

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE OF ARMENIA

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

Նրանիստորակ է 1944 թ.: Լույս է տեսնում տարին 4 անգամ

Основан в 1944 г. Выходит 4 раза в год

Founded in 1944. Published quarterly

Գլխավոր խմբագիր՝ ակադեմիկոս Վ. Ս. ԶԱԽԱՐՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս Է. Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Ս. Ա. ՀԱՍԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Կ. Գ. ՂԱՐԱԳՅՈՋՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ. Մ. ՍԵՂՈՒԿՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ (պալմ. քարտուղար)

Главный редактор академик В. С. ЗАХАРЯН

Редакционная коллегия: академик С. А. АМБАРЦУМЯН, академик Э. Г. АФРИКЯН, академик Г. Е. БАГДАСАРЯН, академик Г. А. БРУТЯН, академик Э. М. КАЗАРЯН, академик К. Г. КАРАГЕЗЯН, чл. – кор. НАН РА Л. Р. МАНВЕЛЯН (зам. главного редактора), академик Р. М. МАРТИРОСЯН, академик Д. М. СЕДРАКЯН, академик А. А. ТАЛАЛЯН, академик Ю. Г. ШУКУРЯН, Г. А. АБРАМЯН (отв. секретарь)

Editor-in-chief academician V. S. ZAKARYAN

Editorial Board: academician S. A. AMBARTSUMIAN, academician E. G. AFRIKIAN, academician G. E. BAGDASARIAN, academician G. A. BRUTIAN, academician K. G. KARAGEUZYAN, academician E. M. KAZARYAN, corresponding member of NAS RA L. R. MANVELYAN (associate editor), academician R. M. MARTIROSYAN, academician D. M. SEDRAKIAN, academician Yu. H. SHOUKOURIAN, academician A. A. TALALIAN, G. A. ABRAHAMYAN (executive secretary)

Խմբագրությունի հասցեն՝ 0019, Երևան 19, Մարշալ Բաղրամյան պող. 24գ

Адрес редакции: 0019, Ереван 19, просп. Маршала Баграмяна 24г

Communication links: address – 24g Marshal Bagramian Ave, Yerevan, 0019, Armenia

Phone: (37410) 56 – 80 – 67 URL: <http://elib.sci.am> e – mail: rnas@sci.am

© НАН РА Президиум 2011

© Издательство "Гитутюн"

НАН РА 2011

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՍԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ա. Տ. Ափոգյան – GM₄ վարկածի հերքման վերաբերյալ 107

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՍԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ս. Ն. Մանուկյան – Մ. Պրեսբուրգերի համակարգում ներկայացվող բազմաչափանի թվաբանական բազմությունների դասակարգումը 114

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ա. Հ. Սարգսյան – Միկրոպոլյար առաձգական բարակ հեծանների մաթեմատիկական մոդելները 121

Լ. Ա. Աղալովյան, Գ. Լ. Ազատյան, Ռ. Ս. Գևորգյան, Հ. Մ. Պողոսյան – Ուղղանկյուն պիեզակերամիկական սալի տուրաժական դինամիկական խնդրի ասիմպտոտիկ լուծման մասին 129

Կ. Բ. Ղազարյան, Դ. Գ. Փիլիպոսյան – Լյավի տիպի ալիքներ անհամասեռ շերտով կառուցվացքում 138

Ռ. Մ. Կիրակոսյան – Փոփոխական հաստության օրթոտրոպ ողորկ թաղանթների ճշգրտված մի տեսության մասին 148

ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱ

Ա. Կ. Մաթևոսյան – Հարուցված բևեռացման լրիվ ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշների որոշումը վեկտորային չափումների արդյունքներով 157

ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ

Յ. Մ. Ավագյան, Ն. Ի. Մկրտչյան, Ն. Վ. Սիմոնյան, Գ. Է. Խաչատրյան – Տարբեր վերականգնողական գենոտիպ ունեցող E. coli K-12 մանրէների բջիջների վրա 7.5 ՄԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների կենսաբանական ազդեցության ուսումնասիրությունը 164

