უზრუნველყოფენ შემდეგი ზღვრული დამოკიდებულებების არსებობას $Q_0 \in l$ წერტილისათვის:

$$\begin{gathered}
T_i V^{\mathrm{I}}(Q_0) = -\overline{\varphi}(Q_0) + TV^{\mathrm{I}}(Q_0), \quad T_a V^{\mathrm{I}}(Q_0) = \overline{\varphi}(Q_0) + TV^{\mathrm{I}}(Q_0), \\
W_i^{\mathrm{I}}(Q_0) = \overline{\varphi}(Q_0) + W^{\mathrm{I}}(Q_0), \quad W_a^{\mathrm{I}}(Q_0) = -\overline{\varphi}(Q_0) + W^{\mathrm{I}}(Q_0), \\
T_i V^{\mathrm{II}}(Q_0) = -\overline{\varphi}(Q_0) + TV^{\mathrm{II}}(Q_0), \quad T_a V^{\mathrm{II}}(Q_0) = \overline{\varphi}(Q_0) + TV^{\mathrm{II}}(Q_0), \qquad (9.5) \\
W_i^{\mathrm{II}}(Q_0) = \overline{\varphi}(Q_0) + W^{\mathrm{II}}(Q_0), \quad W_a^{\mathrm{II}}(Q_0) = -\overline{\varphi}(Q_0) + W^{\mathrm{II}}(Q_0).
\end{gathered}$$

§ 10. ახლა შეგვიძლია შევუდგეთ სასაზღვრო ამოცანების ამოხსნას. პირველი სასაზღვრო ამოცანა მდგომარეობს გადაადგილების $\overline{u}\,(u, v)$ ვექტორის მონახვაში მისი საკონტურო მონაცემებით l-ზე. ამ ამოცანის ამოხსნა შეიძლება ორგვარი სახით ვეძიოთ; ერთი მხრივ, როგორც პირველი გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალი, და მაშინ უცნობი სიმკვრივისათვის მივიღებთ ინტეგრალურ განტოლებას:

$$\pm \overline{\varphi}(Q_0) + \frac{\Omega^{-1}}{\pi} \cdot \int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q)\, \Gamma_{\mathrm{I}}(Q_0, Q)\, d\sigma_{Q} = \overline{f}(Q_0)^{(1}. \qquad (10.1)$$

მეორე მხრივ, როგორც მეორე გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალი, და მაშინ მივიღებთ განტოლებას:

$$\pm \overline{\varphi}(Q_0) + \frac{E^{-1}}{\pi} \cdot \int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q)\, \Gamma_{\mathrm{II}}(Q_0, Q)\, d\sigma_{Q} = \overline{f}(Q_0) \qquad (10.2)$$

(10.1) განტოლების გული (5.2) მატრიცითაა განსაზღვრული და, მაშასადამე, ეს განტოლება კოშის ტიპის სინგულარული ინტეგრალური განტოლებაა [1].

(10.2) განტოლების გული განსაზღვრულია (6.3) მატრიცით და, მაშასადამე, (10.2) შემოსაზღვრულგულიანი ფრედჰოლმის განტოლებაა.

(10.1) განტოლებების საფუძველზე, როგორც ქვემოთ დავინახავთ, ადვილად ჩატარდება პირველი სასაზღვრო ამოცანის ზოგადი გამოკვლევა, (10.2) განტოლებები კი, გარდა ამისა, მოხერხებული არიან აგრეთვე რიცხვითი გამოთვლებისათვის.

მეორე სასაზღვრო ამოცანა მდგომარეობს $\overline{u}\,(u, v)$ ვექტორის მონახვაში, როცა საზღვარზე ძაბვის ვექტორია მოცემული. ეს ამოცანაც ორგვარი წე-

(1 ზედა ნიშანი ეთანადება შიგა ამოცანას, ქვედა—გარე ამოცანას.

სით ამოიხსნება. ერთი მხრივ, ამოხსნას ვეძებთ როგორც პირველი გვარის მარტივი ფენის პოტენციალს და მაშინ სიმკვრივისათვის მივიღებთ განტოლებას:

$$\mp \overline{\varphi(Q_0)} + \frac{\Omega^{-1}}{\pi} \cdot \int\limits_{l} \overline{\varphi(Q)}\, T\Gamma_0(Q_0, Q)\, d\sigma_Q = \bar{f}(Q_0). \tag{10.1'}$$

მეორე მხრივ, როგორც მეორე გვარის მარტივი ფენის პოტენციალს, და მაშინ სიმკვრივე უნდა მოინახოს განტოლებიდან:

$$\mp \overline{\varphi(Q_0)} + \frac{R^{-1}}{\pi} \cdot \int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q)\, TM_0(Q_0, Q)\, d\sigma_Q = \bar{f}(Q_0), \tag{10.2'}$$

ოპერატორი T ინტეგრალების ნიშნის ქვეშ აქ აღებულია Q_0 წერტილის მიმართ. (10.1′) განტოლებები, (5.1)-ისა და (4.6)-ის თანახმად, კოშის ტიპის სინგულარული განტოლებებია, (10.2′) კი (7.6)-ის თანახმად, შემოსაზღვრულგულიანი ფრედჰოლმის განტოლებებია. (10.1′) მოხერხებულია ამოცანის ზოგადი გამოკვლევისათვის, (10.2′)—რიცხვითი გამოთვლებისათვის.

§ 11. $\Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)$-ს განმარტებიდან ცხადია, რომ (10.1) და (10.1′) სისტემები მიკავშირებული სისტემებია; ამავე დროს მათ სინგულარული გულები აქვთ. მაგრამ, როგორც ქვემოთ იქნება ნაჩვენები, ამ სისტემების ინდექსი [1, 3] ნულის ტოლია და, მაშასადამე, ნეტერის მესამე თეორემის თანახმად, ამ მიკავშირებულ სისტემებს წრფივად დამოუკიდებელ ამოხსნათა ტოლი რაოდენობა გააჩნია და მათზე ვრცელდება ფრედჰოლმის ჩვეულებრივი თეორია [2, 3].

$\Gamma_{\mathrm{I}}(P, Q)$ მატრიცის შედგენილობაში შედის სინგულარული მატრიცი:

$$\left\| \begin{matrix} 0, & B_1 \dfrac{\partial}{\partial s} \ln (r_1 r_2) \\ D_1 \dfrac{\partial}{\partial s} \ln (r_1 r_2), & 0 \end{matrix} \right\| = \left\| \begin{matrix} 0, & B_1 \dfrac{\partial}{\partial s} \ln \dfrac{r_1 r_2}{r^2} \\ D_1 \dfrac{\partial}{\partial s} \ln \dfrac{r_1 r_2}{r^2}, & 0 \end{matrix} \right\| + 2 S \frac{\partial}{\partial s} \ln r$$

სადაც

$$S = \left\| \begin{matrix} 0, & B_1 \\ D_1, & 0 \end{matrix} \right\| \neq 0$$

და რადგან მარჯვენა მხარის პირველი შესაკრები, როგორც ადვილი შესამოწმებელია, შემოსაზღვრულია, სინგულარობა მხოლოდ მეორისაგან წარმოდგება.

იყოს t Q წერტილის რკალური აბსცისი l-ზე, t_0—რკალური აბსცისი Q_0-ისა, მაშინ:

$$t_0 - t = re^{i\theta}, \quad r = |t_0 - t|, \quad \theta = \arg (t_0 - t),$$

საიდანაც

$$\frac{dr}{r} = \frac{dt}{t - t_0} - i \frac{\partial \theta}{\partial s} ds.$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ამიტომ

$$S\int\limits_l \overline{\varphi}(Q)\frac{\partial}{\partial s}\ln r ds = S\int\limits_l \frac{\overline{\varphi}(t)}{t-t_0}\,dt + \int\limits_l K_*(t,t_0)\,\overline{\varphi}(t)\,dt.$$

თუ მხედველობაში მივიღებთ ამას, მაშინ (10.1) სისტემა შეიძლება გადაიწეროს შემდეგი სახით:

$$\pm\,\overline{\varphi}(t_0) + \frac{S\Omega^{-1}}{\pi}\cdot\int\limits_l \frac{\overline{\varphi}(t)}{t-t_0}\,dt + \int\limits_l K(t,t_0)\,\overline{\varphi}(t)\,dt = f(t_0),$$

სადაც $K(t, t_0)$ შემოსაზღვრული და ადვილად გამოსათვლელი მატრიცაა.

ინდექსის [1] განსაზღვრის თანახმად ჩვენს შემთხვევაში გვაქვს:

$$\varkappa = \frac{1}{2\pi}\left\{\arg\frac{\mathrm{Det}(\pm\pi I - S^*)}{\mathrm{Det}(\pm\pi I + S^*)}\right\}_l = 0,$$

სადაც I ერთეულოვანი მატრიცაა და

$$S^* = S\Omega^{-1}.$$

(10.1) და (10.1′) სისტემების შემდგომი გამოკვლევა არ შეიცავს არავითარ სიახლეს იზოტროპული თეორიის ანალოგიურ ანალიზთან შედარებით; ეს ანალიზი დაწვრილებით არის ჩატარებული ნ. კახნიაშვილის [4] შრომაში და ჩვენს შემთხვევაში გვაძლევს შემდეგ საბოლოო დასკვნებს:

1. პირველი შიგა ამოცანა ყოველთვის ცალსახად ამოხსნადია და გამოიხატება პირველი გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალით;

2. მეორე შიგა ამოცანა ამოხსნადია, თუ ნულია სასაზღვრო მონაცემთა მთავარი ვექტორი და მთავარი მომენტი; ამოხსნა განსაზღვრულია სიზუსტით ხისტ გადაადგილებამდე და პირველი გვარის მარტივი ფენის პოტენციალით გამოიხატება;

3. პირველი გარე ამოცანა ყოველთვის ცალსახად ამოხსნადია და შეიძლება ჰქონდეს უსასრულობაში ქრობადი ან შემოსაზღვრული ამოხსნა; პირველ შემთხვევაში ამოხსნა გამოიხატება პირველი გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალით, მეორე შემთხვევაში—წრფივი კომბინაციით პირველი გვარის ორმაგი ფენის პოტენციალისა გარკვეულ დისკრეტულ პოტენციალებთან, პირველი გვარის მარტივი ფენის პოტენციალების ტიპისა;

4. მეორე გარე ამოცანა ყოველთვის ამოხსნადია, მაგრამ უსასრულობაში შემოსაზღვრული ამოხსნა მხოლოდ მაშინ აქვს, როცა სასაზღვრო მოცემულობათა მთავარი ვექტორი ნულია. ამოხსნა გამოიხატება პირველი გვარის მარტივი ფენის პოტენციალით.

§ 12. როგორც § 10-ში იყო ნაჩვენები, სასაზღვრო ამოცანები შეიძლება აგრეთვე (10.2) და (10.2′) განტოლებებით ამოიხსნას; ეს განტოლებები ფრედჰოლმის შემოსაზღვრულგულიანი მარტივი განტოლებებია, მაგრამ ისინი არ არიან ურთიერთმიკავშირებულნი და ამიტომ შედარებით ნაკლებ მოხერხებულნი არიან იმ ხასიათის ზოგადი გამოკვლევის ჩასატარებლად, რომლის შედეგები მეთერთმეტე პარაგრაფში იყო მოყვანილი.

ეროვნული

მეორე მხრივ, თავისი სიმარტივის გამო, ისინი მეტად სასარგებლონი არიან რიცხვითი გამოთვლებისათვის.

აქ უფრო დაწვრილებით განვიხილოთ მეორე გარე ამოცანა. ვეძებოთ ახლა ამოხსნა მეორე გვარის მარტივი ფენის პოტენციალის სახით; მივიღებთ:

$$\overline{\varphi}(Q_0) + \frac{R^{-1}}{\pi} \int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q)\, TM_0(Q_0, Q)\, d\sigma_Q = f(Q_0), \tag{12.1}$$

გავამრავლოთ ds_{Q_0}-ზე, ვაინტეგროთ l-ზე და გავითვალისწინოთ (9.3), მაშინ გვექნება:

$$2 \int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q_0)\, d\sigma_{Q_0} = \int\limits_{l} f(Q_0)\, d\sigma_Q.$$

თუ სასაზღვრო მოცემულობათა მთავარი ვექტორი ნულია, მაშინ

$$\int\limits_{l} \overline{\varphi}(Q)\, d\sigma_Q = 0. \tag{12.2}$$

(12.1)-ის შესაბამის ერთგვაროვან განტოლებას მხოლოდ ნულოვანი ამოხსნა აქვს; მართლაც, წინააღმდეგის დაშვება დაგვანახებდა, რომ ამოხსნა აკმაყოფილებს (12.2) პირობას; მაგრამ მარტივი ფენის პოტენციალი, რომლის სიმკვრივე ამ პირობას აკმაყოფილებს, უსასრულობაში ნულია; მართლაც, ამაში დასარწმუნებლად საკმარისია ვაჩვენოთ, რომ ინტეგრალები

$$\int\limits_{l} [\varphi_1(Q) \ln r_j + \varphi_2(Q)\, \theta_j]\, d\sigma_Q, \quad (j = 1,\ 2)$$

სახისა ნულისაკენ მიისწრაფვიან, როცა P წერტილი თვითონ მიისწრაფვის უსასრულობისაკენ.

იყოს Q_1 და Q_2 l-ის ორი წერტილი, $r_j^{(1)}$ და $r_j^{(2)}$ r_j-ის სათანადო მნიშვნელობები; იყოს γ კუთხე $r_j^{(1)}(Q, P)$ და $r_j^{(2)}(Q, P)$ მიმართულებათა შორის; როცა $|P| \to \infty$:

$$\cos\gamma = 1 + O(r_j^{-1})$$

ამიტომ,

$$\theta_j^{(2)} = \theta_j^{(1)} - \gamma = \theta_j^{(1)} - O(r_j^{-1}),$$

საიდანაც ცხადია, რომ:

$$\int\limits_{l} \varphi_2(Q)\, \theta_j(P, Q)\, d\sigma_Q = \theta_j^{*} \int\limits_{l} \varphi_2(Q)\, d\sigma_Q + \int\limits_{l} \varphi_2(Q)\, O(r_j^{-1})\, d\sigma_Q,$$

სადაც θ_j^{*} არის θ_j კუთხის რომელიმე ფიქსირებული მნიშვნელობა; მაშასადამე, თუ კიდევ (12.2)-ს გავითვალისწინებთ:

$$\lim \int\limits_{l} \varphi_2(Q)\, \theta_j(P, Q)\, d\sigma_Q = 0.$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ანალოგიურად მტკიცდება, რომ

$$\lim_{r_j \to \infty} \int_l \varphi_1(Q) \ln r_j(P, Q)\, d\sigma_Q = 0.$$

ამიტომ აქ გამოიყენება § 8-ში დამტკიცებული ერთადერთობის თეორემა და ვიპოვით, რომ S_a-ში ჩვენი პოტენციალი ნულია; აქედან კი, უწყვეტობის ძალით და ერთადერთობის თეორემის საფუძველზე, უკვე S_i არისათვის ვასკვნით, რომ პოტენციალი შიგა არეშიც ყველგან ნულია; მაგრამ მაშინ (9-5$_3$)-ის გამო ნულია სიმკვრივეც. ეს წინააღმდეგობა ამტკიცებს (12.1) განტოლების ამოხსნადობას.

განუზღვრელი მუდმივი, რომელიც მონაწილეობს (7.2) მატრიცის ელემენტებში, θ_1 და θ_2 ფუნქციების მრავალსახოვნების გამო, ამოხსნაში არ შევა იმის გამო, რომ

$$\int_l \overline{\varphi}(Q)\, d\sigma_Q = 0.$$

შიგა ამოცანის ამოხსნაში, როცა პირობა (12.2) საზოგადოდ შესრულებული არ არის, აღნიშნული მრავალსახოვნება შეესაბამება ამოცანის ამოხსნადობას ხისტი გადაადგილების სიზუსტით.

სტალინის სახელობის
თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

(რედაქციას მოუვიდა 14.3.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Н. И. Мусхелишвили. Сингулярные интегральные уравнения. М., 1949.
2. В. Д. Купрадзе. Некоторые новые замечания к теорий сингулярных интегральных уравнений. Труды Тбилисского госуд. университета имени Сталина, т. 42, 1951.
3. В. Д. Купрадзе. Теоремы Noether-а для систем особых интегральных уравнений. Труды Тбилисского политехнического института имени Кирова, № 1 (15), 1943.
4. Н. С. Кахниашвили. Исследование плоских задач теории упругости методом теории потенциалов. Труды Тбилисского гос. университета имени Сталина, т. 50, 1953.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 7, 1954
ეროვნული ბიბლიოთეკა

ქიმია

ქრ. არეშიძე და თ. ჩარკვიანი

ჰიდრირებისა და დეჰიდრირების კატალიზატორი ნიკელი გუმბრინზე

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. ციციშვილმა 22.2.1954)

ნიკელი, როგორც ორგანულ ნაერთთა ჰიდრირების კატალიზატორი, გამოყენებული იყო ჯერ კიდევ მეოცე საუკუნის დასაწყისში [1]. ამ კატალიზატორის საშუალებით შესაძლებელი გახდა არა მარტო ცხიმიანი რიგის უჯერი ნაერთების, არამედ არომატული რიგის ნაერთების ჰიდრირებაც. ბენზოლისა და მისი ჰომოლოგების ჰიდრირებით ნიკელის კატალიზატორზე შესაბამისი ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადები მიიღება. ამ რეაქციით შესაძლებელი გახდა გამარტივებულიყო სინთეზი ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადებისა, რომლებიც ნავთობში შემავალი ნახშირწყალბადებისათვის ეტალონებს წარმოადგენენ.

ნიკელის, როგორც ჰიდრირების კატალიზატორის, აღმოჩენამდე ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადების მისაღებად საკმაოდ რთულ გზას მიმართავდნენ—მოლეკულაში ნახშირბადის ექვს ატომზე მეტ შემცველ ორფუძიან ორგანულ მჟავათა კალციუმის მარილების მშრალ გამოხდას, რის შედეგადაც ღებულობდნენ კეტონებს, რომლებიც შემდეგ გადაჰყავდათ სპირტებად, ეს უკანასკნელნი—ჰალოიდნაწარმოებად და ბოლოს მათგან ჰიდროარომატულ ნახშირწყალბადებს ღებულობდნენ.

ნიკელის კატალიზატორზე არომატული ნახშირწყალბადების ჰიდრირებით ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადების მიღებას საკმაო თეორიული ინტერესი და პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. მაგრამ ამ რეაქციას ორგანული ქიმიური მრეწველობის თვალსაზრისით თუ მივუდგებით, იმ დიდ ნაკლს შევნიშნავთ, რომელიც მას ახასიათებს. ცნობილია, რომ ნიკელის კატალიზატორზე ჰიდრირებისას მაღალი რეაქციის უნარის მქონე და ამიტომ ქიმიურად უფრო ძვირფასი ნაერთები—არომატული ნახშირწყალბადები მცირე რეაქციის უნარის მქონე და ამიტომ ქიმიურად ნაკლები ღირებულების მქონე ჰიდროარომატულ ნახშირწყალბადებად გარდაიქმნებიან. მაშასადამე, ორგანული ქიმიური მრეწველობისათვის უფრო საინტერესო იქნებოდა ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადების არომატულ ნახშირწყალბადებად გადაყვანა.

ნ. ზ ე ლ ი ნ ს კ ი ს მიერ [2] აღმოჩენილმა და მის მიერ თანამშრომლებთან ერთად დამუშავებულმა შერჩევითმა დეჰიდროგენულმა კატალიზმა მშვენივრად გადაჭრა ორგანული ქიმიური მრეწველობის მიერ მეცნიერების წინაშე დაყენებული ამოცანა.

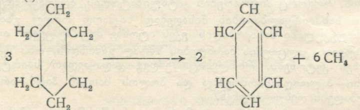
ნ. ზელინსკიმ გვიჩვენა, რომ ციკლოჰექსანისა და მეთილციკლოჰექსანის გატარებით 300°-ზე პალადიუმის ან პლატინის კატალიზატორზე (შავას სახით) ბენზოლი და ტოლუოლი მიიღება.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

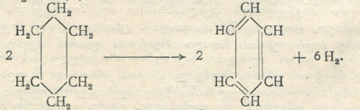
შერჩევითი დეჰიდროგენული კატალიზის საშუალებით შესაძლებელი გახდა ბენზინების ქიმიური შედგენილობის შესწავლა და მათი არომატული ნახშირწყალბადებით გამდიდრება. ზემოთქმულიდან ნათლად ჩანს ამ სახის კატალიზური პროცესის არა მარტო თეორიული ინტერესი, არამედ მისი პრაქტიკული მნიშვნელობაც. ამითაა გამოწვეული ის დიდი კვლევა-ძიებითი მუშაობა, რომელიც მიძღვნილია დეჰიდროგენული კატალიზისადმი. ამ სერიის შრომების დიდი რიცხვი მიძღვნილია ისეთი კატალიზატორების მომზადებისადმი, რომლებიც ხელსაყრელია ქიმიური რეაქციების ჩასატარებლად როგორც ლაბორატორიულ, ისე ქარხნულ პირობებში. აქტიური, ხანგრძლივმოქმედი და იაფი მასალისაგან მომზადებული კატალიზატორი მოწონებას იმსახურებს განსაკუთრებით საწარმოო მიზნებისათვის. ეს გარემოებაც ნ. ზელინსკის მხედველობიდან არ გაუშვია, ამიტომაც მან კვლევა-ძიება ჩაატარა ნიკელის კატალიზატორის მოსამზადებლად დეჰიდრირების პროცესებისათვის. ეს მნიშვნელოვანი ამოცანა ნ. ზელინსკის მიერ ბრწყინვალედ იქნა გადაჭრილი [3].