ԿԵՆՍԱԶԻՄԻԱ

Պ. Ա. Ղազարյան, Տ. Ռ. Փանոսյան, Լ. Ս. Սահակյան, Տ. Վ. Ղոչիկյան – Իոնփոխադրիչ ֆերմենտային համակարգի վիճակը սարկոմա-180-ի ժամանակ և 4-բութանոլիդների ածանցյալ՝ ՎԱՍ-167-ի օգտագործումից հետո 171

Կ. Գ. Ղայազյոզյան, Գ. Ա. Հովկյան, Գ. Ա. Գևորգյան, Ա. Գ. Հովեյան – Սպիտակ առնետների արյան լիպիդային գերօքսիդացման պրոցեսների ինտենսիվությունը զանգվածսիմպաթեկտոմիայի, վագոտոմիայի, սուլարեկտոմիայի պայմաններում 177

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Վ. Գրիգորյան, Ա. Զ. Աղամյան, Գ. Հ. Մինասյան – Քիմիական էլեմենտների լիթերկրաքիմիական եզրապսակների երկրաբանաորոնոդական նշանակությունը 186

ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ա. Սահակյան – Մծուրք մայրաքաղաքը և պատմիչ Մարաբ Մծուրնացին 195

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- А. Т. Алозян* – Об опровержении гипотезы GM_4 107

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- С. Н. Манукян* – Классификация многомерных арифметических множеств, представимых в системе М.Пресбургера..... 114

МЕХАНИКА

- С. О. Саркисян* – Математические модели микрополярных упругих тонких балок 121

- Л. А. Агаловян, Г. Л. Азатян, Р. С. Геворкян, А. М. Погосян* – Об асимптотическом решении пространственной динамической задачи для прямоугольной пьезокерамической пластинки 129

- К. Б. Казарян, Д. Г. Пилипосян* – Волны Лява в структуре с неоднородным слоем 138

- Р. М. Киракосян* – Об одной уточненной теории гладких ортотропных оболочек переменной толщины..... 148

ГЕОФИЗИКА

- А. К. Матеносян* – Определение полных интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации по результатам векторных измерений..... 157

БИОФИЗИКА

- Ц. М. Авакян, Н. И. Мкртчян, Н. В. Симонян, Г. Э. Хачатрян* – Биологическое действие электронов с энергией 7.5 МэВ на клетки бактерий *E. coli* K-12 разного репарационного генотипа..... 164

БИОХИМИЯ

- П. А. Казарян, Т. Р. Паносян, Л. С. Саакян, Т. В. Кочикян* – Состояние нон-транспортных ферментных систем при саркоме-180 и после применения ВАС-167 – производного 4-бутанолидов 171

- К. Г. Карагезян, Г. А. Овоян, Г. А. Геворкян, А. Г. Овоян* – Интенсивность процессов перекисного окисления липидов в крови белых крыс в условиях ганглиосимпатэктомии, ваготомии, соларэктомии..... 177

ГЕОЛОГИЯ

- С. В. Григорян, А. З. Адамян, Г. А. Минасян* – О поисковом значении литогеохимических ореолов химических элементов месторождений и проявлений углеводородов..... 186

ИСТОРИЯ

- А. А. Саакян* – Столица Мцурн и историограф Мараб Мцурнийский 195

CONTENTS

MATHEMATICS

- A. T. Apozyan* – On Rejection of GM_0 Conjecture 107

APPLIED MATHEMATICS

- S. N. Manukian* – Classification of Many-Dimensional Arithmetical Sets Represented in M. Presburger's System 114