საბატიეს კატალიზატორი უვარგისი აღმოჩნდა ჰიდროარომატული ნახშირწყალბადების დეჰიდრირებისათვის, რადგან რეაქციის სამიზნო პროდუქტები—არომატული ნახშირწყალბადები, მცირე ოდენობით მიიღება. ეს იმითაა გამოწვეული, რომ სარეაქციოდ აღებულ ნახშირწყალბადზე საბატიეს კატალიზატორი აგრესიულად მოქმედებს.

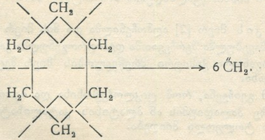
ციკლოჰექსანის დეჰიდრირებას ამ კატალიზატორზე თან სდევს მეთანის წარმოქმნა (I)


(I)

მეთანის წარმოქმნის მექანიზმი შემდეგნაირად არის ახსნილი: ციკლოჰექსანის ზოგი მოლეკულა განიცდის დეჰიდრირებას ბენზოლისა და წყალბადის წარმოქმნით (II)


(II)

ზოგი კი—დაწყვეტას თავისუფალი მეთილენის რადიკალების წარმოქმნით (III)


(III)

ეროვნული ბიბლიოთეკა

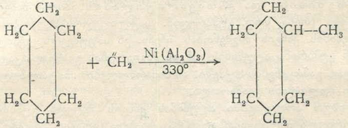
ეს უკანასკნელნი უერთდებიან ციკლოჰექსანის დეჰიდრირებით წარმოქმნილ წყალბადს, რის შედეგადაც მეთანი მიიღება (IV)

$$6\,\overset{''}{C}H_2 + 6\,H_2 \longrightarrow 6\,CH_4. \qquad (IV)$$

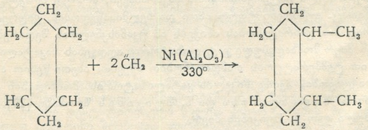
ნ. ზელინსკიმ [3] დაამზადა ნიკელის ისეთი კატალიზატორი (ნიკელი ალუმინის ჟანგზე), რომლის აგრესიული მოქმედება მინიმუმამდე იყო დაყვანილი. მისი კატალიზატორი დეჰიდრირებისა და ჰიდრირების უნარის მაღალი მაჩვენებლით ხასიათდება, რაც შემოწმებული იყო ავტორის მიერვე მეთილციკლოჰექსანის დეჰიდრირებით 300—310°-ზე და ბენზოლის ჰიდრირებით 180°-ზე. ნ. ზელინსკის კატალიზატორმა, რომელიც საბატიეს კატალიზატორთან შედარებით უპირატესობით ხასიათდება, ფართო გამოყენება პოვა დეჰიდრირებისა და ჰიდრირების კატალიზურ პროცესებში.

კატალიზატორი ნიკელი ალუმინის ჟანგზე გამოყენებულია ნ. ზელინსკისა და ნ. შუიკინის მიერ [4] სურახანის ბენზინის ვიწრო ფრაქციების არომატიზაციისათვის. ჩატარებული კვლევა-ძიების შედეგად სურახანის ბენზინის ფრაქციის 75—105° დეჰიდრირებით ავტორებმა არომატული ნახშირწყალბადების 51,6% ნამატი მიიღეს, ხოლო იმავე ბენზინის ფრაქციისათვის დუღილის ტემპერატურით 105—125° არომატული ნახშირწყალბადების ნამატი დეჰიდროგენული კატალიზის შედეგად 52,5% უდრიდა. აღნიშნული შრომიდან ნათლად ჩანს, თუ რა დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობის მქონეა კატალიზატორი ნიკელი ალუმინის ჟანგზე.

აღნიშნული კატალიზატორი ნ. ზელინსკისა და ნ. შუიკინის მიერ [5] შესწავლილ იქნა ციკლოჰექსანის დეჰიდრირების მიმართ შედარებით მაღალი ტემპერატურის პირობებში (330°). მათ შენიშნეს, რომ ციკლოჰექსანი არა მარტო დეჰიდრირებას და რგოლის გაწყვეტას განიცდის, არამედ ალკილირებასაც თავისუფალი მეთილენის რადიკალით, რის შედეგად მეთილციკლოჰექსანი (V) და დიმეთილციკლოჰექსანი (VI) მიიღება.



(V)



(VI)

ავტორების [5] აზრით, მეთილენის რადიკალით ალკილირება, აგრეთვე ციკლოჰექსანის დეჰიდრირებით მიღებული ბენზოლისაც, მიმდინარეობს, რის შედეგადაც ტოლუოლი და ქსილოლი წარმოიქმნება.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ნ. შუიკინმა [6] იმავე კატალიზატორით (ნიკელი დაფენილი ალუმინის ჟანგზე) მეთილციკლოჰექსანის დეჰიდრირება ჩაატარა 330—350°-ზე, ხოლო დიმეთილციკლოჰექსანისა—330°-ზე. პირველ შემთხვევაში მიიღო პარაქსილოლი, მეორე შემთხვევაში—ქსილოლის ჰომოლოგები.

აღნიშნულ შრომაში აგრეთვე დადასტურებულია, რომ ციკლოჰექსანის ჰიდროგენოლიზს ადგილი არა აქვს წყალბადის არეში ამ ნახშირწყალბადის გატარებისას პლატინირებულ ნახშირზე 330—375°-ის ფარგლებში.

მ. გავერდოვსკაიამ [7] მოამზადა ნიკელის კატალიზატორები სხვადასხვა სარჩულზე. სარჩულად მან გამოიყენა: ალუმინის ჟანგი, ქრომის ჟანგი, თუთიის ჟანგი, სილიკაგელი, გააქტივებული ნახშირი და ასბესტი. გამოირკვა, რომ ჩამოთვლილი ნივთიერებებიდან უპირატესობა ალუმინის ჟანგსა და სილიკაგელს ენიჭება.

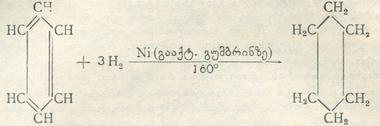
ჰიდრირებისა და დეჰიდრირების უნარის მქონე ნიკელის კატალიზატორი, დაფენილი სხვადასხვა სარჩულზე, მომზადებულია ნ. შუიკინის, ხ. მინაჩევისა და ლ. ფეოფანოვას მიერ [8]. ჩატარებული კვლევაძიების შედეგად ამ ავტორების მიერ ნაჩვენებია, რომ მაღალი დეჰიდრირების უნარით ხასიათდებიან კატალიზატორები: ნიკელი ალუმინის ჟანგზე და ნიკელი თუთიის ჟანგზე; დაბალი დეჰიდრირების უნარი აქვს კატალიზატორს—ნიკელს რკინის ჟანგზე. მაღალი ჰიდრირების უნარით ხასიათდებიან კატალიზატორები: ნიკელი ალუმინის ჟანგზე, ნიკელი თუთიის ჟანგზე, ნიკელი ქრომის ჟანგზე, ნიკელი მაგნიუმის ჟანგზე; ხოლო დაბალი ჰიდრირების უნარით ხასიათდება კატალიზატორი ნიკელი რკინის ჟანგზე. ავტორების მიერ ნაჩვენებია, რომ კატალიზატორები სხვადასხვა სარჩულზე, ნიკელის 20% შემცველობით, ციკლოჰექსანის მოლეკულის დაწყვეტას არ იწვევენ 350°-ზედაც კი.

ქრ. არეშიძისა და ე. თავართქილაძის მიერ ნაჩვენებია [9], რომ გუმბრინი (თიხა, სოფ. გუმბრიდან, საქართველოს სსრ) ქიმიურ რეაქციებში ალუმინის ჟანგის მსგავსობას იჩენს. ეს საფუძველს გვაძლევდა გვეფიქრა, რომ გუმბრინი ალუმინის ჟანგის მაგიერობას გასწევდა კატალიზატორის სარჩულად გამოყენების საქმეში. ამ მიმართულებით ჩატარებულმა კვლევაძიებამ ჩვენი მოლოდინი გაამართლა.

კატალიზურ პროცესებში ალუმინის ჟანგის შეცვლა გუმბრინით არა მარტო თეორიული ინტერესით არის ნაკარნახევი, არამედ პრაქტიკული მნიშვნელობითაც. გუმბრინი უფრო იაფი და ხელმისაწვდომია, ვიდრე ალუმინის ჟანგი, რაც მას უპირატესობას ანიჭებს ამ უკანასკნელთან შედარებით.

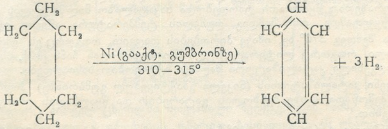
ჩვენ მიერ მომზადებული კატალიზატორის აღდგენას საკატალიზო მილში ვახდენდით ტემპერატურის თანდათანობით აწევით. ასეთი წესით აღდგენილი მაღალი აქტივობის მქონე ნიკელის კატალიზატორის მომზადების პირობები, აღწერილი ა. ბალანდინისა და ნ. შუიკინის შრომაში [10], პირველად მოწოდებული იყო ნ. შუიკინის მიერ.

ჩვენში კატალიზატორის (ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე) ჰიდრირების უნარი შემოწმდა მასზე ბენზოლისა და წყალბადის ერთდროული გატარებით 160°-ზე.



აღმოჩნდა, რომ კატალიზატორი მაღალი ჰიდრირების უნარით ხასიათდება, მას ბენზოლი მთლიანად გადაჰყავს ციკლოჰექსანად.

კატალიზატორის დეჰიდრირების უნარი კი შემოწმდა მასზე ციკლოჰექსანის გატარებით 310—315°-ზე.



აღმოჩნდა, რომ ნიკელის ჰიდროჟანგისაგან მომზადებულმა კატალიზატორმა ციკლოჰექსანის 57% გადაიყვანა ბენზოლად. როგორც ბენზოლის ჰიდრირების, ისე ციკლოჰექსანის დეჰიდრირების რეაქციას კონტროლი ეწეოდა სინათლის სხივთგადატეხის მაჩვენებლის გაზომვით. ციკლოჰექსანის დეჰიდრირების შედეგად წარმოქმნილი ბენზოლის რაოდენობა ამ ორ ნახშირწყალბადის ნარევში გ. პავლოვის [11] მეთოდით ისაზღვრებოდა.

მაღალი ჰიდრირების უნარი კატალიზატორისა — ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე, საფუძველს გვაძლევს შემდგომ დავსახოთ მისი გამოყენების პერსპექტივები ჰიდრირების რეაქციებში ლაბორატორიული და საწარმოო მიზნებისათვის.

ჩვენ მიერ მომზადებულ კატალიზატორს ნიკელის მცირე შემცველობა აქვს. იგი ამ ლითონის 10%-ს შეიცავს. შედარებით დაბალი კონცენტრაციის მქონე ნიკელის კატალიზატორის გამოყენება ჰიდრირებისა და დეჰიდრირების კატალიზური პროცესებისათვის რეკომენდებულია ნ. შუიკინის მიერ თანამშრომლებთან ერთად [12]. ასეთი კატალიზატორი უპირატესობით სარგებლობს დეჰიდრირების პროცესისათვის, რადგან მისი ხმარების დროს ადგილი არა აქვს ზოგიერთი ორგანული ნაერთის მოლეკულის დესტრუქციას.

ექსპერიმენტული ნაწილი

გუმბრინი გააქტივებულ იქნა 16%-ანი მარილის მჟავას ხსნარით წყლის აბაზანაზე გათბობით 2 საათის განმავლობაში, რის შემდეგ გაიფილტრა და გაირეცხა მდუღარე დესტილირებული წყლით ქლორ-იონების მოცილებამდე. გააქტივებული გუმბრინი შრებოდა თერმოსტატში 130°-ზე, რის შემდეგ გაცივდა ექსიკატორში. გაცივებული გააქტივებული გუმბრინი აიწონა და გაიჟღინთა აზოტმჟავანიკელის ხსნარით. ეს უკანასკნელი დამზადებული იყო იმ ვარაუდით, რომ კატალიზატორში ნიკელის 10% ყოფილიყო. აზოტმჟავანიკე-

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ლის წყალხსნარით გაჟღენთილი გააქტივებული გუმბრინის ნატეხები შრებოდა ჯერ ოთახის ტემპერატურაზე და შემდეგ თერმოსტატში 130°-ზე, რის შემდეგ საკატალიზო მილში 70 მლ რაოდენობით მოთავსდა. საკატალიზო მილი მოთავსებული იყო გერეუსის ტიპის ღუმელში, რომელიც ელექტროდენით ხურდებოდა. ტემპერატურა რეგულირდებოდა ვერცხლისწყლის გამწყვეტისა და თერმორეგულატორის ერთდროული მოქმედებით. ღუმელის ტემპერატურა იზომებოდა საკატალიზო მილის პარალელურად მოთავსებული თერმომეტრით. კატალიზატორის აღდგენას ვახდენდით წყალბადით, რომელსაც ვღებულობდით 20%-ანი ნატრიუმის ტუტის წყალხსნარის ელექტროლიზით. აღდგენა ხდებოდა ტემპერატურის თანდათანობით აწევით და წყალბადის ერთდროული მოქმედებით. კატალიზატორს 150°-ზე ვახურებდით მანამდის, სანამ საკატალიზო მილიდან წყლის გამოყოფა არ შეწყდებოდა. ღუმელის ტემპერატურა შემდეგ აწეულ იქნა 200°-ზე, წყალბადის ერთდროული გატარებით; ამ ტემპერატურაზედაც წყალბადი ტარდებოდა საკატალიზო მილში წყლის გამოყოფის შეწყვეტამდე, რის შემდეგ ღუმელის ტემპერატურა აწეულ იქნა ჯერ 350° და შემდეგ 370°-ზე, იმავე პირობების დაცვით, როგორც ეს ზემოთ არის აღწერილი. როგორც ლიტერატურული მონაცემებიდან ჩანს [10], ასეთი წესით აღდგენილი კატალიზატორი მაღალი აქტივობით ხასიათდება.

ჩვენი კატალიზატორის (ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე) ჰიდრირების უნარი შემოწმდა მასზე ბენზოლის გატარებით და წყალბადის ერთდროული მოქმედებით.

ბენზოლი ტარდებოდა 160°-ზე მოცულობითი სიჩქარით 0,06 (კატალიზატორზე, რომლის მოცულობა 70 მლ ავსებდა, ერთ საათში 4,2 მლ ბენზოლი გატარდა). აღებული ბენზოლის გარდატეხის მაჩვენებელი ტოლი იყო n_D^{20} 1,5026-ისა, ჰიდრირების შემდეგ კი ეს მაჩვენებელი უდრიდა n_D^{20} 1,4272, რაც იმას ადასტურებს, რომ ბენზოლის თითქმის სრული ჰიდრირება მოხდა ციკლოჰექსანის წარმოქმნით.

კატალიზატორი ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე მომზადდა აგრეთვე ნიკელის ჰიდროჟანგის დაფენით გააქტივებულ გუმბრინზე, რისთვისაც გამოყენებული იყო აზოტმჟავა ნიკელის მოლარული ხსნარი. აღნიშნულ მარილის ხსნარს მექანიკური სარეველით მუდმივი მორევის პირობებში საწვეთი ძაბრიდან წვეთ-წვეთობით დაემატა საჭირო რაოდენობა ნატრიუმის ტუტის 30%-ანი ხსნარისა. ნიკელის მარილის სრულ გადაყვანას ჰიდროჟანგად კონტროლი ეწეოდა. ნიკელის ჰიდროჟანგის წარმოქმნილი ნალექი გადატანილ იქნა ოცლიტრიან მინის ჭურჭელში და გამოხდილი წყლით გაირეცხა. ნიკელის ჰიდროჟანგს გამოხდილი წყალი ემატებოდა და ინჯღრეოდა, რის შემდეგ ვაყოვნებდით და გამჭვირვალე ფენას ნალექისაგან სიფონის საშუალებით ვაცილებდით. ნალექის გარეცხვა მეორდებოდა ნიტრატ-იონის სრულ მოცილებამდე. გარეცხილი ნალექი გაიფილტრა ბუხნერის ძაბრით და ფაიფურის ჯამზე მოთავსებულ გააქტივებული გუმბრინის ფხვნილს აერია იმ ვარაუდით, რომ ათპროცენტიანი ნიკელის კატალიზატორი დამზადებულიყო.

გააქტივებული გუმბრინი და ნიკელის ჰიდროჟანგი მცირეოდენი გამოხდილი წყლის მიმატებით კარგად აიზილა. მიღებული მასისაგან 0,5—0,7 სმ დიამეტრის მქონე ბურთულები დამზადდა, რომლებიც ჯერ ოთახის ტემპერატურაზე და შემდეგ თერმოსტატში 130°-ზე გაშრა.

ბურთულები 39 გ რაოდენობით, რაც 70 მლ მოცულობას ავსებდა, ჩაიტვირთა გერეუსის ტიპის ღუმელში მოთავსებულ საკატალიზო მილში და მისი

ეროვნული ბიბლიოთეკა

აღდგენა ხდებოდა იმ პირობებში, როგორც ეს ზემოთ არის აღწერილი ნიკელის ნიტრატით გააქტივებული გუმბრინის გაჟღენთის საშუალებით მიღებული კატალიზატორის შემთხვევაში.

ამგვარად მომზადებული კატალიზატორის ჰიდრირების უნარი შემოწმდა იმავე პირობების დაცვით, როგორც ეს ზემოთ არის აღწერილი. ბენზოლის ჰიდრირების შედეგად წარმოქმნილი ციკლოჰექსანის რაოდენობა ამ ორი ნახშირწყალბადის ნარევში გ. პავლოვის [11] მეთოდით ისაზღვრებოდა.

ცდის შედეგები მოყვანილია პირველ ცხრილში.

ცხრილი 1

სხვადასხვა წესით მომზადებული კატალიზატორის—ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე—ჰიდრირების უნარის შემოწმების შედეგები

№№	კატალიზატორის დასახელება	მომზადების წესი	ბენზოლის n_D^{20}	კატალიზატის n_D^{20}	ჰიდრირების %
1	ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე	აღდგენილი ნიკელის ნიტრატისაგან	1,5026	1,4272	100
2	ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე	აღდგენილი ნიკელის ჰიდროჟანგისაგან	1,5026	1,4270	100

როგორც პირველ ცხრილში მოყვანილი შედეგებიდან ჩანს, ჩვენი კატალიზატორი მაღალი ჰიდრირების უნარით ხასიათდება. ეს უნარი თითქმის ერთნაირი აქვს იმ კატალიზატორს, რომელიც მომზადებულია უშუალოდ ნიკელის ნიტრატისაგან, და კატალიზატორს, აღდგენილს ნიკელის ჰიდროჟანგისაგან.

შემოწმდა აგრეთვე კატალიზატორის დეჰიდრირების უნარიც. ამისათვის აღებულ იქნა კატალიზატორის ახალი ულუფა და აღწერილი წესით მისი აღდგენის შემდეგ მასზე 0,3 მოცულობითი სიჩქარით და 310—315°-ის პირობებში გატარდა ციკლოჰექსანი.

როგორც ბენზოლის ჰიდრირების, ისე ციკლოჰექსანის დეჰიდრირების დროს მიმღები ყინულით ცივდებოდა.

კატალიზატორის დეჰიდრირების უნარის შემოწმების შედეგები მოყვანილია მეორე ცხრილში.

ცხრილი 2

სხვადასხვა წესით მომზადებული კატალიზატორის—ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე—დეჰიდრირების უნარის შემოწმების შედეგები

№№	კატალიზატორის დასახელება	მომზადების წესი	ციკლოჰექსანის n_D^{20}	კატალიზატის n_D^{20}	დეჰიდრირების %
1	ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე	აღდგენილი ნიკელის ნიტრატისაგან	1,4260	1,4475	37
2	ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე	აღდგენილი ნიკელის ჰიდროჟანგისაგან	1,4260	1,4620	57

როგორც მე-2 ცხრილში მოყვანილი შედეგებიდან ჩანს, ჩვენი კატალიზატორის დეჰიდრირების უნარი არ არის ისეთი მაღალი, როგორც ჰიდრირების უნარი.

ნაწილი ექსპერიმენტისა შესრულებულია სსრ კავშირის მეცნიერებათა აკადემიის ზელინსკის სახელობის ორგანული ქიმიის ინსტიტუტის ორგანული კატალიზის ლაბორატორიაში, რისთვისაც მადლობას ვუცხადებთ ლაბორატორიის გამგეს სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტს ნ. შუიკინს და ხ. მინაჩევს ყურადღებისა და სათანადო დახმარებისათვის.

დასკვნა

1. მომზადებულია კატალიზატორი—ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე ამ უკანასკნელის ნიკელის ნიტრატის ხსნარით გაჟღენთისა და შემდეგ წყალბადის არეში აღდგენით ტემპერატურის თანდათანობით აწევის გზით. ნაჩვენებია, რომ ასეთი წესით მომზადებული კატალიზატორი ბენზოლის ჰიდრირებას 100%-ით ახდენს, ხოლო ციკლოჰექსანის დეჰიდრირებას 37%-ით.

2. მომზადებულია კატალიზატორი—ნიკელი გააქტივებულ გუმბრინზე ამ უკანასკნელის ფხვნილისა და ნიკელის ჰიდროჟანგის ურთიერთშერევით და შემდეგ წყალბადის არეში აღდგენით ტემპერატურის თანდათანობით აწევით. დადგენილია, რომ ასეთი წესით მომზადებული კატალიზატორი ბენზოლის ჰიდრირებას 100%-ით ახდენს, ხოლო ციკლოჰექსანის დეჰიდრირებას 57%-ით.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
პ. მელიქიშვილის სახელობის ქიმიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 22.2.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. П. Сабатье. Катализ в органической химии. Госхимтехиздат. Л., 1932, стр. 82.
2. Н. Д. Зелинский. О дегидрогенизации катализом. ЖРХО, 43, 1911, стр. 1220. Об избирательном дегидрогенизационном катализе. ЖРХО, 45, 1913, стр. 52.
3. Н. Д. Зелинский. О каталитическом действии никелированного гидрата глинозема. Избр. труды Н. Д. Зелинского. Изд. АН СССР, М.-Л., II, 1941, стр. 60.
4. Н. Д. Зелинский и Н. И. Шуйкин. Ароматизация катализом новобогатинского (эмбенского) бензина. ЖОХ, 4, 1934, стр. 901.
5. Н. Д. Зелинский и Н. И. Шуйкин. О неожиданном своеобразном превращении циклогексана под влиянием контакта с никелевым катализатором. ДАН СССР, 3, 1934, стр. 255.
6. Н. И. Шуйкин. О своеобразных контактно-каталитических превращениях шестичленных циклических углеводородов. ЖОХ, 7, 1937, стр. 1015.
7. М. В. Гавердовская. К вопросу об активности никелевых катализаторов. ЖХП, № 5, 1935, стр. 497.
8. Н. И Шуйкин, Х. М Миначев и Л. М. Феофанова. Гидрирующая и дегидрирующая способность никелевых катализаторов на различных носителях. Изв. АН СССР, ОХН, 1953, стр. 96.
9. Х. И. Арешидзе и Е. К. Таварткиладзе. Дегидратация циклогексанола гумбрином. ЖПХ, 22, 1949, стр. 119.
10. А. А. Баландин и Н. И. Шуйкин. Кинетика каталитической дегидрогенизации метилциклогексана в присутствии никеля на окиси алюминия. ЖФХ, 5, 1934, стр. 707.
11. Г. С. Павлов. К вопросу о зависимости плотностей и показателей преломления бинарных смесей от состава. ЖРХО, 58, 1926, стр. 1309.
12. Н. И. Шуйкин, Х. М. Миначев и И. Д. Рожденственская. Гидро- и дегидрогенизация углеводородов в контакте с низкопроцентными никелевыми катализаторами. ДАН СССР, 72, 1950, стр. 911.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 7, 1954

ქიმიური ტექნოლოგია

მ. მერაბიშვილი, ს. ფილატოვი, ნ. ტუღუში

სარიგიუხის საბადოს ბენტონიტები სომხეთში

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ა. თვალჭრელიძემ 15.2.1954)

ბენტონიტები, ისე როგორც თიხები საერთოდ, წყლის ალუმინსილიკატებს წარმოადგენენ. სხვადასხვა თიხების განმასხვავებელი თვისებები დამოკიდებულია ამ თიხებში შემავალი მინერალების კრისტალური მესერის აგებულებაზე. მონტმორილონიტის ჯგუფის თიხის მინერალები, რომლებიც წარმოქმნიან ბენტონიტებს (მონტმორილონიტი—Al_2O_3 $4SiO_2$ H_2O, ბეიდელიტი—Al_2O_3 $3SiO_2$ H_2O და სხვა), თავიანთი კრისტალური მესერის აგებულებით საგრძნობლად განსხვავდებიან სხვა თიხის მინერალების კრისტალური მესერისაგან. კრისტალური მესერის შიგნით, მის წარმომქმნელ ბრტყელ ელემენტალურ უჯრედებს შორის განლაგებულია კლივაჟები. ამ ელემენტალურ უჯრედებს შორის მანძილი (კლივაჟური მანძილი) წყლის არეში დაახლოებით სამჯერ იზრდება, რის გამოც ხდება თიხის ნაწილაკების მოცულობის საგრძნობლად გადიდება (გაჯირჯვა). მეორე მხრივ, მონტმორილონიტური ჯგუფის თიხის მინერალების კრისტალურ მესერს, სხვა თიხის მინერალებისაგან განსხვავებით, უფრო მეტი უარყოფითი მუხტი ახასიათებს, რომლის ნეიტრალიზაცია ხდება დადებითად დამუხტული იონებით, უმთავრესად ტუტიანი და მოტუტო ლითონების კათიონებით. ამის გამო ნაწილაკების ზედაპირზე საკმაო რაოდენობით ადსორბირდებიან საწინააღმდეგო ნიშნის იონები. იმისდა მიხედვით, თუ რა სახის კათიონები (ტუტე თუ მოტუტო) იქნება ადსორბირებული კრისტალური მესერის ზედაპირზე, წარმოიქმნება ტუტიანი ან მოტუტო ბენტონიტები. ბენტონიტების ამ სახესხვაობათა ფიზიკურ-ქიმიური თვისებები ძირითადად აღნიშნული ადსორბირებული კათიონებით განისაზღვრება.

ვინაიდან ნატრიუმის კათიონები, კალციუმისა და მაგნიუმის კათიონებთან შედარებით, წყლის არეში უფრო ჰიდრატირებულია, ტუტიანი ბენტონიტური თიხის მინერალების კრისტალური მესერის ირგვლივ წარმოიქმნება საკმაოდ სქელი დიფუზიური შრე, რომელიც უმთავრესად ნატრიუმის ჰიდრატირებული კათიონებისაგან შედგება, მოტუტო ბენტონიტების დიფუზიური შრე კი მით უფრო ნაკლებია, რაც უფრო ნაკლებია მასში ნატრიუმის კათიონები. ამით აიხსნება ტუტიანი და მოტუტო ბენტონიტების თვისებათა საგრძნობი განსხვავება: ტუტიანი ბენტონიტების მშრალი ნატეხები წყალში ძლიერ იჯირჯვება, ისინი ინარჩუნებენ მონოლითობას; მოტუტო ბენტონიტები კი სუსტად იჯირჯვება, იფხვნება კონუსის ფორმის წარმოქმნით.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

3—5% ტუტიანი ბენტონიტების წყლიანი სუსპენზია წარმოადგენს სტაბილურ ჰომოგენურ სისტემას სტრუქტურული, ტიქსოტროპული თვისებებით. მოტუტო ბენტონიტების სუსპენზიას ეს თვისებები არ ახასიათებს: თიხის ნაწილაკების ძლიერი აგრეგირებულობის გამო არევის შემდეგ უძრავად გაჩერებული სუსპენზია სწრაფად განშრევდება. აღსანიშნავია, რომ ადსორბირებული კათიონები შეიძლება ჩანაცვლებულ იქნეს სხვა მეტალის კათიონებით (ე. წ. მიმოცვლის რეაქცია). აღნიშნულისა და ბენტონიტების შემადგენელი თიხის მინერალების კრისტალური მესერის იდენტურობის გამო შესაძლებელია ერთი სახესხვაობის მეორე სახესხვაობად გარდაქმნა. მაგალითად, ჩვენი გამოკვლევებით დადასტურებულია, რომ ციხისუბნის (დასავლეთ საქართველო) საბადოს ზევითა ჰორიზონტის მოტუტო ბენტონიტები კალცინირებული სოდის მცირე რაოდენობის (1—2%) ზემოქმედებით იღებენ ტუტიანი ბენტონიტების ყველა თვისებას.

უნდა აღინიშნოს, რომ ბუნებაში სუფთა ბენტონიტური თიხები, განსაკუთრებით ტუტიანი, სხვადასხვა ჩანართის გარეშე, იშვიათად გვხვდება, მაშინ როცა ხარისხოვანი ტუტიანი ბენტონიტების გამოყენების სფერო სახალხო მეურნეობაში მრავალფეროვანია.

ამჟამად ტუტიანი ბენტონიტების ყველაზე დიდი მომხმარებლები არიან ის საწარმოები, რომელნიც ბურღვას აწარმოებენ ნავთობის, მადნების, ნახშირის და სხვა სასარგებლო ნამარხების აღმოსაჩენად. ბურღვის ტექნიკაში ეს ბონტონიტები გამოიყენება მაღალხარისხოვანი სარეცხი (საბურღავი) ხსნარების დასამზადებლად.

ბენტონიტური თიხები აგრეთვე წარმატებით გამოიყენება ცეცხლგამძლე თიხის ნაცვლად, როგორც დამაკავშირებელი საყალიბე კვარცის ქვიშისა ფოლადის ჩამოსასხმელად; თევზის წებოს, ჟელატინის და სხვა დეფიციტური მასალის ნაცვლად, ღვინოების, ძმრის, ხილის წვენისა და მდინარის მღვრიე წყლის გასასუფთავებლად; აქტიურ შემავსებელ მასალად საპნისა და ქაღალდის წარმოებაში; სხვადასხვა საღებავის დასამზადებლად; კედლის მოპირკეთების სამუშაოებისათვის; ლანოლინის, ღორის ქონისა და სხვა ცხიმების ნაცვლად, სამკურნალო მალამოების დასამზადებლად; აგრეთვე ტაბლეტების, ემულსიების და სხვა სამკურნალო პრეპარატებისათვის; პლასტიფიკატორად კერამიკული ნაწარმის დასამზადებლად; ტექნიკური ქაღალდის დამზადებაში, რომელიც იხმარება სამხაზველო სამუშაოებში, სამხატვრო ტექნიკაში და სხვა მიზნებისათვის; სოფლის მეურნეობის მავნებლების წინააღმდეგ საბრძოლო პრეპარატების დამზადებისას; გელცემენტის დასამზადებლად და სხვა.

ტუტიანი ბენტონიტების გამოყენების ზემოთ აღნიშნული არასრული ჩამოთვლიდან ჩანს, რომ ამ თიხებზე მოთხოვნილება ყოველწლიურად უნდა გაიზარდოს. ამჟამად კი მხოლოდ ორი საბადო მუშავდება—ასკანისა (საქართველოს სსრ) და ოგლანლინისა (თურქმენეთის სსრ). პირველი საბადო, რომელიც ცნობილ საბადოებს შორის ყველაზე მძლავრია და შესწავლილი, მუშავდება ნავთის მრეწველობის სამინისტროს მიერ მხოლოდ საბურღავ ხსნარებში გამოსაყენებლად. მეორე საბადოს ექსპლოატაცია ხდება ნავთის მრეწველო-

ბის სამინისტროს მიერ იმავე მიზნებისათვის, აგრეთვე ტრესტ „სოიუზფორმოლიტიოს“ მიერ ბენტონიტის საყალიბე ქვიშის შემაკავშირებლად გამოყენების მიზნით, ფოლადის ჩამოსასხმელად; ცნობილია აგრეთვე ტუტიანი ბენტონიტების ორი-სამი საბადო ამიერკავკასიაში, რომელთა დამუშავება სხვადასხვა მიზეზის გამო ამჟამად არ წარმოებს, ამიტომ ხარისხოვანი ტუტიანი ბენტონიტური თიხების ახალი საბადოების გამოვლინება და მათი ათვისება სერიოზული ყურადღების ღირსია.

სომხეთის სსრ-ში მუშაობისას თიხების გამოვლინებისა და შესწავლის პერიოდში, მათი უმთავრესად საბურღავ ხსნარებში გამოყენების მიზნით, 1952 წელს სოფ. სარიგიუხის მახლობლად ჩვენ მიერ (მ. მერაბიშვილი, ნ. ტულუში) გამოვლინებულ იქნა ტუტიანი ბენტონიტური თიხის საბადო. სტატიაში მოყვანილია ჩვენ მიერ 1952—53 წლებში ჩატარებული მუშაობის შედეგები, რომლებიც აშუქებს სარიგიუხის ტუტიანი ბენტონიტური თიხის ხარისხს.

ეს საბადო მდებარეობს რაიონულ ცენტრ ინჯევანიდან ჩრდილოეთით 27 კმ-ზე, სოფ. სარიგიუხის მახლობლად.

საბადოს გეოლოგიურ აგებულებაში მონაწილეობას იღებს ტურონული ნალექები, რომლებიც შიშვლდება ანტიკლინის ჩრდილო-აღმოსავლეთ ფრთაში და ლითოლოგიურად წარმოდგენილია საკმაოდ მძლავრი ტუფოქვიშაქვების, ტუფების, ძლიერ გათიხებული ტუფების, ბენტონიტური თიხის ფენებით და პორფირიტების შიგაფორმაციული განშრევებით. მათი განლაგების ელემენტებია: ჩრდილო-აღმოს. 60° ∢ 40—45°, ბენტონიტური თიხის ფენები მიმართებაზე ვრცელდება 1,5—2 კმ-ზე და მათი ხილული სიმძლავრე ალაგ-ალაგ 25 მეტრამდე აღწევს.

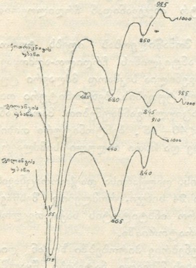
საბადოს სხვადასხვა ადგილას—გილანგის, ღალქარისა და ქოთრაცნავის უბნებზე—აღებულ იქნა ბენტონიტური თიხის 24 სინჯი, რომლებიც შესწავლილ იქნა მინერალური ნედლეულის საკავშირო ინსტიტუტის საქართველოს განყოფილების ქიმიურ-ტექნოლოგიურ ლაბორატორიაში.

აღნიშნული საბადოს ბენტონიტები ბუნებრივ პირობებში ზოგან ღია მწვანე ფერისაა, ზოგან კი მოყვითალო. თიხის მშრალი ნატეხები წყალში ძლიერ იჯირჯვება მონოლითობის შენარჩუნებით. გამჭვირვალე შლიფების მიკროსკოპიულმა შესწავლამ გვიჩვენა, რომ თიხის ქანი შედგება მღვრიე და ღია მოყავისფრო პელიტური თიხის მასისაგან, რომლის გარდატეხის მაჩვენებელი ბალზამისაზე ნაკლებია; აქვს საშუალო ინტერფერენციული ფერები; თიხას შენარჩუნებული აქვს ძირითადი ქანის პირველადი ტუფური სტრუქტურა; იგი შეიცავს პლაგიოკლაზის სალ და იშვიათად გათიხებულ კრისტალებს, რომლებშიც ზოგჯერ ჩართულია აპატიტის კრისტალები.

როგორც უკვე აღვნიშნეთ, ბენტონიტური თიხის ერთ-ერთ უმთავრეს დამახასიათებელ მაჩვენებელს წარმოადგენს მიმოცვლის საერთო კომპლექსი, რომლის რაოდენობა 100 გრამ ბენტონიტურ თიხაში 80—100 მგ ეკვივალენტის ფარგლებში მერყეობს.

შესწავლილი ბენტონიტების სინჯებში მიმოცვლის საერთო კომპლექსი შეადგენს 85 მგ ეკვივალენტს; მიმოცვლის კათიონების რაოდენობა შემდეგ

ფარგლებში მერყეობს: კალციუმის 19,0—38,0—საშუალოდ შეადგენს 30; მაგნიუმის 2,0—8,0—საშუალოდ 4,5; ნატრიუმის 42,0—57,0—საშუალოდ 50 მგ ეკვივალენტი 100 გრ თიხაზე. ეს მონაცემები სავსებით ადასტურებს, რომ აღნიშნული საბადოს თიხები ტუტიანი ბენტონიტების ჯგუფს მიეკუთვნება. იმერსიული მეთოდით განსაზღვრული გარდატეხის მაჩვენებლები ($Ng'=1{,}504$, $Np'=1{,}490$) და თერმული ანალიზის მონაცემები (იხ. თერმომრუდები) ადასტურებს, რომ შესწავლილი სინჯები უმთავრესად მონტმორილონიტის ჯგუფის მინერალებისაგან შედგება. დისპერსიული ანალიზით (2%-ი სუსპენზია) შესწავლილი სინჯები დაყოფილ იქნა სამ ძირითად ფრაქციად: I ფრაქცია შეიცავს 60-მიკრონიან და მეტი ზომის ნაწილაკებს; II ფრაქცია 1,5-დან 60 მიკრონამდე და III ფრაქცია კი კოლოიდური ზომის ნაწილაკებიდან 1,5 მიკრონამდე. ამავე დროს დადგენილია, რომ სინჯები ბუნებრივ პირობებში შეიცავს მეტად უხეშ (I) ფრაქციას 8,0—13,0%-ს, საშუალო (II) ფრაქციას 19,0—44,0%-ს და წვრილდისპერსიულ (III) ფრაქციას 50—73% ს. პეპტიზატორის (ნატრიუმის პიროფოსფატი) მცირე რაოდენობით დამატებით წვრილდისპერსიული ფრაქციის რაოდენობა საგრძნობლად იზრდება I და, უმთავრესად, II ფრაქციის აგრეგირებული ნაწილაკების დანამცეცების ხარჯზე 90%-ს აღწევს.



სურ. 1

ამჟამად ტუტიანი ბენტონიტები, როგორც აღვნიშნეთ, ფართოდ გამოიყენება უმთავრესად საბურღავ ხსნარებში; ამიტომ აღნიშნული საბადოს ბენტონიტური თიხის სინჯები შესწავლილ იქნა ამ მიმართულებით, რის შედეგადაც დადგენილია, რომ ამ სინჯებიდან დამზადებულ თიხის სუსპენზიებს (ხსნარებს) აქვს ყველა ის თვისება, რაც დამახასიათებელია მაღალხარისხოვანი ტუტიანი ბენტონიტების ხსნარებისათვის. ამ ბენტონიტური თიხის ხსნარების ხვედრითი წონა 20 სეკ. სიბლანტისას (საველე სტანდარტული ვისკოზიმეტრი 5 მმ დიამეტრიანი მილით) 1,03—1,05 ფარგლებში მერყეობს; ხსნარებს ახასიათებს სტაბილურობა, მაღალი სტრუქტურული და ტიქსოტროპიული თვისებები. თიხის ხსნარების ამ უმთავრესი მაჩვენებლების მიხედვით შესწავლილი თიხის სინჯები მთლიანად აკმაყოფილებს ნავთის მრეწველობის სამინისტროს მიერ ტუტიანი ბენტონიტებისათვის დამტკიცებულ ტექნიკურ მოთხოვნებს.

სარიგიუხის საბადოს ბენტონიტური თიხების დამახასიათებელი ფიზიკურ-ქიმიური თვისებების შესწავლის საფუძველზე შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ეს ბენტონიტები წარმატებით გამოიყენება არა მარტო ბურღვის ტექნიკაში, არამედ სახალხო მეურნეობის მთელ რიგ სხვა დარგებშიც.

თიხების მაღალი ხარისხი, მათი ალბათ საკმაოდ დიდი მარაგი, აგრეთვე საბადოს ხელსაყრელი და მისაწვდომი მდებარეობა შარაგზიდან, მთელი სიცხადით მიუთითებს შემდგომი სამუშაოების ჩატარების აუცილებლობაზე ამ საბადოს დეტალურად შესწავლისა და უახლოეს ვადაში მისი ექსპლოატაციის დაწყების მიზნით.

ამ საბადოს შესაძლებელია საკავშირო მნიშვნელობა ჰქონდეს, ყოველ შემთხვევაში იგი შეძლებს დააკმაყოფილოს სომხეთის სსრ-ის მოთხოვნილება ტუტიან ბენტონიტებზე, რომლებიც ამჟამად საჭიროების მიხედვით სხვა რესპუბლიკებიდან შეაქვთ სომხეთში.

მინერალური ნედლეულის სამეცნიერო-საკვლევი
საკავშირო ინსტიტუტის საქართველოს განყოფილება
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 17.2.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Бентонитовые глини Грузинской СССР. Сборник, изд. „Техника да Шрома", Тбилиси, 1941.
2. Бентонитовые глины Грузии и их применение в народном хозяйстве. Сборник, изд. АН Грузинской ССР, Тбилиси, 1953.
3. Бентонитовые глины (гильаби) Азербайджана. Сборник, изд. АН Азербайджанской ССР, Баку, 1951.
4. Неметаллические ископаемые СССР, изд. АН СССР, М.-Л., 1941.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

გეოგრაფია

დ. წერეთელი

ალაზნის ველის პალეოგეოგრაფიისა და რელიეფის განვითარების ისტორიისათვის

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ა. ჯავახიშვილმა 9.3.1953)

ალაზნის ველის მთათაშუა დეპრესიის გეომორფოლოგიური ბუნებისა და თანადროული გეომორფოლოგიური პროცესების მიმდინარეობის შესწავლისათვის ერთ-ერთ მნიშვნელოვან საკითხს წარმოადგენს ამ მხარის მეოთხეული გეოლოგიური ისტორიის დაზუსტება და ამ დროის განმავლობაში მომხდარი ფიზიკურ-გეოგრაფიული ცვლილებების დადგენა.

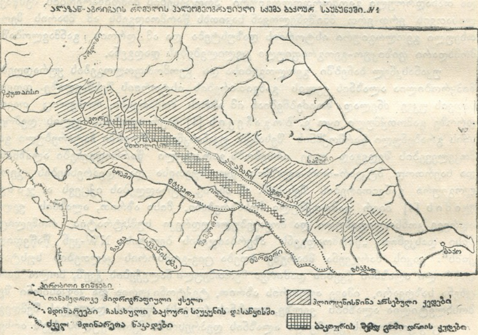
უკანასკნელ ხანებში გეოლოგებისა და გეომორფოლოგების ყურადღება მიპყრობილია ალაზნის ველის განვითარების ისტორიის შესწავლაზე. დღეისათვის უკვე ძნელად მოიძებნებიან იმ აზრის მომხრეები, რომელიც თავის დროზე გამოთქმული იყო ვ. ბ ო გ ა ჩ ე ვ ი ს [1] მიერ ალაზნის ველის დეპრესიის გრაბენული წარმოქმნის შესახებ. უკანასკნელ წლებში ჩატარებული გამოკვლევების შედეგად უკვე არსებობს გარკვეული წარმოდგენები ალაზნისა და საერთოდ მტკვარ-იორ-ალაზნის წყალშუეთისა და დეპრესიების გეოლოგიური განვითარების შესახებ. ამ მხრივ ყურადღებას იქცევს ა. ჯ ა ნ ე ლ ი ძ ი ს [4] მიერ გამოთქმული მოსაზრებანი. მისი აზრით, ალაზნის ველი ადრევე კონსოლიდებული და მოვაკებული უდრეკი სუბსტრატია, რომელიც, მისი დასკვნით, „წარმოადგენს აზერბაიჯანის ბელტის NW-კენ წაწვდილ ქიმს“. ვაკის მარჯვენა მხარეზე ხდება ცივ-გომბორის კალთების სუსტად დახრილი ალაზნის წყების დაძირვა მეოთხეული ნალექების ქვეშ, ხოლო მარცხენა საზღვარი, იმავე ავტორის აზრით, ტექტონიკურია და კავკასიონი შემოსხლეტილია ალაზნის ველზე, ალაზნის (ცივის) წყების დალექვის შემდეგ.

ცივ-გომბორის ქედზე და ალაზნის დეპრესიაში მეოთხეულის ქვეშ არსებული ცივის (ალაზნის) წყების შესწავლის საფუძველზე ა. ჯანელიძე სამართლიანად მივიდა იმ დასკვნამდე, რომ, სარმატის ბოლოდან დაწყებული, ალაზნის ველი აკუმულაციის არეს წარმოადგენდა; მისი აზრით, ის მორფოლოგიურად უფრო ძველია, ვიდრე კახეთის (ცივ-გომბორის) ქედი. ამ ქედის ჩამოყალიბებას იგი უფრო გვიანდელი ტექტონიკური აზევების შედეგად თვლის. ალაზნის ველის მდებარეობა რომ უფრო მაღალი იყო, ამის დამადასტურებლად თვლის ლიასური ფიქლების მასალას „ალაზნის წყებაში“, მოტანილს კავკასიონის ქედიდან ფაფრისხევში. ასეთივე ფიქლები ჩვენ ვნახეთ ალაზნის მარჯვენა შენაკადების მრავალ ხეობაში (ღვრიეხევი, კისისხევი და საბათლოს მიდამოები).

ცივის (ალაზნის) მძლავრი წყების ნალექები, რომლებიც წარმოდგენილია ტერიგენული მასალით, აშკარად მოწმობს იმას, რომ ალაზნის ახლანდელ დეპრესიაში და მის სამხრეთით, იორ-მტკვრის დეპრესიაშიც, მიოცენის დასასრულიდან პოსტპლიოცენურ დრომდე წარმოებდა აკუმულაცია.

გეოლოგიურ და გეომორფოლოგიურ შესწავლას იმ დასკვნამდე მივყავართ, რომ ალაზნის ველის დეპრესიული ნაწილის და ცივ-გომბორის ქედის განვითარების ისტორია განსხვავდება ალაზნის ზემო წელისა და კახეთისა და წოვის ქედების განვითარების ისტორიისაგან.

კახეთის ქედის ჩრდილო კალთაზე (წოვის ქედის ჩათვლით, რომელიც ცივ-გომბორის ქედს გამოეყოფა მდ. ილტოს ხეობით იქ, სადაც უკანასკნელი ქედი მკვეთრად უხვევს ჩრდილოეთისაკენ) ზედაცარცულზე უფრო ახალგაზრდა ნალექები აღარ გვხვდება. მაშასადამე, როდესაც ცივის წყების აკუ-



სურ. 1

მულაცია მიმდინარეობდა, წოვა-კახეთის ქედი კავკასიონთან ერთად წარმოადგენდა საკმაოდ მაღლა აზიდულ მხარეს. ის მორფოლოგიურად და გეოლოგიურად უფრო ძველია, ვიდრე ალაზნის დეპრესიული ნაწილი და ცივ-გომბორის ქედი შირაქ-აჯინაურის ზოლის ჩათვლით.

კახეთისა და წოვის ქედის აზევებას ადგილი უნდა ჰქონოდა არაუგვიანეს სავურ-შტირიული ფაზისისა [4].

ამრიგად, მიოცენის დასასრულიდან (მეოტურიდან მაინც) კახეთის ქედის ჩრდილო ნაწილი, რომელიც ლითოლოგიურად და სტრატიგრაფიულად

ᲔᲠᲝᲕᲜᲣᲚᲘ
ᲑᲘᲑᲚᲘᲝᲗᲔᲙᲐ

იზიარებს კავკასიონის ბუნებას, უკანასკნელთან ერთად განიცდის დენუდაციას, მომდევნო აზევებებთან დაკავშირებით.

მეოტური საუკუნიდან აღმოსავლეთ საქართველოს დიდი ნაწილი თავისუფლდება ზღვისგან და საკმაოდ ხანგრძლივი დროის მანძილზე წარმოებს კონტინენტური ნალექების დაგროვება კახეთის აღმოსავლეთ ნაწილში, იორ-ალაზნის წყალშუეთის ადგილზე, კავკასიონის კალთებამდე.

ის ფაქტი, რომ როგორც შირაქის, ისე აქჩაგილ-აფშერონის ანუ ცივის წყების კონგლომერატებში გვხვდება კახეთ-წოვისა და კავკასიონის ქედებიდან ჩამოტანილი მასალა, ვფიქრობთ, საეჭვოდ აღარ შეიძლება ჩაითვალოს. რაც შეეხება კახეთ-წოვის ქედის სამხრეთ-აღმოსავლეთ გაგრძელებას—ცივ-გომბორის ქედს, იგი მეოტურიდან, ან უკეთ, როგორც ა. ჯანელიძე [4] აღნიშნავს, ზედა სარმატიდან წარმოადგენს აკუმულაციის არეს, სადაც წარმოებდა ცივის სქელი წყების დაგროვება. ამის საუკეთესო დამადასტურებელ საბუთს წარმოადგენს ის, რომ აღნიშნული ქედის თხემურ ნაწილში საკმაოდ მნიშვნელოვნადაა გავრცელებული დენუდაციას გადარჩენილი ცივის კონგლომერატების წყების ნაშთები. არსებული საკმაოდ ვრცელი ტერიტორია კონტინენტური (ტერიგენული) ნალექების დაგროვების არეს წარმოადგენდა.

აქჩაგილურისწინა (როდანული) მოძრაობების შედეგად, ივრის ქვემო წელში, შირაქის აღმოსავლეთ ნაწილში და მტკვრის ხეობაში თბილისამდე წარმოებს დაძირვა; დაძირულ ზონაში იჭრება აქჩაგილური ზღვა. ზღვიური აქჩაგილური ნალექები დადგენილია სართიჭალის მიდამოებში [4], შირაქის აღმოსავლეთ ნაწილში და მის აღმოსავლეთით, აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე.

აღნიშნულ დროში ჩრდილოეთით, ცივ-გომბორის ქედისა და ალაზნის ველის ადგილზე, ისევ გრძელდება ალუვიურ-პროლუვიური ნალექების დაგროვება, რომლებიც გამოაქვს, ერთი მხრივ, კავკასიონის სამხრეთი კალთებიდან ჩამონადენ მდინარეებს და, მეორე მხრივ, ალაზნის ზემო წელში უკვე არსებულ მდ.მდ. ჩხათანას, სამყურისწყალს, წიფლოვანისწყალსა და ილტოს. ზედა აქჩაგილში ზღვა ისევ უკან იხევს და მთელ იორ-ალაზნის აუზში მყარდება კონტინენტური რეჟიმი. სართიჭალის მიდამოებში და აგრეთვე შავკაბისხევში, ცივ-გომბორის ჩრდილო კალთაზე ჩვენ მიერ ნახული განმარხებული ფლორის მდიდარი ნაშთები მიუთითებს აქჩაგილის დროის კონტინენტურ რეჟიმზე, ხოლო ფოთლოვანი მცენარეულობა საკმაოდ თბილი და ტენიანი ჰავის დამახასიათებელ ნიშნებს ატარებს (ცაცხვი, რცხილა, წიფელი).

ცივ-გომბორის ქედის ზოლში ამ დროისათვის შესაძლებელია არსებობდა მხოლოდ ცალკეული კუნძულები წითელწყაროს ტიტონური კირქვების მასივის ადგილზე, რომლის გადარეცხილი მასალა გვხვდება აქჩაგილურ და აფშერონულ კაჭარებში. კონტინენტური ნალექების დაგროვებასთან ერთად ადგილი აქვს ჩაღუნვებს ალაზან-ივრისა და მტკვრის ხეობებში, მთელი აქჩაგილისა და აფშერონის მანძილზე.

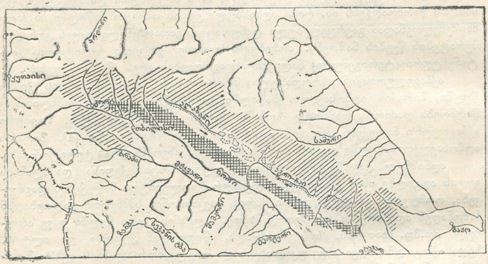
ცივის (ალაზნის) წყების ტერიგენული ნალექები ცივ-გომბორის ქედის დასავლეთით განიცდის გათხელებას, თანდათან ქრება ახმეტის მიმართულებით და წოვას ქედზე აღარ გადადის. ასეთსავე სურათს აქვს ადგილი

მტკვრის ხეობაში, სადაც ცივის კონგლომერატები წყდება მდ. ფრონესთან და დასავლეთით აღარ ვრცელდება (დ. წერეთელი).

ალაზნის ველის დეპრესიისა და ცივ-გომბორის ქედის გაჩენა უნდა მომხდარიყო ცივის ანუ ალაზნის წყების დალექვის შემდეგ, ბაქოურის წინა ოროგენული ფაზის გამოვლინების შედეგად. დღეისათვის ეს დებულება ეჭვს აღარ იწვევს გეოლოგებს შორის, რადგანაც ცივის (ალაზნის) წყება დანაოჭებულია და დიდ სიმაღლეზეა ატანილი.

უნდა ვიფიქროთ, რომ აღნიშნული ოროგენული ფაზის დროს, ცივ-გომბორის ქედის აზევებასთან ერთად, პირველ საწყისში ორიოდე ასეულ მეტრზე წარმოებდა დეპრესიის ჩაღუნვა, რაც გააძლიერა რღვევის ზოლის გასწვრივ მოძრაობაში მოსულმა კავკასიონის ქედის შემოცოცებამ ალაზნის ჩრდილო

ალაზან-აგრიჩაის ოლქის პალეოგეოგრაფიული სქემა ხაზარულ საუკუნეში №2



პირობითი ნიშნები
თანამედროვე ჰიდროგრაფიული ქსელი
მდინარეები ჩასახული ბაქოური საუკუნის დასაწყისში
ძველი მდინარეთა ნაკადები
ტბიური წყალსაცავი ხაზარულ საუკუნეში.
პლიოცენისწინა არსებული ქედები
ბაქოურის შემდგომი დროის ქედები

სურ. 2

კიდეზე. ცივ-გომბორთან ერთად აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე აზევებას განიცდიდა მტკვრისა და აგრი-ჩაის წყალგამყოფი სერები და წარმოიქმნა ერთი მთლიანი კავკასიონის ქედის გასწვრივი ალაზან—აგრი-ჩაის დეპრესია. ამავე დროს მიეკუთვნება ცივ-გომბორის სამხრეთით არსებული ტექტონიკური დეპრესიების ჩასახვა, რომლებიც ალაზან—აგრი-ჩაის მსგავსად განედური მიმართულებისანი არიან. მორფოლოგიურად ისინი კარგად არიან წარმოდგენილი ოლე-ნამარისა და დიდი შირაქის, ტარიბანა-ნატბეურის ვაკეების სახით.

ქვედაბაქოურ ხანაში ალაზნის ველზე წარმოებდა ალუვიურ-დელუვიური ნალექების დაგროვება. კონგლომერატების, თიხნარებისა და გამოზიდვის კო-

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ნუსთა ნალექები განამარხებული ნიადაგების შიდაშრეებითურთ გვიჩვენებს ნალექების დაგროვების პულსაციას და იმ ხარვეზებს, რომლებიც დაკავშირებული იყო ბაქოურის წინ დაწყებული ტექტონიკური მოძრაობის წყვეტილ ხასიათთან. ახლადჩასახული ცივ-გომბორის ვიწრო და დაბალი ქედის ზოლი განიცდიდა ინტენსიურ დენუდაციას, რომლის პროდუქტების გადატანა ინტენსიურად წარმოებდა. ბაქოური ნალექები ზოგჯერ უთანხმოდ არის განლაგებული (შავკაბახევში, გურულახევში და სხვ.) ცივის (ალაზნის) წყების ზედა ნაწილებზე.

თიხების, თიხიანი ქვიშაქვებისა და ფხვიერი კონგლომერატების მორიგეობა ცივ-გომბორის ჩრდილო ფერდობის დაძირვის ზოლში თანდათან გადადის მსხვილ ლოდ-კაჭრებში, რომელთა დიამეტრი 60—90 სმ აღწევს. აღმოსავლეთით აქჩაგილ-აფშერონულ წყებას (თბილი წყლების მიდამოებში) მოსდევს სუსტად დისლოცირებული ტბიური ნალექები, რომელთაც თავზე აძევს თიხნარებისა და რიყნარის დასტა.

ამრიგად, ქვედაბაქოურ ხანაში ალაზნის ველის დეპრესიაში, რომელიც გაცილებით შორს ვრცელდებოდა სამხრეთისაკენ და ცივ-გომბორის კალთების დიდ ნაწილს მოიცავდა, აკუმულაციის პროცესები ალუვიურ-პროლუვიური ნალექების დაგროვების სახით წარმოებდა. ამასთან ერთად წარმოებდა ნიადაგსაფარის განვითარება, რომელიც ქვედა მეოთხეულის ნალექებში გვხვდება ნამარხი ნიადაგური ჰორიზონტების სახით გურჯაანის, ფაფრისხევის, მლვრიეხევის, კისისხევის, იყალთოს, თურდოსა და სხვა ხეობებში.

კახეთის სამხრეთ-აღმოსავლეთ ნაწილში ბაქოური ზღვიური ნალექები ცნობილია ელდარის აღმოსავლეთ ნაწილსა და აჯინაურის მიდამოებში, ხოლო მტკვრის ხეობაში შეჭრილია საკმაოდ დასავლეთით, ჯანდრის ტბამდე.

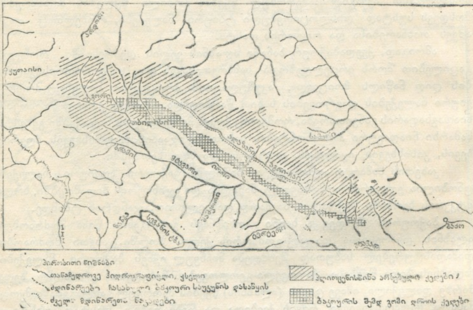
ბაქოურის შემდეგ ვ. ხაინი აღნიშნავს გიურგანის წინა მოძრაობებს ალაზნის დეპრესიისა და ცივ-გომბორის ქედის ზოლში. ასეთი მოძრაობის დამადასტურებელ საბუთად შეიძლება მიჩნეულ იქნეს ბაქოური ნალექების (ალაზნის ზედა წყებისა, ქართველი გეოლოგების მიხედვით) ეროზიულ ზედაპირზე დალექილი, იმავე ცივის (ალაზნის) წყების მეორეულ განლაგებაში მყოფი მასალა, წარმოდგენილი რიყის ქვებითა და თიხნარებით. სუსტად დახრილი ბაქოური ნალექების ზედაპირზე ეროზიული ჯიბეები და ძველი ხრამები ჩაჭრილია განამარხებული ნიადაგების დონემდე და ზოგჯერ კვეთენ მას. ეჭვს გარეშეა, რომ ნიადაგის ფენის წარმოქმნა და ზედაპირის დახრამვა საკმაოდ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში წარმოებდა. შემდგომი აზევების დროს (გიურგანის წინა ხანაში) ცივ-გომბორის ქედის კალთებზე ძლიერდება დენუდაციის პროცესები და ძველი დახრამული ადგილების ამოვსება და გადასწორება. ნიადაგები იმარხება პროლუვიურ-დელუვიური ნაფენების ქვეშ.

ქვედამეოთხეული დროისათვის არსებული ფიზიკურ-გეოგრაფიული პირობების დადგენა აღმოსავლეთ საქართველოსათვის და კერძოდ ალაზნის აუზისათვის ჯერ კიდევ დამატებით კვლევას მოითხოვს. თუმცა მცირე, მაგრამ საინტერესო გეოლოგიური და პალეონტოლოგიური მასალა (სპილოებისა და მარტორქების ჩონჩხის ნაშთები, მცენარეთა ნაშთები ილტოს

ხეობის ტრავერტინებში) გვიჩვენებს, რომ ამ დროისათვის ჰავა გაცილებით თბილი უნდა ყოფილიყო, ვიდრე დღეს არის.

ეს საკითხი მით უფრო საყურადღებოა, რომ რიგი მკვლევრები (ა. რეინჰარდი, ლ. ვარდანიანცი) ბაქოურ ხანაში აღნიშნავენ აღმოსავლეთ კავკასიონზე მინდელური მძლავრი გაყინვარების ნიშნებს, თუმცა, როგორც სამართლიანად აღნიშნავს ლ. ვ ა რ დ ა ნ ი ა ნ ც ი [2], იგი გაცილებით სუსტი უნდა ყოფილიყო, ვიდრე მომდევნო გაყინვარება. ბაქოური („მინდელური“) გაყინვარების უტყუარი ნიშნები აღმოსავლეთ კავკასიონზე, ბორბალოდან ტინოვ-როსომდე, ჯერჯერობით დადგენილი არ არის. საფიქრებელია, რომ იგი გაცილებით სუსტი იყო, კიდრე მომდევნო და უკანასკნელი გაყინვარება და მისი

ალაზან-აგრიჩაის რაიონის პალეოგეოგრაფიული სქემა ბაქოურ საუკუნეში №3



სურ. 3

ნალექები მოქცეულია ახალგაზრდა გლაციალური ნალექების ქვეშ. კავკასიონი ბაქოურ საუკუნეში არ აღწევდა თანადროულ სიმაღლეს და გაყინვარებაც შესატყვისად მხოლოდ მის უმაღლეს მწვერვალებს ეხებოდა. ასეთ მცირე გაყინვარებას არ შეეძლო საგრძნობი გავლენა მოეხდინა ფლორასა და ფაუნაზე, რომლებიც ინარჩუნებდნენ პლიოცენურ ხასიათს.

ატმოსფერული ნალექების სიუხვე ხელს უწყობდა კავკასიონის სამხრეთ კალთებზე და ცივ-გომბორის ქედზე უკვე ჩამოყალიბებული მდინარეების უხვწყლიანობას. მათი ენერგიული მოქმედებით გამოტანილი პროლუვიური და ალუვიური მასალა ილექებოდა დეპრესიაში.

შესაძლებელია, რომ იმავე პერიოდში ალაზან—აგრი-ჩაის დეპრესიაში დიდძალი მასალის დაგროვებასთან და თანდათანობით დაძირვასთან დაკავ-

შირებით მის ჩრდილო-დასავლეთ ნაწილში ადგილი ჰქონდა მაღალი ტერასების განვითარებას მატანის (ხევის ჭალა), ახმეტის, იყალთოს, თელავისა და გურჯაან-ბაკურციხის მიდამოებში, რომელნიც აღმოსავლეთით ებმიან ტიბაანის ტერასას. ტერასის სიმაღლე (ალაზნის დონიდან, მატაანის მიდამოებში) აღწევს 150—220 მ. იგი თანდათანობით ეშვება აღმოსავლეთით ალაზნის ველის დახრილობის შესაბამისად 100—120 მ სიმაღლემდე (ბაკურციხესთან).

ხაზარულის წინა მოძრაობების შედეგად ძირითადად ყალიბდება ცივ გომბორისა და წითელწყარო-დაშიუზ-მირვანის ქედები.

ახალი აზევების შედეგად იცვლება ჰიდროგრაფიული ქსელი. წითელწყარო-დაშიუზის ანტიკლინური სერი გრძელდება აღმოსავლეთით და კვეთავს ალაზან—აგრი-ჩაის დეპრესიის გასავალს აღმოსავლეთ აზერბაიჯანის დეპრესიისაკენ, ხოლო ალაზან—აგრი-ჩაის ცენტრალურ ნაწილში ძლიერდება დაძირვა, რის გამოც იქმნება ჩაკეტილი აუზი და აგრი-ჩაის მდინარე იწყებს დინებას დასავლეთისაკენ. ალაზნისა და აგრი-ჩაის შუა წელში ჩნდება ვრცელი ტბა. ამის დამამტკიცებელია ტბიური ნალექების არსებობა მუღანლოს, ალიაბადის, ყარაღაჩის, გავაზისა და შაქრიანის მიდამოებში საკმაოდ დიდ (60—80 მ) სიღრმეზე. ალაზნის დეპრესიაში ტბის დონის ევსტატიური რყევით, რასაც უკავშირდებოდა ადგილობრივი ბაზისის აწევა, უნდა აიხსნას მდ.მდ. სტორის, ლოპოტას, ინწობასა და სხვათა ქვემო და შუა წელში დიდი სისქის მქონე დაგროვებითი ტერასების წარმოქმნა. ხაზარულისწინა მოძრაობამ გამოიწვია კავკასიონის ახალი აზევება, რასაც უნდა მოჰყოლოდა ხაზარული („რისული“) გაყინვარება.

გაყინვარებასთან ერთად იცვლება ჰავაც. შედარებით ცივი და ტენიანი ჰავა ხელს უწყობს ალაზნის დეპრესიასა და გარე კახეთის ზეგანზე ატმოსფერულ ნალექთა სიუხვეს. ტექტონიკურ დეპრესიებში წარმოიქმნა მდინარეები, რომლებიც გაედინებოდნენ, მაგალითად, პატარა და დიდი შირაქის დეპრესიულ ტაფობებში. ალუვიური ნალექები კარგად არის გამოსახული შირაქის შურფების ჭრილში; გარდა ამისა, ძველი ტერასული საფეხურები შერჩენილია ამჟამად სრულიად მშრალ ველზე, დიდი შირაქის ველიდან ჯეირან-ველისაკენ (ზილჩა) გასასვლელ ვიწრო „დერეფანში“. ასეთივე მდინარეები, შესაძლებელია, ბაქოურისწინა აზევების დროიდან ჩასახული იყო წითელწყარო-დაშიუზის სერის სამხრეთ კალთაზე, ზილჩას მთის აღმოსავლეთით, ახლანდელი ალაზნის მერიდიანული ხეობის ადგილზე. აღნიშნული ქედის ახალ აზევებასთან დაკავშირებით, რასაც თან სდევდა ელდარ-აჯინაურისა და მტკვრის დეპრესიის დაძირვა, უნდა გაძლიერებულიყო ალაზან—აგრი-ჩაისა და იორ-მტკვრის დეპრესიათა შორის არსებული წყალგამყოფი ქედის კალთებზე მდინარეთა ეროზიული მოქმედება და მათი უკუსვლითი განვითარება.

შირაქისა და აქჩაგილ-აფშერონის სუსტად შემტკიცებულ თიხებს, ქვიშებსა და კონგლომერატებში ადვილად წარმოებს ჩახრამვა და უკუსვლითი ეროზია, რის შედეგადაც ხაზარულის დასასრულისათვის ზილჩა-კოსმატკის სამხრეთ კალთაზე არსებული მდინარეები უკვე ასწრებენ ქედის გადაკვეთას და ალაზან—აგრი-ჩაის შეგუბებული ტბის მოტაცებას სამხრეთით. ტბის თანდათან გადაშვების შედეგად განთავისუფლებულ ადგილებში ვითარდება ჭაობ-

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ბი და ტორფნარები (შაქრიანი, გავაზი, ყვარელი). შემდგომ ტბიური ნალექები იფარება ალაზნის ალუვიური და მისი შენაკადების ალუვიურ-პროლუვიური ნალექებით.

შემდგომი, ხვალინურისწინა მოძრაობის დროს გრძელდება ცივ-გომბორის ქედის აზევება და ალაზნის ველის დაძირვა. პირველთან დაკავშირებულია ქედის ჩრდილო ფერდობის სტრუქტურული ზედაპირებისა და ტერასების აზევება და დახრა 3—5 გრადუსით ალაზნის ველისაკენ, ხოლო ალაზნის დეპრესიის არეში დაძირვასთან ერთად ძლიერდება აკუმულაციის პროცესები.

ამრიგად, ალაზნის ველის მეოთხეული ნალექებისა და მორფოლოგიის შესწავლას მივყავართ დასკვნამდე, რომ ალაზნის მარჯვენა ნაპირზე ყველა ძველი ტერასა კი არ დაძირულა უფრო ახალგაზრდა ნალექების ქვეშ, როგორც ამაზე მიუთითებს ზოგიერთი მკვლევარი, არამედ ცივ-გომბორის ქედის თანდათანობით აზევებასთან ერთად მის კალთებზე გამომუშავებული ძველი ტერასები ატანილ იქნა მაღლა, ხოლო ტექტონიკური ბელტის არეში არსებული ძველი ტერასები დაიძირა და დაიფარა შედარებით ახალგაზრდა ალუვიური ნალექებით. აზევებას უნდა მოჰყოლოდა უკანასკნელი მძლავრი ხვალინური („ვურმული“) გაყინვარება, რომლის ნიშნები კარგად არის შემონახული კავკასიონზე.

ალაზნის დეპრესიის დაძირვასთან ერთად დაძირვას დღესაც განიცდის მისი მარცხენა შენაკადების ტერასებიც. ამაზე მიგვითითებს 25—30 მეტრზე მეტი სისქის ახალგაზრდა ნალექების განვითარება ისტორიულ პერიოდში. ხის ნახშირი, დამწვარი თიხები, კერამიკის ნაშთები და ფაუნა (*Bos taurus dom. sus scorfa* და სხვა) ნახულია 20—30 მ სიღრმეზე.

ამრიგად, საკუთრივ ალაზნის ალუვიური ნალექები, შაქრიანის ქვემოთ, მხოლოდ ზედა მეოთხეულში იწყებს განვითარებას; მისი I და II ტერასა, წარმოდგენილი ვაკის სახით, სრულიად ახალგაზრდაა და მოიცავს ანთროპოგენური ეპოქის უკანასკნელ ხანას („ვურმსა“ და ჰოლოცენს).

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ვახუშტის სახ. გეოგრაფიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 18.3.1953)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. В. В. Богачев. Материалы к истории тектонического развития Закавказской низменности. Азерб. нефт. х-во, 1927.
2. Л. А. Варданянц. Постплиоценовая история Кавказско-Черноморско-Каспийской области. Изд. АН Арм. ССР, 1948.
3. Н. В. Вассоевич. Некоторые результаты исследований в Горной Кахетии (1928—1933). Изд. Грузнефти, 1933.
4. А. И. Джанелидзе. К вопросу о геологическом строении Кахетинского хребта и Алазанской долины. Сообщ. АН ГССР, № 8, 1950.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 7, 1954
ეროვნული ბიბლიოთეკა

პალეონტოლოგია

ფ. მჭედლიშვილი

დასავლეთ საქართველოს პონტურ ნალექებში *PINUS PITHYUSA* STANDW. გირჩის პოვნის შესახებ

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ლ. დავითაშვილმა 14.1.1953)

1953 წლის ზაფხულში დასავლეთ საქართველოში (გუდაუთის რაიონში) საველე მუშაობის დროს ჩვენ დავაგროვეთ მდიდარი ნამარხი ფლორა პონტური ნალექებიდან, რომელთა შორის განსაკუთრებით საინტერესო აღმოჩნდა *Pinus pithyusa* Standw.-ის, ე. ი. თანამედროვე ბიჭვინთის ფიჭვის გირჩი (ნახ. 1 და 2).

ამ მიდამოების პონტური ნალექებიდან ნამარხი ბიჭვინთის ფიჭვის ნაშთები უკვე ცნობილი იყო ცუდად დაცული გირჩის ნატეხის სახით [1]. ჩვენი ნიმუში ამ მხრივ სრულია და დაცულობის მხრივაც საუცხოოდ შეიძლება ჩაითვალოს (ნახ. 1 და 2).

გირჩი ნაპოვნია ზედაპონტური თიხების ძირითად ქანში. მეტად საინტერესოა ის გარემოება, რომ იმავე ჰორიზონტში ფიჭვის გირჩთან ერთად ნაპოვნია აგრეთვე *Ginkgo biloba* L.-ის ნაშთები ფოთლის უკუანაბეჭდების სახით.

შუაპონტურ დროში გინკგოს და ბიჭვინთის ფიჭვის თანაარსებობის ფაქტი დიდ ინტერესს იწვევს. როგორც ცნობილია, გინკგო კავკასიაში სავსებით გადაშენებულია, ხოლო ბიჭვინთის ფიჭვი გადაშენების გზაზეა, იგი რელიქტური ფორმაა.

პალეობოტანიკური მონაცემები ნათლად ამტკიცებს, რომ *Banksia*-ს სექციის ფიჭვები, რომელთა რიცხვშიც ბიჭვინთისა (*Pinus pithyusa* Strandw.) და ელდარისა (*Pinus eldarica* Medw.) შედიან, *Pinus*-ის უძველეს ჯგუფს წარმოადგენენ ამიერკავკასიაში.

Banksia-ს სექციის უძველეს წარმომადგენლად ამიერკავკასიაში მიჩნეულია ბიჭვინთის ფიჭვის უახლოესი წინაპარი *Pinus praepithyusa* Palib., რომლის გირჩი აღწერილი იყო ი. პ ა ლ ი ბ ი ნ ი ს მიერ დასავლეთ საქართველოს ჭიათურის რაიონის სოფ. ზედა რგანის მიდამოებიდან ა. ბეტეხტინის მიერ შეგროვილი ოლიგოცენური (სპონგოლიტური) მასალის მიხედვით [2].

ზემოხსენებული ფიჭვის ახლობელი მეორე სახე *Pinus maicopiae* Palib. აღწერილი იყო აგრეთვე ი. პალიბინის მიერ ქალაქ თბილისის მიდამოების (მდინარე მტკვრის მარჯვენა ნაპირი სად. სოღანლუღის მახლობლად) ოლიგოცენური ნალექებიდან (ქვედამაიკოპურის შუა ჰორიზონტი), ვ. პახომოვის მასალებიდან.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ამგვარად, ზემოთქმულიდან აშკარად გამომდინარეობს, რომ უკვე ოლიგოცენში როგორც დასავლეთ, ისე აღმოსავლეთ ამიერკავკასიაში იზრდებოდა *Banksia*-ს სექციის ფიჭვები—ბიჭვინთის ფიჭვის—*Pinus praepithyusa* Palib. და *Pinus maicopiae* Palib.-ის უახლოესი წინაპრები.

მაგრამ უნდა ითქვას, რომ იმ დროს ფიჭვის ტყეების შემადგენლობაში, როგორც ჩანს, გვარ *Ginkgo*-ს ფორმები არ შედიოდა. ქ. შ ა პ ო რ ე ნ კ ო გარკვეულად აღნიშნავს, რომ ოლიგოცენში კავკასიაში გინკგო არ არსებობდა და ამას ხსნის როგორც ნაშთების უქონლობით, ისე ოლიგოცენის დროის კავკასიის საერთო პალეოგეოგრაფიული პირობებითაც [4].

გადავდივართ რა *Banksia*-ს სექციის უფრო ახალგაზრდა ფორმებზე, საჭიროა აღინიშნოს, რომ მიოცენური ფიჭვების ნაშთები ამიერკავკასიაში ჯერ კიდევ უცნობია და უკანასკნელთა გირჩების ნაშთები განსაზღვრულია მხოლოდ ჩრდილო-დასავლეთ კავკასიის ან ქერჩის ნახევარკუნძულის შუასარმატული ნალექებიდან. მაგრამ ჩვენ მიერ ნ. მჭედლიშვილთან და თ. ჭინჭარაძესთან ერთად [1] უკანასკნელ წლებში წარმოებული მიოცენური ნალექების სპორებისა და მტვრის ანალიზები გვიჩვენებს კავკასიაში *Pinus*-ის ქვეგვარის—*Diploxilon*-ის მტვრის მარცვლების ამა თუ იმ რაოდენობით არსებობას, რომელსაც *Banksia*-ს სექციის ფიჭვებიც მიეკუთვნება. მაშასადამე, *Banksia*-ს სექციის ფიჭვების მიკროსკოპული ნაშთების აღმოუჩენლობა ამიერკავკასიის მიოცენურ ნალექებში მხოლოდ გეოლოგიური მატიანეს უსრულობის შედეგია.

ჩრდილო-დასავლეთ კავკასიის მაიკოპის რაიონის სადგურ ხადიჟენსკის მახლობლად ნაპოვნი გირჩი ი. პალიბინის მიერ განსაზღვრულია როგორც *Pinus pithyusa* Strandw.-ის მსგავსი გირჩი. ეს გირჩი, რომელსაც მან *Pinus vassoewiczi* Palib. უწოდა, ნაპოვნი იყო შუასარმატულ ნალექებში მურა წყალმცენარე—*Cistoseira*-სა და ქაფურის ხე—*Cinnamomum lanceolatum* Ung.-თან ერთად [1, 2, 3].

ზღვის აუზების სუბლიტორალურ ზონაში მურა წყალმცენარე—*Cistoseira*-ს არსებობა (იგი ამჟამად ხმელთაშუა ზღვაში და შავი ზღვის სამხრეთ ნაწილში მოიპოება) ნათლად გვიჩვენებს, რომ *Pinus vassoewiczi* Palib. იყო ზღვის სანაპირო ზოლის ფიჭვი, რომელიც საკმარისად თბილ, სუბტროპიკულ ჰავის პირობებში ხარობდა.

შუასარმატული მეორე ნამარხი სახე *Pinus sarmatica* Palib. აღწერილი იყო ი. პალიბინის მიერ ქერჩის ნახევარკუნძულის კონცხ ხრონიადან, ნ. ანდრუსოვის მასალებიდან [1].

როგორც ფიჭვის ზემოთ აღნიშნული სარმატული სახე, ისე *Pinus sarmatica* Palib.-იც ზღვის სანაპირო ზოლის მცენარე ყოფილა, ვინაიდან მისი გირჩი ნაპოვნია შუასარმატული გამტკნარებული წყლის მოლუსკებთან ერთად; მასთან ერთად ნაპოვნია *Carpinus grandis* Ung.-ის ფოთლის აღნაბეჭდი. ეს

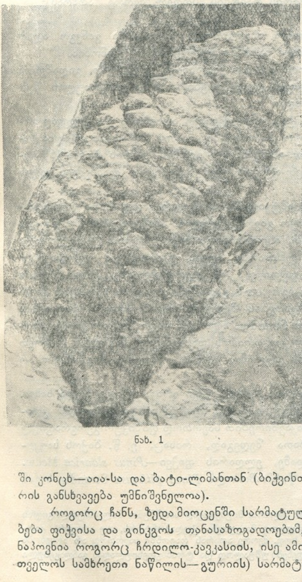
[1] სპორებისა და მტვრის ანალიზების შედეგები აქ დაწვრილებით არ არის მოყვანილი, ვინაიდან ეს სამუშაოები წარმოებს არა სისტემატურად, არამედ პირადი ინიციატივის მიხედვით, სპორადულად, ვინაიდან საქართველოში არ არსებობს სპორებისა და მტვრის ანალიზის ლაბორატორია.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

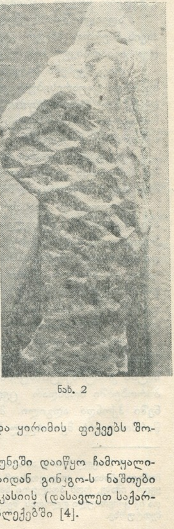
უკანასკნელი იმაზე მიუთითებს, რომ *Pinus sarmatica* Palib. უფრო ზომიერი ჰავის პირობებში არსებობდა, ვიდრე *Pinus vassoewiczi* Palib.

ნ. კუზნეცოვი და მრავალი სხვა ავტორი *Pinus sarmatica* Palib.-ს თვლიან თანამედროვე ბიჭვინთის ფიჭვის წინაპრად.

ყოველ შემთხვევაში აქ მოყვანილი ორივე სარმატული ფიჭვი, ერთი მხრივ, უსათუოდ ჰგვანან თავიანთ პალეოგენურ წინაპრებს, ხოლო, მეორე მხრივ, ისინი ახლობელნი არიან თანამედროვე ფიჭვის—*Pinus pithyusa* Strandw. და *Pinus stankewiczi* Fom., რომლებიც არსებობენ ყირიმში, სანაპირო ზოლ-



ნახ. 1



ნახ. 2

ში კონცხ—აია-სა და ბატი-ლიმანთან (ბიჭვინთისა და ყირიმის ფიჭვებს შორის განსხვავება უმნიშვნელოა).

როგორც ჩანს, ზედა მიოცენში სარმატულ საუკუნეში დაიწყო ჩამოყალიბება ფიჭვისა და გინკგოს თანასაზოგადოებამ, ვინაიდან გინკგო-ს ნაშთები ნაპოვნია როგორც ჩრდილო-კავკასიის, ისე ამიერკავკასიის (დასავლეთ საქართველოს სამხრეთი ნაწილის—გურიის) სარმატულ ნალექებში [4].

ეროვნული ბიბლიოთეკა

გინკგო ტიპიური არქტიკულ-მესამეული ფორმაა. ის კავკასიაში, ეჭვს გარეშე, ჩრდილოეთიდან, რუსეთის პლატფორმიდან შემოვიდა და, როგორც ჩანს, სარმატულ ტრანსგესიამდე შუა- და, შესაძლოა, ქვედამიოცენურ დროში. ყოველ შემთხვევაში, გინკგოს პოვნა გურიის შუასარმატულ ნალექებში აშკარად მიუთითებს იმის შესახებ, რომ დასავლეთ საქართველოს ჩრდილო ნაწილში, აფხაზეთში და, მით უმეტეს, ჩრდილოეთ კავკასიაში, გინკგო კიდევ უფრო ადრე გაჩენილა.

შუაპონტურის მოგვიანებით გინკგო გვხვდება აგრეთვე კავკასიაში; გინკგოს ნაშთები ცნობილია ოჩამჩირის რაიონის სოფელ მეორე ათარას[1] კიმერიული ნალექებიდან [5].

კავკასიის პლიოცენის უფრო ახალგაზრდა ნალექებში გინკგო აღარ გვხვდება. ყოველ შემთხვევაში მისი ნაშთები ჯერჯერობით უცნობია.

ადვილი შესაძლებელია, რომ გინკგო კავკასიაში სრულიად გადაშენდა ჰავის საერთო მძაფრ გაცივებასთან დაკავშირებით, რაც კიმერიულის შემდეგ კუიალნიკურ საუკუნეში მოხდა.

რაც შეეხება ბიჭვინთის ფიჭვს, იმას შეეძლო არსებობა და კიდევაც არსებობდა გაუარესებულ კლიმატურ პირობებშიც. ამის დასამტკიცებელია ნალექებში—*Pinus pithyusa* Strandw.-ის ტიპიური გირჩის ნაშთის პოვნა [6] აღმოსავლეთ საქართველოს სამხრეთ-აღმოსავლეთ განაპირას ლამბელის ქედის აქჩაგილურ ნალექებში.

ეს ფაქტი იმასაც ნათლად ამტკიცებს, რომ ჯერ კიდევ ზედა პლიოცენში ბიჭვინთის ფიჭვი ფართოდ იყო გავრცელებული ამიერკავკასიაში და იგი მოიცავდა როგორც აღმოსავლეთ, ისე დასავლეთ საქართველოს ტერიტორიას.

პლიოცენის დასასრულს მომხდარმა ზღვის უკანდახევამ აღმოსავლეთ ამიერკავკასიის ფარგლებიდან გამოიწვია ამ ტერიტორიაზე *Pinus pithyusa* Strandw.-ის გადაშენებაც. *Pinus pithyusa*-ს გადაშენება უფრო სწრაფად წავიდა მეოთხეულ პერიოდში გამყინვარების შედეგად ჰავის მძაფრი გაცივების გამო, და ამიტომ, *Pinus pithyusa* Strandw. ჩვენ დრომდე შემორჩენილა მხოლოდ ბიჭვინთის კონცხზე—დიდი კავკასიონის დასავლეთი ნაწილის სამხრეთ ფერდობზე, სადაც გამყინვარების გავლენა, ალბათ, იმდენად საგრძნობი არ ყოფილა ამ მცენარისათვის.

ელდარის ფიჭვი—*Pinus eldarica* Medw., ეჭვი არაა, ახალგაზრდა სახეა, წარმოშობილი—*Pinus pithyusa* Strandw.-საგან პლიოცენის დასასრულს კლიმატის კონტინენტიზაციასთან დაკავშირებით საერთოდ ფიზიკურ-გეოგრაფიულ პირობებში მომხდარ ცვლილებათა შედეგად, რასაც, ე. წ. ბაქოს საუკუნეში ჰქონდა ადგილი. მაშასადამე, ელდარის ფიჭვი—*Pinus eldarica* Medw. წარმოადგენს მეოთხეულ სახეს, წარმოშობილს *Pinus pithyusa* Strandw.-საგან

[1] სოფელ მეორე ათარას ნამარხი ფლორა, მიუხედავად სარწმუნო პალეონტოლოგიური მონაცემებისა, ა. კოლაკოვსკიმ უმართებულოდ მიაკუთვნა ქვედაპონტურს, თუ არაფერს ვიტყვით იმაზე, რომ პონტური ნალექები სოფ. მეორე ათარას რაიონში საერთოდ არ არსებობს და იქ კიმერიული ფლორის შემცველი ფენები უშუალოდ და ტრანსგრესიულადაა განლაგებული მეოტურზე.

ორი ფაქტორის—გამყინვარებისა და სტადიათაშორისეული პერიოდების ქსეროთერმული პირობების ზეგავლენით. უკანასკნელი მოსაზრების სასარგებლოდ მეტყველებს ის ფაქტიც, რომ *Pinus eldarica* Medw. ამჟამად ხარობს რა მშრალი კონტინენტური კლიმატის პირობებში, იგი საკმაოდ ხანგრძლივ დაბალ ტემპერატურებს უძლებს და უფრო სიცივეგამძლეა, ვიდრე *Pinus pithyusa* Strandw. *Pinus eldarica*-ს გადაშენება და მისი არეალის შემცირება, როგორც ჩანს, ბევრ რამეში ადამიანის გავლენით არის განპირობებული, ვინაიდან ჯერ კიდევ XII საუკუნეში იგი იზრდებოდა და ხარობდა ძველი განჯის—ახლანდელ კიროვაბადის—რაიონში [7] (1.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
პალეობიოლოგიის სექტორი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 14.1.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. И. В. Палибин. Ископаемые третичные сосны Западного Закавказья, Сб. посвящ. памяти акад. А. В. Фомина, Издание АН УССР, 1938.
2. И. В. Палибин. Новые хвойные из неогеновых отложений Урала и Кавказа. Изв. Бот. сада АН СССР, 1934.
3. И. В. Палибин. Этапы развития флоры прикаспийских стран со времени мелового периода. Изд. АН СССР, 1936.
4. К. К. Шапоренко. Ближайшие предки *Ginugo biloba* L. Тр. Бот. инст. АН СССР, 1936.
5. А. А. Колаковский. Новая страница палеоботанической летописи для нижнего понта Западной Грузии. ДАН СССР, т. XXII, № 1, 1952.
6. И. В. Полибин, Л. С. Петров и Т. С. Цирина. Растительные остатки из акчагыльских отложений Кила-Купровского нефтяного района южной Кахетии. Палеоб. сб., вып. I, Тр. НИГРИ, сер. А, вып. 29, 1934.
7. А. А. Яценко-Хмелевский и Г. В. Канделаки. Эльдарская сосна в окрестностях г. Ганджи в XII веке н. э., Сообщ. АН ГССР, т. II, № I, 1941.

(1 მადლობას ვუცხადებ ა. ებერზინს, აგრეთვე გ. კვალიაშვილსა და კ. ოდიშარიას, რომლებმაც მიმითითეს პონტური მცენარეული ნაშთების ადგილსამყოფელზე.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV, № 7, 1954

ტექნიკა

ე. სარქისიანი

თაღის ძაბვის რეგულირება ღერძის გადაადგილებით

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა კ. ზავრიევმა 27.5.1954)

უსახსრო თაღის რაციონალური ღერძი დრეკადი შეკუმშვის, ჯდენისა და ტემპერატურისაგან გამოწვეული დამატებითი ძაბვების შემცირებისა და გათანაბრებისათვის ხშირად მოითხოვს შესწორებას.

ღერძის შესწორება, ფ. კეგლერის [1], ს. ხოლოპოვის [2] და სხვების გამოკვლევებით, მიმართულია თაღის შეკუმშვით გამოწვეული დამატებითი გამბრჯენის სრული მოსპობისაკენ, ე. ი. კლიტესა და ქუსლში მომენტების ნულთან გათანაბრებისაკენ.

ეს შესწორებები, როგორც სამართლიანადაა აღნიშნული [3]-ში, არ შეიძლება მართებულად ჩაითვალოს, რადგან ისინი თაღის შუალედ კვეთებში იწვევენ მომენტებს იმავე სიდიდეებით და ხშირად მეტსაც, ვიდრე კლიტესა და ქუსლში, რომლებიც ასეთივე შესწორებებით იყვნენ მოსპობილნი.

ვ. კისელევი [3] იძლევა წინადადებას დამატებითი გამბრჯენის არა მთლიანად, არამედ ნაწილობრივ მოსპობის შესახებ, ისე, რომ კვეთებში $\xi=0{,}25$ და $\xi=1{,}0$ ძაბვები თანაბარი იყოს. ასეთ შემთხვევაში დამატებითი ძაბვების უფრო ეფექტური შემცირება და გათანაბრება მიიღება, ვიდრე კეგლერის ხერხით.

ამ შრომაში განხილულია ღერძის შესწორება უსახსრო თაღის შტრასნერ-ზავრიევის ხერხით გაანგარიშებისას, გამომდინარე ვ. კისელევის წინადადებიდან.

დამატებითი ძაბვების გათანაბრება თაღის კვეთებში მიღწეული იქნება მუდმივი დატვირთვისაგან აგებული წნევის მრუდის მიმართ თაღის ღერძის წერტილების გადაადგილებით გარკვეული η ორდინატებით. სიმარტივისათვის η ცვლილება მიღებულია პარაბოლური კანონით [1] (ფიგ. 1).

უბნისათვის, როცა $\xi=0$, $\xi=\xi_s$-მდე,

$$\eta = \frac{4\eta_1}{\xi_s^2}\,\xi\,(\xi_s-\xi).$$

უბნისათვის

$$\xi = \xi_s \quad \xi = 1{,}0\text{-მდე} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{4\eta_2}{(1-\xi_s)^2}\,(1-\xi)\,(\xi-\xi_s),$$

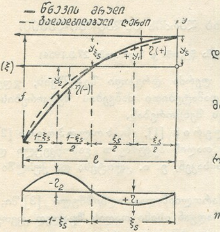
ეროვნული ბიბლიოთეკა

სადაც: η_1 თაღის ღერძის მაქსიმალური გადაადგილებაა კვეთში ქვემოთ, როცა $\xi=0{,}5\,\xi_s$;

η_2 თაღის ღერძის მაქსიმალური გადაადგილებაა კვეთში ზევით, როცა $\xi=\xi_s+0{,}5\,(1-\xi_s)$;

ξ ფარდობითი აბსცისაა.

სიდიდე ξ_s განისაზღვრება პირობიდან (ფიგ. 1):



ფიგ. 1

$$y'_{\xi s}=y_s$$

გავითვალისწინებთ რა, რომ

$$y_s=\vartheta\cdot f$$

და

$$y'_{\xi s}=\frac{f}{m-1}\,(\mathrm{ch}\,k\xi_s-1),$$

მივიღებთ:

$$\xi_s=\frac{\mathrm{arc\,ch}\,[1+\vartheta\cdot(m-1)]}{\mathrm{arc\,ch}\,m} \qquad (2)$$

როცა $m=1$, გვაქვს:

$$\xi_s=\sqrt{\vartheta}. \qquad (3)$$

აქ ϑ კოეფიციენტია, დამოკიდებული m და n პარამეტრებზე [4].

ξ_s რიცხვითი სიდიდეები ხშირად ხმარებულ m და n მნიშვნელობებისათვის მოყვანილია 1 ცხრილში.

ხსენებული გადაადგილების შედეგად დრეკად ცენტრში წარმოიქმნება გამბრჯენი, გამოწვეული დრეკადი შეკუმშვით მუდმივი დატვირთვის შემთხვევაში, აგრეთვე მომენტი [5]:

$$\Delta H_1=Hg\,\frac{\int \eta y\,\frac{ds}{J}-\int\frac{ds}{F}}{\int y^2\,\frac{ds}{J}}$$

$$\Delta M_1=-\,Hg\,\frac{\int\eta\,\frac{ds}{J}}{\int\frac{ds}{J}}$$

აქ Hg გამბრჯენია მუდმივი დატვირთვისაგან დრეკადი შეკუმშვის გაუთვალისწინებლად.

საკმარისი სიზუსტით შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ დრეკადი ტვირთების სიდიდეები

$$\omega=\frac{ds}{J}$$

ღერძის შესწორების შემდეგ უცვლელი რჩება [1, 5].

ცხრილი 1

მნიშვნელობანი ξ_s, α, β და β_1

	m	n								
		1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,25	0,2	0,15
ξ_s		0,5774	0,5611	0,5401	0,5271	0,5117	0,4936	0,4830	0,4714	0,4584
α	1,000	1,3663	1,4298	1,5137	1,5654	1,6232	1,6898	1,7233	1,7586	1,7926
β_1		0,4287	0,4137	0,3910	0,3753	0,3560	0,3313	0,3164	0,2987	0,2790
ξ_s		0,5828	0,5664	0,5448	0,5321	0,5164	0,4980	0,4875	0,4757	0,4623
α	1,347	1,3969	1,4612	1,5433	1,5981	1,6555	1,7219	1,7581	1,7933	1,8255
β		0,4238	0,4086	0,3864	0,3716	0,3519	0,3269	0,3124	0,2953	0,2753
ξ_s		0,5855	0,5694	0,5483	0,5350	0,5106	0,5011	0,4905	0,4786	0,4652
α	1,756	1,4125	1,4797	1,5657	1,6173	1,6781	1,7449	1,7813	1,8162	1,8500
β		0.4205	0,4051	0,3826	0,3674	0,3479	0,3234	0,3079	0,2912	0,2718
ξ_s		0,5902	0,5739	0,5527	0,5395	0,5240	0,5054	0.4945	0,4823	0,4690
α	2,240	1,4402	1,5066	1,5940	1,6477	1,7090	1,7778	1.8128	1,8470	1,8822
β		0,4144	0,4000	0,3775	0,3620	0,3423	0,3186	0,3038	0,2869	0,2669
ξ_s		0,5945	0,5783	0,5574	0,5439	0,5283	0,5096	0,4986	0,4865	0,4728
α	2,814	1,4661	1,5341	1,6251	1,6781	1,7403	1,8102	1,8459	1,8818	1,9158
β		0,4101	0,3948	0,3722	0,3570	0,3378	0,3143	0,2992	0,2819	0,2633
ξ_s		0,5993	0,5830	0,5618	0,5486	0,5329	0,5141	0.5031	0,4908	0,4770
α	3,500	1,4956	1,5642	1,655.	1,7113	1,7750	1,8459	1,8828	1,9190	1,9513
β		0,4055	0,3905	0,3686	0,3530	0,3346	0,3093	0,2954	0,2780	0,2589
ξ_s		0,6041	0,5880	0,5668	0,5535	0,5377	0,5188	0,5076	0,4942	0,4813
α	4,324	2,5259	1 5968	1,6895	1,7462	1,8107	1,8838	1,9199	1,9484	1,9930
β		0,4002	0,3857	0,3641	0,3488	0,3302	0,3051	0,2910	0,2747	0,2539
ξ_s		0,6054	0,5894	0,5684	0,5552	0,5395	0,5205	0,5094	0,4969	0,4829
α	5,321	1,5342	1,6061	1,7158	,7589	1,8243	1,8979	1,9356	1,9725	2,0073
β		0,3938	0,3789	0,3515	0,3416	0,3228	0,2988	0,2844	0,2680	0,2488
ξ_s		0,6141	0,5981	0,5770	0,5598	0,5479	0,5287	0,5174	0,5049	0,4905
α	6,536	1,5914	1,6655	1,7624	1,7928	1,8902	1,9665	2,0048	2,0449	2,0790
β		0,3974	0,3758	0,3538	0,3431	0,3196	0,2962	0,2814	0,2644	0,2452
ξ_s		0,6194	0,6035	0,5824	0,5691	0,5533	0,5340	0,5227	0,5099	0,4958
α	8,031	1,6274	1,7035	1,8026	1,8637	1,9344	2,0102	2,0525	2,0912	2,1309
β		0,3858	0,3708	0,3489	0,3340	0,3156	0,2915	0,2777	0,2602	0,2411
ξ_s		0,6293	0,6134	0,5923	0,5792	0,5630	0,5435	0,5320	0,5191	0,5044
α	9,889	1,6976	1,7758	1,8792	1.9450	2,0166	2,0967	2,1391	2,1796	2,2171
β		0,3823	0,3678	0,3467	0,3312	0,3133	0,2894	0,2748	0,2580	0,2386

ეროვნული ბიბლიოთეკა

მაგრამ აღნიშნული ტვირთების სიმძიმის ცენტრის უცვლელობისათვის დაცული უნდა იყოს პირობა:

$$\int (y+\eta)\frac{ds}{J} = \int y\frac{ds}{J} + \int \eta\frac{ds}{J} = 0$$

დრეკადი ტვირთების სიმძიმის ცენტრის მდებარეობა, თაღის ღერძის წნევის მრუდით მოხაზულობისას, განისაზღვრებოდა პირობიდან:

$$\int y\frac{ds}{J} = 0,$$

მაშასადამე, ზემოთ მოყვანილ ტოლობაში:

$$\int \eta\frac{ds}{J} = 0 \tag{4}$$

და მასთან ერთად $\Delta M_1 = 0$.

ამიტომ ერთადერთი ზედმეტი უცნობია ძალა ΔH_1.

წარმოვადგინოთ ძალა ΔH_1 შემდეგნაირად:

$$\Delta H_1 = Hg\frac{\int \eta y\frac{ds}{J}}{\int y^2\frac{ds}{J}} - \Delta Hg,$$

სადაც: ΔHg გამბრჯენია, გამოწვეული დრეკადი შეკუმშვით მუდმივი ტვირთისაგან, თაღის ღერძის თანთხვეულობის შემთხვევაში წნევის მრუდთან.

ΔH_1—ძალის ნულთან გატოლების პირობა, დრეკადი ცენტრის მდებარეობის უცვლელობისას გვაძლევს:

$$\int \eta\bar{y}\frac{ds}{J} = \frac{\Delta Hg}{Hg}\cdot\int y^2\frac{ds}{J},$$

ე. ი. რათა მოსპობილ იქნეს კლიტესა და ქუსლში დამატებითი მომენტები, გამოწვეული დრეკადი შეკუმშვით მუდმივი ტვირთის შემთხვევაში, საჭიროა თაღის ღერძის გადაადგილება ისე ვაწარმოოთ, რომ დრეკად ცენტრში წარმოიქმნას ΔHg ძალის ტოლი და მოპირდაპირე ძალა.

თუ ΔHg ძალის გარდა დრეკად ცენტრში მოდებულია ტემპერატურის ცვლილებისა და ბეტონის ჯდენისაგან გამოწვეული გამბრჯენები, მაშინ ცხადია, რომ

$$\int \eta y\frac{ds}{J} = \frac{\Delta H}{Hg}\cdot\int y^2\frac{ds}{J}, \tag{5}$$

სადაც

$$\Delta H = \Delta Hg + \Delta H_t.$$

ΔH_t გამბრჯენია, ტემპერატურის ცვლილებისაგან და ბეტონის ჯდენისაგან გამოწვეული.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

თანახმად (4) გვაქვს:

$$\int_0^{\xi_s} \eta \frac{ds}{J} = -\int_{\xi_s}^{1} \eta \frac{ds}{J}. \tag{6}$$

ვითვალისწინებთ რა [1] და რომ

$$\frac{ds}{J} = \frac{l}{J_s}[1-(1-n)\xi]\,d\xi,$$

მაშინ (6) ინტეგრირებისა და გარდაქმნის შედეგად მივიღებთ:

$$\eta_2 = -\alpha\eta_1 \tag{7}$$

სადაც

$$\alpha = \frac{2\xi_s - (1-n)\xi_s^2}{2(1-\xi_s) - (1-n)(1-\xi_s^2)}. \tag{8}$$

α კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდეები m და n პარამეტრების ყველა მნიშვნელობისათვის მოყვანილია 1 ცხრილში.

(5) გამოსახულების მარცხენა, უცნობ ნაწილს განიხილავენ როგორც სიდიდეების

$$\eta\omega = \eta\frac{ds}{J}$$

ეპიურების ფართების სტატიკურ მომენტს x ღერძის მიმართ. ამასთან მაღალი რიგის სიზუსტით თვლიან, რომ

$$\int_0^1 \eta y \frac{ds}{J} = y_1 \int_0^{s} \eta \frac{ds}{J} - y_2 \int_{\xi_s}^{1} \eta \frac{ds}{J},$$

ხოლო (6) თანახმად:

$$\int_0^1 \eta y \frac{ds}{J} = (y_1 + y_2)\int_0^{\xi_s} \eta \frac{ds}{J}, \tag{9}$$

სადაც y_1 და y_2 აქვს მნიშვნელობანი (ფიგ. 1):

$$y_1 = y_s - y'_1, \quad y_2 = y'_2 - y_s,$$

ვინაიდან

$$y' = \frac{f}{m-1}(\operatorname{ch} k\xi - 1)$$

და

$$\int y^2 \frac{ds}{J} = \int y y_0 d\omega = \lambda \cdot \frac{l \cdot f^2}{J_s}.$$

მაშინ (9) ინტეგრებისა და გარდაქმნის შემდეგ მივიღებთ (5)-დან:

$$\eta_1 = \frac{\Delta H}{Hg} \cdot \beta \cdot f, \tag{10}$$

სადაც

$$\beta = \frac{3 \cdot \lambda \cdot (m-1)}{[2\xi_s - (1-n)\xi_s^2][\operatorname{ch} 0{,}5\,k(1+\xi_s) - \operatorname{ch} 0{,}5\,k\xi_s]}. \tag{11}$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

λ კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობანი მოყვანილია შრომაში [4].

როცა $m=1$, ფორმულაში (10) β ნაცვლად უნდა ჩაისვას β_1.

$$\beta_1 = \frac{12\lambda}{[(1+\xi_s)^2 - \xi_s^2]\,[2\,\xi_s - (1-n)\,\xi_s^2]} \tag{12}$$

β და β_1 კოეფიციენტების რიცხვითი სიდიდეები m და n პარამეტრების ყველა მნიშვნელობისათვის მოყვანილია 1 ცხრილში.

მაშასადამე, 1 ცხრილით და (7), (10) ფორმულებით ჩვენ გვაქვს შესაძლებლობა განვსაზღვროთ თაღის ღერძის მაქსიმალური გადაადგილება η_1 და η_2, შეკუმშვისაგან გამოწვეული დამატებითი გამბრჯენის სრული მოსპობის პირობით. დანარჩენი წერტილების გადაადგილება განისაზღვრება (1) მიხედვით.

დავსახოთ ვ. კისელევის პირობა—შევინარჩუნოთ ΔH გამბრჯენის რაღაც ნაწილი $\mu < 1$.

მაშინ ცხადია, რომ

$$\eta_1 = \frac{\Delta H}{Hg}(1-\mu)\cdot\beta\cdot f. \tag{13}$$

μ კოეფიციენტი შეირჩევა $\xi = 0{,}5\,\xi_s$ და $\xi = 1{,}0$ კვეთებში დამატებითი ძაბვების ტოლობის პირობიდან და ღებულობს მნიშვნელობას [3]:

$$\mu = \frac{Hg\cdot\eta_1}{\Delta H\,(f-y_s)\dfrac{h_1^2}{h_k^2} - \Delta H\,(y_s - y'_1 - \eta_1)}. \tag{14}$$

აქ h_k და h_1 თაღის სისქეა ქუსლსა და $\xi = 0{,}5\,\xi_s$ კვეთში. μ მნიშვნელობის (13)-ში ჩასმა გვაძლევს კვადრატულ განტოლებას η_1 მიმართ.

მცირე ცდომილებით შეიძლება დავუშვათ [3]:

$$\eta_1 = \frac{\Delta H}{Hg}\beta\cdot f - \frac{\eta_1\cdot f\cdot\beta}{(f-y_s)\dfrac{h_1^2}{h_k^2} - (y_s - y'_1)}.$$

მაშინ საბოლოოდ გვექნება:

$$\eta_1 = \frac{\dfrac{\Delta H}{Hg}\cdot\beta\cdot f}{1 + \dfrac{\beta\cdot f}{(f-y_s)\dfrac{h_1^2}{h_k^2} - (y_s - y'_1)}}. \tag{15}$$

ეს კი არის ვ. კისელევის ფორმულა ჩვენს შემთხვევასთან დაკავშირებით.

როცა $m=1$, (15)-ში β მაგიერ უნდა ჩავსვათ β_1.

მაშასადამე, (15) განსაზღვრავს $\xi = 0{,}5\,\xi_s$ კვეთში ღერძის გადაადგილებას, გამომდინარე ქუსლსა და განხილულ კვეთში დამატებითი ძაბვების ტოლობიდან. ამასთან η_1 და η_2 დაკავშირებულია (7) გამოსახულებით.

განვიხილოთ მაგალითი, მოყვანილი შრომაში [4].
თაღის მონაცემები შემდეგია:

$$L = 31{,}60 \text{ მ.} \quad f = 7{,}75 \text{ მ.} \quad h_s = 1{,}0 \text{ მ.} \quad h_k = 1{,}38 \text{ მ.}$$
$$h_1 = 1{,}05 \text{ მ.} \quad h_2 = 1{,}24 \text{ მ.} \quad g_s = 6{,}56 \text{ ტ/მ.} \quad g_k = 19{,}20 \text{ ტ/მ.}$$
$$m = 2{,}81 \quad n = 0{,}6 \quad y_s = 2{,}051 \text{ მ.} \quad y'_1 = 0{,}485 \text{ მ.}$$
$$y'_2 = 4{,}212 \text{ მ.}$$

თაღის ანგარიში საკუთარ ტვირთზე გვაძლევს გამბრჯენს $Hg = 133{,}60$ ტ· და დამატებით გამბრჯენს დრეკადი შეკუმშვისაგან $\Delta Hg = -3{,}10$ ტ, რის შედეგადაც:

$$M_s = 6{,}35 \text{ ტ}\cdot\text{მ.} \quad M_k = -17{,}60 \text{ ტ}\cdot\text{მ.}$$

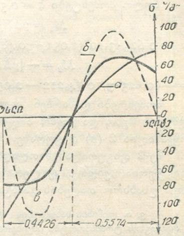
თაღის კვეთების ზემო და ქვემო ბოჭკოების ჯამური ძაბვების განსხვავების ეპიურა, განსაზღვრული აღნიშნული მონაცემებით, მოყვანილია 2 (a) ფიგურაზე.

გამოვდივართ რა დრეკადი შეკუმშვით გამოწვეული გამბრჯენის სრული მოსპობიდან, ანგარიში გვაძლევს შემდეგ შედეგებს.

(10), (7) ძალით გვაქვს:

$$\eta_1 = \frac{3{,}10 \cdot 7{,}75 \cdot 0{,}3722}{133{,}60} = 0{,}0669 \text{ მ.}$$

$$\eta_2 = -1{,}6251 \cdot 0{,}0669 = -0{,}1087 \text{ მ.}$$



ფიგ. 2

მომენტები კვეთებში $\xi = 0{,}5\, \xi_s$ და $\xi = 0{,}5\,(1 + \xi_s)$

$$M_1 = Hg \cdot \eta_1 = 133{,}60 \cdot 0{,}0669 = 8{,}94 \text{ ტ}\cdot\text{მ.}$$
$$M_2 = -Hg \cdot \eta_2 = -133{,}60 \cdot 0{,}1087 = -14{,}52 \text{ ტ}\cdot\text{მ.}$$

დანარჩენ კვეთებში მომენტები ასევე შეიძლება გამოითვალოს (1)-ის თანახმად. ჯამური ძაბვების განსხვავების ეპიურა ამ შემთხვევისათვის მოყვანილია 2 (ბ) ფიგურაზე.

დრეკადი შეკუმშვით გამოწვეული გამბრჯენის ნაწილობრივი მოსპობის პირობა იძლევა:

$$\eta_1 = \frac{\dfrac{3{,}10}{133{,}60} \cdot 7{,}75 \cdot 0{,}3722}{1 + \dfrac{7{,}75 \cdot 0{,}3722}{(7{,}75 - 2{,}051)\dfrac{1{,}05^2}{1{,}38^2} - (2{,}051 - 0{,}485)}} =$$

$$= \frac{0{,}0669}{2{,}6643} = 0{,}0251 \text{ მ.}$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

(13)-დან მივიღებთ:

$$\mu = 1 - \frac{Hg \cdot \eta_1}{\Delta Hg \cdot \beta \cdot f} = 1 - \frac{133{,}60 \cdot 0{,}0251}{3{,}10 \cdot 0{,}3722 \cdot 7{,}75} = 0{,}625.$$

(7) მიხედვით:

$$\eta_2 = -1{,}6251 \cdot 0{,}0251 = -0{,}0408 \text{ მ.}$$

კლიტესა და ქუსლში მომენტები მიიღებს მნიშვნელობებს:

$$M_s = \mu \Delta Hg \cdot y_s = 0{,}625 \cdot 3{,}10 \cdot 2{,}051 = 3{,}97 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_k = -\mu \Delta Hg\,(f - y_s) = -0{,}625 \cdot 3{,}10 \cdot (7{,}75 - 2{,}051) = -11{,}04 \text{ ტ. მ.}$$

ხოლო მომენტები $\xi = 0{,}5\,\xi_s$ და $\xi = 0{,}5\,(1 + \xi_s)$ კვეთებში:

$$M_1 = \mu \Delta Hg\,(y_s - y'_1 - \eta_1) + Hg \cdot \eta_1 =$$

$$= 0{,}625 \cdot 3{,}10 \cdot (2{,}051 - 0{,}485 - 0{,}0251) + 133{,}6 \cdot 0{,}0251 = 6{,}33 \text{ ტ. მ.}$$

$$M_2 = -[\mu \Delta Hg\,(y'_2 - y_s - \eta_2) + Hg \cdot \eta_2] =$$

$$= -[0{,}625 \cdot 3{,}10 \cdot (4{,}212 - 2{,}051 - 0{,}0408) + 133{,}6 \cdot 0{,}0408] = -9{,}56 \text{ ტ. მ.}$$

მომენტები დანარჩენ კვეთებში შეიძლება ასევე გამოითვალოს. თაღის კვეთების ზემო და ქვემო ბოჭკოების ჯამური ძაბვების განსხვავების ეპიურა მოყვანილია 2 (в) ფიგურაზე.

მე-2 ფიგურიდან ნათლად ჩანს, რომ ვ. კისელევის წინადადება უფრო ეფექტურია, ვიდრე კეგლერისა, და წარმატებით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს უსახსრო თაღების გაანგარიშებისას შტრასნერ-ზავრიევის მეთოდით.

ვ. ი. ლენინის სახელობის
რკინიგზის ტრანსპორტის ინჟინერთა
თბილისის ინსტიტუტი

(რედაქციას მოუვიდა 24.5.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. Ф. Кеглер. Таблицы для расчета сводов. ГНТН, М.-Л., 1931.
2. С. А. Холопов. Новый прием исправления оси бесшарнирной арки. Труды Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта. Выпуск 3, М., 1951.
3. В. А. Киселев. Рациональные формы арок и подвесных систем. М., 1953.
4. К. С. Завриев. Сопротивление сооружений. Изд. „Техника да Шрома". Тбилиси, 1939.
5. Н. И. Поливанов. Железобетонные мосты. М.-Л., 1947.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე. ტ. XV № 7. 1954

ენერგეტიკა

ვ. ჭიჭინაძე

არაწრფივი უკუკავშირიანი რეგულაციის სისტემების შესახებ

(წარმოადგინა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტმა გ. გედევანიშვილმა 7.1.1954)

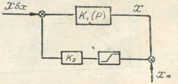
ავტომატური რეგულაციისა და მართვის სისტემების დინამიკური თვისებების გასაუმჯობესებლად ხშირად არაწრფივ უკუკავშირს იყენებენ წაკვეთით. ეს სისტემა ჩვეულებრივისაგან იმით განსხვავდება, რომ გარდამავალი პროცესის დასაწყისში, გარკვეულ მომენტამდე, $0 < t < t_3$ სისტემა განრთულია და როცა $t = t_3$, იგი შეირთვება ამგვარად, გვაქვს პროცესის ორი არე, რომლებიც სხვადასხვა განტოლებებითაა აღწერილი [3, 4, 5, 6, 7].

წინამდებარე შრომაში განხილულია სისტემები წრფივი წაკვეთით, როცა უკუკავშირის წრედში გვაქვს რგოლი წრფივი დახასიათებით. რამდენადაც მათი აღწერა, როგორც შერთვამდე, ისე შერთვის შემდეგ, წრფივი დიფერენციალური განტოლებებით ხდება, ამიტომ ასეთ სისტემებს შემდგომ უბან-უბან წრფივ სისტემებს ვუწოდებთ.

უბან-უბან წრფივი სისტემები

როგორც აღნიშნული იყო, უბან-უბან წრფივი სისტემების განტოლებანი, როგორც შერთვამდე, ისე შერთვის შემდეგ, წრფივია. ასეთი სისტემები გვხვდება, მაგალითად, ძრავი-გენერატორის თანადროულ სისტემებში, რა თქმა უნდა, თუ დახასიათება ცალკეული რგოლებისა ისე იქნება განხილული, როგორც წრფივი.

ასეთ სისტემებში გამოსასვლელი სიდიდე x შედარებულია საკომანდრო x_k სიდიდესთან და სხვაობა $x - x_k$ მოყვანილია რგოლზე ნახაზზე აღნიშნული ნიშნაკით (ნახ. 1), რაც ისეთ მოწყობილობას ნიშნავს, რომლის საშუალებითაც $x < x_k$ სისტემა განრთულია, ხოლო შეირთვება როცა $x = x_k$ და ამის შემდეგ შერთულ წრფივ სისტემასთან გვექნება საქმე.



ნახ. 1

დავუშვათ, რომ ტოლობა

$$x = x_k$$

მიღწეულია, როცა $t = t_3$. მაშინ პროცესები შემდეგი განტოლებებით იქნება აღწერილი:

$$\bar{x} = \bar{x}_{вх} K_1(P), \qquad (1)$$

როცა $$0 < t < t_3,$$

და

$$[1 + K_2(P) K_1(P)]\, \bar{x} = [\bar{x}_{вх} + \bar{x}_k K_2(P)]\, K_1(P) + $$
$$+ G_1(P)\, x(t_3) + G_2(P)\, \dot{x}(t_3) + \ldots + G_n(P) \overset{(n-1)}{x}(t_3), \qquad (2)$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

როცა $$t_з < t < \infty,$$

სადაც $(t_з)$ და $G_i(P)\overset{(i-1)}{x}$ ფუნქციის საწყისი მნიშვნელობა და მისი წარმოებულებია, რომელთა განსაზღვრა (1) განტოლების საშუალებით ხდება $t = t_з$ მომენტისათვის. ამპლიტუდით $x(t_з) = x_k$.

გადავწეროთ განტოლება [2]

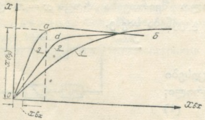
$$\bar{x} = \frac{K_1(P)}{1 + K_2(P)K_1(P)}\bar{x}_{вх} + \frac{K_1(P)K_2(P)}{1 + K_2(P)K_1(P)}\bar{x}_k + \frac{\sum\limits_{\psi=1}^{n} G_\psi(P)\overset{(\psi-n)}{x}(t_з)}{1 + K_2(P)K_1P)}, \qquad (3)$$

როცა $t_з < t < \infty$.

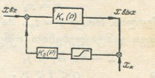
უკანასკნელ განტოლებაში მამრავლი x_k-თან ჩვეულებრივი შერთული სისტემის გადამცემი ფუნქციაა. უკანასკნელი წევრი გამოწვეულია საწყისი პირობებით და x-ის დამყარებულ მნიშვნელობაზე გავლენას არ ახდენს. განტოლების მეორე წევრი (3) განპირობებულია წაკვეთის x_k სიდიდით. როცა $x_k = 0$-ს, ვღებულობთ წრფივ შერთულ სისტემას. შერთვის მომენტი x_k-ის ამპლიტუდურ მნიშვნელობაზეა დამოკიდებული, ამავე დროს, x_k გავლენას ახდენს როგორც გარდამავალ პროცესზე, ისე x-ის დამყარებულ მნიშვნელობაზე.

მრავალ საპროგრამო რეგულატორში [5] გაშვების დროს შესასვლელი ზეგავლენა $x_{вх}$ წარმოადგენს მუდმივი ამპლიტუდის ერთეულ ნახტომს. ამავე დროს x-ის სხვადასხვა დამყარებული მნიშვნელობის მიღება ხდება x_k-ის შეცვლით. ასეთი სისტემების უპირატესობა ისაა, რომ გარდამავალი პროცესები ერთისა და იმავე საწყისი აჩქარების დროს ხორციელდება, რაც განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია, მაგალითად, ბლუმინგის ამძრავისათვის.

კონსტრუქციულად უკუკავშირი წაკვეთით არაწრფივი ხასიათის რგოლების საშუალებით ხორციელდება. მაგალითად, თანადროულ საგლინავ დგარებში ასეთ რგოლად ხშირად გამოყენებულია ელექტრომანქანური გამაძლიერებელი, სპეციალური მარეგულირებელი გამაძლიერებელი (რეგულექსი), ანუ



ნახ. 2



ნახ. 3

მაგნიტური გამაძლიერებელი [5]. ნახ. 2-ზე ნაჩვენებია ამ რგოლებისათვის დამახასიათებლის მიახლოებითი სახე. ეს დახასიათებანი აღნიშნულია სათანადოდ 1, 2 და 3.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

უბან-უბან წრფივი სისტემების შერთვის მომენტის ცვლა

განვიხილოთ პირველი რიგის უბან-უბან წრფივი სისტემა (ნახ. 3).
ასეთი სისტემის განტოლება იქნება

$$(TP + 1)\bar{x} = K_1 \bar{x}_{вх}, \tag{4}$$

როცა $0 < t < t_з$,

და

$$(TP + 1 + K_1K_2)\bar{x} = K_1\bar{x}_{вх} + K_1K_2\bar{x}_k + x(t_з) \tag{5}$$

როცა $t_з < t < \infty$.

მე-(4) განტოლების გადაწყვეტა გვაძლევს

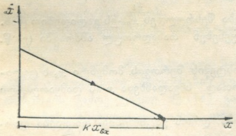
$$x = K x_{вх}(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \tag{6}$$

$$\dot{x} = \frac{Kx_{вх}}{T} e^{-\frac{t}{T}} \tag{7}$$

განტოლება ფაზური სიბრტყისათვის

$$\dot{x} = -\frac{1}{T} x + \frac{K}{T} x_{вх}. \tag{8}$$

შესაბამისი ფაზური ტრაექტორია მოყვანილია მე-4 ნახაზზე.



ნახ. 4

მე-(5) განტოლების გადაწყვეტა მოგვცემს

$$x = \frac{K_1}{1+K_1K_2}(x_{вх} + K_2x_k) \times (1 - e^{-\frac{1+K_1K_2}{T} t_\Delta}) + \frac{x(t_з)}{T} e^{-\frac{1+K_1K_2}{T} t_\Delta} \tag{9}$$

შესაბამისად

$$\dot{x} = \frac{K_1}{T}(x_{вх} + K_2x_k) e^{-\frac{1+K_1K_2}{T} t_\Delta} - \frac{x(t_з)}{T^2}(1 + K_1K_2) e^{-\frac{1+K_1K_2}{T} t_\Delta} \tag{10}$$

სადაც $t_\Delta = t + t_з$.

განტოლება ფაზური სიბრტყისათვის

$$\dot{x} = -\frac{BT}{AT - x(t_з)} x + \frac{ABT}{AT - x(t_з)}, \tag{11}$$

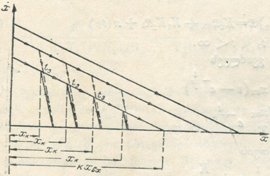
სადაც $A = \frac{K_1}{1+K_1K_2}(x_{вх} + K_2x_k) \quad B = A\frac{1+K_1K_2}{T} + \frac{x(t_з)}{T}(1 + K_1K_2)$

პრაქტიკულად ყოველთვის $A > \frac{x(t_э)}{T}$.

შესაბამისი ფაზური ტრაექტორიები სხვადასხვა x_k-თვის მოყვანილია მე-5 ნახაზზე.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

ტრაექტორიები ფაზურ სიბრტყეზე სისტემის შერთვის შემდეგ შეიძლება პარალელური იყოს, ამ შემთხვევაში $\ddot{x} = \mathrm{const}$ და $\dddot{x} = 0$. წარმოებულების შეზღუდვის და ამის შედეგად სისტემის დინამიკური თვისების გაუმჯობესების საკითხი გამოკვლეულია შრომაში [4].



ნახ. 5

როგორც აღნიშნული იყო [6], გარდამავალი პროცესების მინიმალური დრო მიიღება მაშინ, როცა

$$\int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{\dot{x}} \to 0.$$

ჩვენი შემთხვევისათვის (პირველი რიგის განტოლება) ეს ტოლფარდია შემდეგი პირობისა

$$\int_{x_1}^{x_2} \dot{x}dx \to \infty,$$

რაც შედარებით ადვილად შეიძლება შესრულდეს $x_{вх}$-ის გადიდებით (ნახ. 5). აღნიშნულ საშუალებას ხშირად იყენებენ თანადროულ ამძრავში (ე. წ. აძლიერება).

როგორც მე-5 ნახაზიდან ჩანს, სისტემის შერთვის მომენტი x_k-ს ცვლილების დროს სხვადასხვაა. ამასთან ერთად სხვადასხვაა x-ის დამყარებული მნიშვნელობაც.

წაკვეთით უკუკავშირის გამოყენების დროს გაცილებით დიდდება ფართობი

$$S = \int_0^{kx_{вх}} \dot{x}\,dx = \int_0^{x_k} \dot{x}dx + \int_{x_к}^{kx_{вх}} \dot{x}dx. \tag{12}$$

ამგვარად, უბან-უბან წრფივ სისტემებში გარდამავალი პროცესი უფრო მცირე ხანს გრძელდება, ვიდრე წრფივ შერთულ სისტემებში. უბან-უბან წრფივ სისტემებში ე. წ. აძლიერების გამოყენების შემთხვევაში (წყვეტილი ხაზი ნახ. № 5-ზე) გარდამავალი პროცესის დრო საგრძნობლად მცირდება.

განვიხილოთ ახლა მეორე რიგის უბან-უბან წრფივი სისტემა. ასეთი სისტემის განტოლებები შემდეგია:

$$(T_1T_2P^2 + T_1P + 1)\bar{x} = k_1\bar{x}_{вх}, \tag{13}$$

როცა $0 < t < t_3$,

და $$(T_1T_2P^2 + T_1P + 1 + K_1K_2)\bar{x} = K_1\bar{x}_{вх} + K_1K_2\bar{x}_k + Pc_1x(t_3) + c_2\dot{x}(t_3) + c_3x(t_3), \tag{14}$$

როცა $t_3 < t < \infty$.

მე-(13) განტოლების გადაწყვეტა მოგვცემს

$$x = Kx_{\text{вх}} + \frac{K_1 x_{\text{вх}}}{T_1 T_2 r_1 (r_1 - r_2)} e^{r_1 t} - \frac{K_1 x_{\text{вх}}}{T_1 T_2 r_2 (r_1 - r_2)} e^{r_2 t} \tag{15}$$

და

$$\dot{x} = \theta\,(e^{r_1 t} - e^{r_2 t}), \tag{16}$$

სადაც

$$\theta = \frac{K_1 x_{\text{вх}}}{T_1 T_2 (r_1 - r_2)}$$

ფაზურ სიბრტყეზე განტოლებებს შემდეგი სახე ექნებათ:

$$(\dot{x} + r_1 K x_{\text{вх}} - r_2 x)^{r_2} [r_1 \theta (\dot{x} + r_2 K x_{\text{вх}} - r_2 x) - \dot{x} (r_1 - r_2)]^{-r_1} = D, \tag{17}$$

სადაც

$$D = \theta^{-r_1} (r_1 - r_2)^{r_2 - r_1}$$

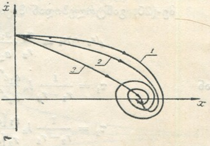
სურათი ფაზურ სიბრტყეზე შეიძლება უფრო ადვილად იქნეს გამოკვლეული (15) და (16) განტოლებების საშუალებით.

იმის მიხედვით r_1 და r_2 კომპლექსური თუ ნამდვილი სიდიდეებია, შემდეგი ტრაექტორიები გვექნება (ნახ. 6)

მრუდი 1 შეესაბამება დამახასიათებელი განტოლების კომპლექსურ ფესვებს.

მრუდი 2 შეესაბამება დამახასიათებელი განტოლების ნამდვილ ფესვებს გადარეგულირების დროს.

მრუდი 3 შეესაბამება მონოტონურ პროცესს.



ნახ. 6

განვიხილოთ ახლა შერთული სისტემის გარდამავალი პროცესების არე. ამისათვის გამოვიყენებთ მე-(14) განტოლებას, გვახსოვს რა, ამავე დროს, რომ შემავალი სიდიდის ანასახია $\bar{x}_{\text{вх}} = \varkappa_{\text{вх}} \frac{e^{t_3 p}}{P}$, რადგანაც $x_{\text{вх}}$ ძალა მოქმედებს $t = -t_3$ მომენტიდან.

მე-(14) განტოლების ამონახსნი $t_3 < t < \infty$ მომენტის ინტერვალისათვის, თუ მხედველობაში მივიღებთ იმ მდგომარეობას, რომ ამპლიტუდით $x(t_3) = x$, მოგვცემს:

$$x = \frac{K_1 (x_{\text{вх}} + K_2 x_k)}{1 + K_1 K_2} - \frac{a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_3 x_k}{a_4} e^{r_1 t} + \frac{a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k}{a_4} e^{r_2 t}, \tag{18}$$

სადაც

$$\left.\begin{aligned} a &= K_1 x_{\text{вх}} & a_4 &= T_1 T_2 r_1 (r - r_2) \\ a_2 &= T_1 T_2 r_1 & a_5 &= T_1 T_2 r_1 c_1 \\ a_3 &= K_1 K_2 - r_1^2 T_1 T_2 - T_2 & a_6 &= K_1 K_2 - r_2^2 T_1 T_2 - T_1 \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

შესაბამისად

$$\dot{x} = -r_1 \frac{a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) = a_6 x_k}{a_4} e^{r_1 t} + r_2 \frac{a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k}{a_4} e^{r_2 t} \tag{20}$$

ეროვნული ბიბლიოთეკა

შერთული სისტემის განტოლებების გამოკვლევა

განვიხილოთ განტოლებები (18) და (20). იმის გამო, რომ ჩვენ მდგარ პროცესს განვიხილავთ, r_1 და r_2 ფესვებს უარყოფითი ნამდვილი ნაწილის ნიშანი აქვს.

დავუშვათ, რომ r_1 და r_2 კომპლექსური სიდიდეები არაა. გამოვიკვლიოთ გარდამავალი პროცესის ხასიათი. ამისათვის განვსაზღვროთ დროის მომენტი, როცა ადგილი აქვს შემდეგ ტოლობას:

$$\dot{x} = 0$$

$$x = \frac{K_1 (x_{\text{вх}} + K_2 x_k)}{1 + K_1 K_2}. \tag{21}$$

ამ შემთხვევისათვის (18) განტოლებიდან [1] მივიღებთ:

$$e^{(r_2 - r_1)\tau_1} = \frac{a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_2 x_k}{a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k} \tag{22}$$

მე-(20) განტოლებიდან მივიღებთ:

$$e^{(r_2 - r_1)\tau_2} = \frac{r_1}{r_2} \cdot \frac{a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_3 x_k}{a_1 e^{r_1 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k} \tag{23}$$

ან

$$\tau_1 = \frac{1}{r_1 - r_2} l_n \frac{a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_3 x_k}{a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k} \tag{24}$$

$$\tau_2 = \frac{1}{r_2 - r_1} l_n \frac{r_1 [a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_3 x_k]}{r_2 [a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k]}. \tag{25}$$

ვინაიდან ფესვები არაკომპლექსური და უარყოფითი სიდიდეებია, ხოლო დამახასიათებელი განტოლება მეორე რიგისაა, ამისათვის საკმარისია განვიხილოთ მხოლოდ ერთი პირობა, მაგალითად (24). ამავე დროს ძნელი შესამჩნევი არაა, რომ (24) და (25) განტოლებას თითო ფესვი აქვს.

ჩვენი მიზანია ავაგოთ x_k-ს და $\dot{x}(t_3)$ ცვლილების ის არე, სადაც სისტემაში უკუკავშირის წრედის შერთვის შემდეგ ადგილი აქვს მონოტონურ გარდამავალ პროცესს.

როცა $0 < t < \infty$, მონოტონობის პირობად მიიღება [1] პირობა იმისა, რომ სიდიდეს

$$l_n \frac{r_1 [a_1 e^{r_2 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_3 x_k]}{r_2 [a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k]}$$

დადებითი ნიშანი აქვს, რადგანაც (25) და (24) განტოლებებში ნიშანი ლოგარითმის წინ უარყოფითია.

ზემომოყვანილი პირობა შესრულებული იქნება, როცა

$$r_1 [a_1 e^{r_1 t_3} - a_2 \dot{x}(t_3) + a_3 x_k] > r_2 [a_1 e^{r_2 t_3} - a_5 \dot{x}(t_3) + a_6 x_k] \tag{26}$$

ანდა

$$x_k \frac{r_1 a_3 - r_2 a_6}{r_1 a_2 - r_2 a_6} + \frac{r_1 a_1}{r_1 a_2 - r_2 a_5} e^{r_1 t_3} - \frac{a_1}{r_1 a_1 - r_2 a_5} e^{r_2 t_3} > \dot{x}(t_3). \tag{27}$$

ძნელი შესამჩნევი არაა, რომ, თუ ადგილი აქვს (26) (27) უტოლობას, მაშინ (25) განტოლების ფესვი უარყოფითია და $0 < t < \infty$ არეში $\dot{x}$ არსად ნულის ტოლი არ გახდება.

მონოტონურობის საზღვარი შეიძლება გამორკვეული იქნას განტოლებიდან

$$x_k\lambda_1 - e^{-q_1 t_3}\lambda_2 + e^{-q_2 t_3}\lambda_3 = \dot{x}(t_3), \qquad (28)$$

სადაც

$$\lambda_1 = \frac{r_1a_3 - r_2a_6}{r_1a_2 - r_2a_5} \qquad \lambda_3 = -\frac{r_2a_1}{r_1a_2 - r_2a_5}$$

$$\lambda_2 = -\frac{r_1a_1}{r_1a_2 - r_2a_5} \quad q_1 = -r_1 \quad q_2 = -r_2$$

λ_1, λ_2 და λ_3 კოეფიციენტებს სისტემის პარამეტრების მიხედვით შეიძლება ჰქონდეთ სხვადასხვა ნიშანი.

მონოტონურობის არის ასაგებად ჯერ x-ისაგან დამოკიდებული $\varphi(t) = -\lambda_2 e^{-q_1 t_3} + \lambda_3 e^{-q_2 t_3}$ ფუნქცია ავაგოთ. ფუნქცია $x = f(t)$ მოყვანილია ნახ. 7-ზე. იქვე მოყვანილია ფუნქცია $\varphi(t)$ და $\psi(t)$.

ავაგოთ ახლა შეკრული სისტემის ფაზურ სიბრტყეზე $\psi(x)$ ფუნქცია და $\lambda_1 x_k$ წრფე. ამასთან უნდა აღინიშნოს, რომ $0 < t_3 < \infty$ ინტერვალში შერთვის მომენტი შეცვლის დროს ადგილი აქვს შემდეგ ტოლობას:

$$\dot{x}(t_3) = \dot{x} \text{ და } x_k = x$$

ნახ. 8-ზე აგებულია

$$\Phi = \psi(x) + \lambda_1 x$$

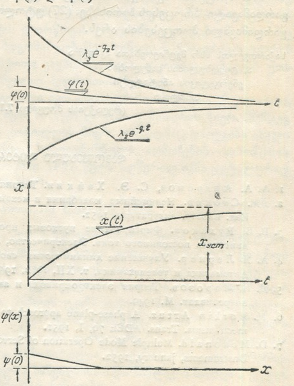
ფუნქცია, რომელიც მონოტონურობის საზღვარს განსაზღვრავს.

როგორც უკვე იყო აღნიშნული, λ_1 კოეფიციენტს შეიძლება ჰქონდეს მნიშვნელოვანი $\lambda_1 > 0$ ან $\lambda_1 < 0$.

როცა

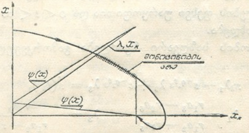
$$\lambda_1 = \frac{\pi}{2},$$

ფაზური სიბრტყის მთელი არე მონოტონობის არეს წარმოადგენს და შერთვის მომენტისაგან დამოუკიდებლად გადარეგულირებას ადგილი არ ექნება.



ნახ. 7

ეროვნული ბიბლიოთეკა



ნახ. 8

დ ა ს კ ვ ნ ე ბ ი

1. უბან-უბან წრფივ სისტემას შეუძლია საგრძნობლად გააუმჯობესოს სისტემის დინამიკური თვისებები;

2. წაკვეთის სიდიდის x_k-ს შეცვლით შეგვიძლია ვმართოთ სიდიდე x;

3. სისტემის შერთვის მომენტის ცვლამ შეიძლება გავლენა მოახდინოს გარდამავალი პროცესის ხარისხზე. (27) უტოლობა განსაზღვრავს მონოტონური გარდამავალი პროცესების არეს.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ა. დიდებულიძის სახელობის
ენერგეტიკის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 7.1.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. А. А. Андронов, С. Э. Хайкин. Теория колебания, ОНТИ НКТП, 1937.
2. Дж. Стокер. Нелинейные колебания в механических и электрических системах Изд. иностр. литературы, 1952.
3. В. В. Рудаков. Фирсирование пусковых процессов привода по схеме генератор-двигатель постоянного тока. Электричество, № 9, 1951.
4. А. Я. Лернер. Улучшение динамических свойств автоматических компенсаторов. Автоматика и телемеханика, т. XII, № 2, 1952.
5. Д. П. Морозов. Теория электропривода и автоматика реверсивных станов. Госэнергоиздат. М. 1949.
6. M. Horkin Artuz. A phase-plane approach to the compensation of saturating servomechanisms. Trans. ADEE 70, I, 1951.
7. D. Mcdonald. Multiple Mode Operation of Servomechanisms. The Review of Scientific Dnstruments, january, 1952.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის მოამბე, ტ. XV. № 7, 1954
ეროვნული ბიბლიოთეკა

პარაზიტოლოგია

ლ. ქოიავა

გარეული ღორის ნემატოდის ახალი სახეობა—*SIMONDSIA PETROWI* NOV. SP.—საქართველოდან

(წარმოადგინა აკადემიის ნამდვილმა წევრმა ფ. ზაიცევმა 10.12.1953)

გარეული ღორის ჰელმინთოფაუნის შესწავლისას საქართველოში ჩვენ მიერ კუჭის კედლის სისქეში ნაპოვნია იშვიათი ნემატოდები, რომლებსაც მკვეთრი სქესობრივი დიმორფიზმი ახასიათებთ. დედალი ეგზემპლარები კუჭის კედლის სიმსივნეშია; მათი გამოყვანა ამ სიმსივნიდან დაუზიანებლად ძალიან ძნელია, რადგან სხეულის უკანა გაფართოებული ნაწილი მჭიდროდ არის მიკრული კუჭის კედელზე. მამალი ეგზემპლარები, პირიქით, ცილინდრისებური ფორმისაა და კუჭის ლორწოვან ქსოვილში გვხვდებიან როგორც მიმაგრებულ, ისე თავისუფალ მდგომარეობაში. ვინაიდან *Simondsia*-ს გვარის წარმომადგენლები დღემდე საბჭოთა კავშირისათვის უცნობია, ამიტომ ვიძლევით ზოგიერთ ცნობას ამ იშვიათი ჰელმინთის შესახებ.

გვარი *Simondsia* წარმოდგენილი იყო ერთადერთი სახეობით *S. paradoxa*, რომელიც 1852 წელს ნაპოვნი იყო შინაურ ღორში სიმონდსის მიერ. შემდეგ ეს სახეობა განმარტებულ იქნა კობოლდის მიერ, რომელმაც დაადგინა ახალი გვარი და მას უწოდა *Simondsia*, ზემოაღნიშნული აღმოჩენის—სიმონდსის საპატივცემლოდ. შემდეგ *S. paradoxa* 1897 წელს აღწერილ იქნა დეტალურად იტალიელი მეცნიერის გ. პიანას მიერ.

გვარი *Simondsia* Cobbold, 1864

დიაგნოზი: *Ascaropinae*. პირის ხვრელი მოკლებულია შესამჩნევ ტუჩს. პირის ხვრელის სიღრმეში მოთავსებულია ერთი დიდი ვენტრალური და ერთი დიდი დორზალური კბილი. ხახა ცილინდრისებურია, მისი კედელი აღჭურვილია სპირალური შესქელებებით. აქვს ყელის ფრთეული. საყლაპავი მილი გრძელი და ცილინდრისებურია. მამლის უკანა ნაწილი მოკლეა, კონუსისებური და სპირალურად მოხრილი. კუდის ფრთეული აქვს. აღინიშნება 4 წყვილი პრეანალური და 1 წყვილი პოსტანალური დვრილები. სქესმწიფე დედალი პარაზიტის სხეულის უკანა ნაწილი გამობერილია ნახევრად მრგვალ პარკისებურად, რომელშიაც მოთავსებულია საშვილოსნო და ნაწლავის ნაწილი. ვულვა მოთავსებულია სხეულის წინა მესამედ ნაწილში.

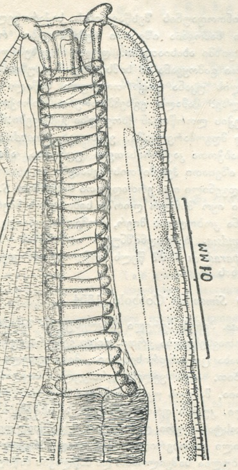
ძუძუმწოვარი ცხოველების კუჭის პარაზიტი. ტიპობრივი და ერთადერთი სახეობა: *S. paradoxa* Cobbold, 1864.

მასპინძელი: *Sus scrofa domestica*.

ასეთია *Simondsia*-ს გვარის დიაგნოზი კობოლდის მიხედვით. იორკისა და მეპლესტონის მიერ მოცემულ გვარის დიაგნოზში აღნიშნულია, რომ პირის ხვრელი შეიცავს ორ ტუჩს, რაც ჩვენი მასალითაც დასტურდება. ამიტომ კობოლდის მიერ მოცემულ გვარის დიაგნოზში შეტანილ უნდა იქნეს ცვლილება, რომ პირის ხვრელი 2 ტუჩს შეიცავს.

Simondsia petrowi, nov. sp.

პარაზიტის ეს სახეობა ეკუთვნის *Telaziidae* Skriabin, 1915, ოჯახს *Ascaropinae* Alicata et Mcintosh, 1933, ქვეოჯახს *Simondsia* Cobbold, 1864 გვარს.



სურ. 1. პარაზიტის თავის ნაწილი

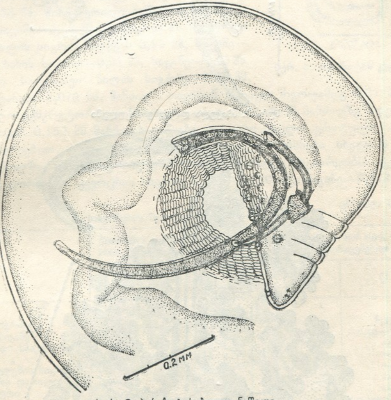
მასპინძელი—*Sus scrofa* L., 1758—გარეული ღორი, ლოკალიზაცია—კუჭი (კუჭის კედლის სიმსივნე).

მოპოვების ადგილი—საქართველო (ქიაურის ტყე—ლაგოდეხის რაიონი).

ინვაზიის სიხშირე—3 შემთხვევა 32 გამოკვლეული ღორიდან. ინვაზიის ინტენსივობა 1—9 ეგზ.

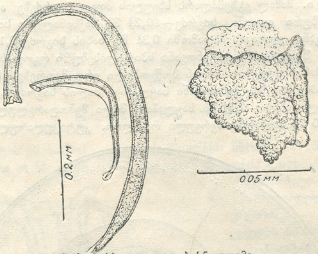
სახეობის აღწერა (საკუთარი გამოკვლევის მიხედვით). სხეული წვრილია. სხეულის წინა ნაწილი უფრო წვრილია, ვიდრე უკანა. კუტიკულას აქვს წვრილი განივი დახაზულობა, რომელთა შორის მანძილი 0,02—0,04 მმ. უდრის. პირი შემოფარგლულია ორი მომრგვალებული, ცოტაოდენ გარეთ გამოშვერილი ტუჩით. პირის ნახვრეტის სიღრმეში მოთავსებულია ერთი დორზალური და ერთი ვენტრალური კბილი. პირის ნახვრეტი ხახაში გადადის. ხახა წარმოადგენს მოკლე მილს, რომლის კედელი შედგება ქიტინიზებული სპირალისაგან, რომელიც ტუჩის ფუძესთან იწყება რგოლით და საყლაპავ მილამდე გრძელდება.

მ ა მ ა ლ ი. მამალ ეგზემპლარს სხეულის მთელ სიგრძეზე აქვს თითქმის ცილინდრისებური ფორმა. სიგრძე—10,24 მმ, მაქსიმალური სიგანე 0,36 მმ. სხეულის სიგანე კლოაკის მიდამოში 0,31 მმ. ხახის სიგრძე 0,15 მმ., სიგანე 0,06 მმ. ხახა შედგება 24 ქიტინოვანი სპირალისებური რგოლისაგან, რომლებიც სწორი მიმართულებით არიან მოწყობილი ერთიმეორეზე. ხახა გადადის ორმაგ საყლაპავ მილში. კუნთოვანი საყლაპავი მილის სიგრძე 0,41 მმ უდრის, ხოლო ჯირკვლოვანისა—2,96 მმ. საყლაპავი მილი შემოფარგლულია თავის ნაწილიდან 0,30 მმ მანძილზე ნერვული რგოლით. კუტიკულარული ფრთეული

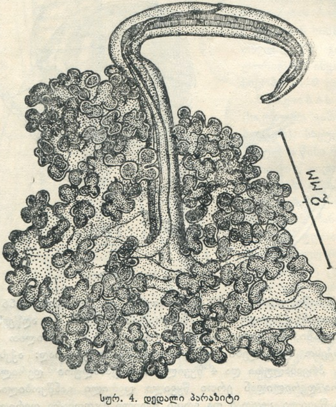


სურ. 2. პარაზიტის ბოლო ნაწილი

იწყება თავის ნაწილიდან 0,120 მმ მანძილზე და სიგრძით 2,56 მმ აღწევს მანძილი თავიდან ექსკრეტორულ ნახვრეტამდე 0,571 მმ აღწევს. ნაწლავი იხსნება კლოაკაში, რომელიც განწყობილია 0,316 მმ მანძილით კუდის ბოლოდან. სასქესო დვრილები განწყობილია შემდეგვვარად: აქვს 5 წყვილი ღერძისებრი პრეანალური და 4 წყვილი პოსტანალური დვრილი. ამ ოთხი პოსტანალური დვრილიდან ერთი წყვილი დვრილი განწყობილია კლოაკის ახლოს, ორი წყვილი კუდთან და ერთი წყვილი მჯდომარე დვრილი კი თვით კუდის წვერთან. ეს უკანასკნელი დვრილი კარგად ჩანს მიკროსკოპში დიდ გადიდებაზე. აქვს ორი არათანაბარი სიგრძის სპიკულა. ერთი სპიკულა გრძე-



სურ. 3. სპიკულა და გუბერნაკულუმი



სურ. 4. დედალი პარაზიტი

ლი და მსხვილია. სიგრძე აღწევს 0,83—0,87 მმ. სიგანე პროქსიმალური ნაწილისა, რომელიც დაკბილულია, 0,03 მმ უდრის. დისტალური ნაწილი ამ

სპიკულისა ბუშტისებური წარმონაქმნით ბოლოვდება. მეორე სპიკულა შედარებით მოკლეა და წვრილი, მისი სიგრძე 0,36—0,37 მმ აღწევს, ხოლო სიგანე პროქსიმალურ ნაწილში, რომელიც მომრგვალებულია, 0,02 მმ უდრის. დისტალური ნაწილი, როგორც დიდი სპიკულისა, აღჭურვილია ბუშტისებური წარმონაქმნით.

გუბერნაკულუმს უსწორო ფორმის ფირფიტის სახე და ხორკლიანი სტრუქტურა აქვს. გუბერნაკულუმის სიგრძე—0,140 მმ, სიგანე—0,080 მმ.

დ ე დ ა ლ ი პარაზიტის უკანა ნაწილს სფეროსებური ფორმა აქვს. პარაზიტის საერთო სიგრძე უდრის 8,33 მმ, წინა წვრილი ნაწილის სიგრძე—4,35 მმ, სიგანე—0,52 მმ. განიერი ან სფეროსებური ნაწილის სიგრძე აღწევს 3,98 მმ, სიგანე—0,070 მმ. ხახის სიგრძე—0,21 მმ, სიგანე—0,05 მმ. კუნთოვანი საყლაპავი მილის სიგრძე—0,36 მმ, ჯირკვლოვანის—3,070 მმ. მანძილი თავიდან ნერვულ რგოლამდე 0,31 მმ აღწევს, ხოლო ექსკრეტორული ნახვრეტი თავიდან 0,36 მმ მანძილზე მდებარეობს. თავიდან 0,153 მმ მანძილზე იწყება კუტიკულარული ფრთეული, რომელიც დაახლოებით ვულვამდის გრძელდება. ვულვა იხსნება სხეულის წინა წვრილ ნაწილში, რომელიც თავიდან 2,40 მმ მანძილზე მდებარეობს. კვერცხი ოვალური ფორმისაა, კვერცხის სიგრძე 0,029—0,030 მმ, სიგანე—0,012 მმ.

სურ. 5. პარაზიტის კვერცხი

ცხრილი 1

სახეობების შედარებითი დახასიათება

	Simondsia paradoxa Cobbold, 1864 *Piana*-ს მიხედვით 1897		*Simondsia petrowi* nov. sp. ჩვენი მონაცემებით	
	♂	♀	♂	♀
სხეულის სიგრძე	8,6—9,7	—	10,24	8,33
„ სიგანე	—	—	0,36	0,52—3,070
სიგრძე დიდი სპიკულისა	0,64	—	0,83—0,87	—
მცირე „	0,34	—	0,36—0,37	—
გუბერნაკულუმის სიგრძე	—	—	0,080	—
პრეანალური დვრილი	4	—	5	—
პოსტანალური	1	—	4	—
კვერცხის სიგრძე	—	0,028—0,029	—	0,029—0,030
კვერცხის სიგანე	—	0,012	—	0,012
მასპინძელი	შინაური ღორი *Sus scrofa* domestica		გარეული ღორი—*Sus scrofa* L.	
ლოკალიზაცია	კუჭი (კუჭის კედლის სისქეში)		კუჭი (კუჭის კედლის სიმსივნე)	
მოპოვების ადგილი	დასავლეთ ევროპა		საქართველო (ჭიაურის ტყე—ლაგოდეხის რაიონი)	

შ ე ნ ი შ ვ ნ ა: როგორც წესი, მამალი ჰელმინთები სიგრძით დედალზე ნაკლებია. ჩვენი მასალების მიხედვით, პირიქით, მამალი ეგზემპლარი მეტია დედალ ეგზემპლარზე. ჩვენს მასალაში დედალი ეგზემპლარების დაზიანების გამო განაზომები აღებულია მხოლოდ დედალი პარაზიტის ერთ ეგზემპლარზე.

ეროვნული ბიბლიოთეკა

დიფერენციალური დიაგნოზი

ლიტერატურული მონაცემების მიხედვით (1, 2, 3, 4) გვარი *Simondsia* Cobbold, 1864, დღემდე წარმოდგენილი იყო მხოლოდ ერთი სახეობით *Simondsia paradoxa* Cobbold, 1864, რომელიც პარაზიტობს დასავლეთ ევროპის შინაურ და გარეულ ღორში.

Simondsia-ს გვარის წარმომადგენლები საბჭოთა კავშირის ტერიტორიაზე დღემდე არ ყოფილა რეგისტრირებული.

ჩვენ მიერ ნაპოვნი პარაზიტი *Simondsia*-ს გვარიდან გარეული ღორის კუჭის კედლის სიმსივნეში საქართველოს ტერიტორიაზე განსხვავდება *Simondsia paradoxi*-საგან შემდეგი ნიშნებით:

1. ჩვენ მიერ აღწერილ ახალ სახეობას აქვს კარგად განვითარებული გუბერნაკულუმი, მაშინ როდესაც *S. paradoxa*-ში გუბერნაკულუმის არსებობა არ არის ნაჩვენები.

2. ჩვენ მიერ აღწერილი პარაზიტის დიდი სპიკულის სიგრძე უდრის 0,83—0,87 მმ, მცირე სპიკულის სიგრძე აღწევს 0,36—0,037 მმ, ხოლო *S. paradoxa*-ს სპიკულისა 0,64 მმ, მცირე სპიკულის სიგრძე 0,034 მმ.

3. ჩვენ მიერ აღწერილ სახეობას (მამალ ეგზემპლარებს) აქვს 5 წყვილი პრეანალური და 4 წყვილი პოსტანალური დვრილი, ხოლო *S. paradoxa*-ს მამალ ეგზემპლარს მხოლოდ 4 წყვილი პრეანალური და 1 წყვილი პოსტანალური.

ზემოთ მოყვანილი განსხვავებები ჩვენ გვაძლევს საფუძველს, რომ ჩვენ მიერ აღწერილი პარაზიტი ჩავთვალოთ ახალ სახეობად, რომელსაც *Simondsia petrowi* nov. sp. ვუწოდებთ.

ტიპი ინახება საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ზოოლოგიის ინსტიტუტში და სკრიაბინის სახელობის საკავშირო ჰელმინთოლოგიის ინსტიტუტის მუზეუმში.

ვსარგებლობ შემთხვევით, გულითადი მადლობა ვუძღვნა აკად. სკრიაბინის სახ. საკავშირო ჰელმინთოლოგიის ინსტიტუტის პროფესორ ა. პეტროვს იმ დახმარებისათვის, რომელიც მან აღმომიჩინა ამ მასალის გარკვევასა და დამუშავებაში.

საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემია
ზოოლოგიის ინსტიტუტი
თბილისი

(რედაქციას მოუვიდა 12.1.1954)

დამოწმებული ლიტერატურა

1. G. P. Piana. Ricerche sulla morfologia della *Simondsia paradoxa* Cobbold, etc. Att, Soc. ital. di Sc nat., Milan. vol. 57, 1897, p. 17.
2. M. Neven-Lemaire. Traite d'heminthologie medicale et veterinaire. Paris, 1936, p. 1233.
3. W. Yorke and P. A. Maplestone. Nematode parasites of vertebrates. London, 1926, p. 309.
4. К. И. Скрябин, И. П. Шихобалова, А. А. Соболев. Определитель паразитических нематод. Т. 1, изд. АН СССР, М.-Л., 1949, стр. 202.

ეროვნული
ბიბლიოთეკა

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 24.6.1954
ანაწყობის ზომა 7×11
შეკვ. 731

საღრიცხვო-საგამომცემლო ფურცელი 6
საბეჭდი ფორმა 6,8
ტირაჟი 1000

უე 05601

3131/132

ეროვნული ბიბლიოთეკა

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 წერილის 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

СООБЩЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК ГРУЗИНСКОЙ ССР, Т. XV, № 7, 1954

Основное, грузинское издание