MECHANICS

- S. H. Sargsyan* – Mathematical Models of Micropolar Thin Elastic Bars 121
- L. A. Aghalovyan, G. L. Azatyan, R. S. Gevorgyan, H. M. Poghosyan* – On Asymptotic Solution of the Dynamic 3D Problem for Rectangular Piezoceramical Plate 129
- K. B. Ghazaryan, D. G. Piliposyan* – Love Waves in a Structure with an Inhomogeneous Layer .. 138
- R. M. Kirakosyan* – On a Refined Theory of Smooth Orthotropic Shells of Variable Thickness ... 148

GEOPHYSICS

- A. K. Matevosyan* – Determination of Total Integral Amplitude-time Parameters of Induced Polarization on Results of Vector Survey 157

BIOPHYSICS

- Ts. M. Avakyan, N. I. Mkrtichyan, N. V. Simonyan, G. E. Khachatryan* – The Research of Biological Action of the Electrons with the Energy of 7.5 MeV on the Cells of E. coli K-12 Bacteria Having Different Repair Genotype 164

BIOCHEMISTRY

- P. A. Ghazaryan, T. R. Panosyan, L. S. Sahakyan, T. V. Ghochikyan* – The Condition of Iontransport Enzymes System in Sarcoma-180 and after Application VAS-167 – 4-Butanolides Derivative 171
- K. G. Karageuzyan, G. A. Hoveyan, G. A. Kevorkian, A. G. Hoveyan* – Intensity of Lipid Peroxidation Processes in Blood of White Rats under Conditions of Gangliosympathectomy, Vagotomy, Solarectomy 177

GEOLOGY

- S. V. Grigoryan, A. Z. Adamyan, G. H. Minasyan* – Lithogeochemical Halos of Minor Elements as a Guide to Hydrocarbon Deposits 186

HISTORY

- A. A. Sahakyan* – The Capital of Mtsourk and Historiographer Marab Mtsournatsi 195

УДК 517

A. T. Apozyan

On Rejection of GM_d Conjecture

(Submitted by corresponding member of NAS RA A.A.Sahakyan 14/II 2011)

Keywords: *geometric characterization, maximal hyperplane, fundamental polynomial, GC_n set, natural lattice*

1. Introduction. Let us start with some notation. Denote

$$\bar{x} = (x_1, x_2, \dots, x_d) \in \mathbb{R}^d, \alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_d) \in \mathbb{Z}_+^d,$$

$$\bar{x}^\alpha = x_1^{\alpha_1} \cdot x_2^{\alpha_2} \cdot \dots \cdot x_d^{\alpha_d}, |\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_d.$$

Denote also by $\Pi_n = \Pi_n(\mathbb{R}^d)$ the space of polynomials in d variables of total degree not exceeding n :

$$\Pi_n^d = \left\{ p(\bar{x}) = \sum_{|\alpha| \leq n} a_\alpha \bar{x}^\alpha, a_\alpha \in \mathbb{R}, \bar{x} \in \mathbb{R}^d \right\}.$$

We have that

$$N := N(n, d) := \dim \Pi_n^d = \binom{n+d}{d}.$$

The interpolation problem with a set of knots

$$\mathcal{X}_s := \{\bar{x}^{(1)}, \bar{x}^{(2)}, \dots, \bar{x}^{(s)}\} \subset \mathbb{R}^d$$

and Π_n^d is called poised if for any data $\{c_1, c_2, \dots, c_s\}$ there is a unique polynomial $p \in \Pi_n^d$, called interpolation polynomial, such that

$$p(\bar{x}^{(k)}) = c_k, k = 1, 2, \dots, s. \quad (1)$$

These conditions give a system of s linear equations with N unknowns (the coefficients of the polynomial). The poisedness means that this system has a unique solution for any right side values. This implies the following necessary condition for the poisedness:

$$s = N,$$

i.e., the number of equations equals the number of unknowns. From now on we will assume that this condition holds.

A polynomial $p_A^* \in \Pi_n^d$ is called fundamental for the knot $A = (\bar{x}^{(k)}) \in \mathcal{X}$, with $\mathcal{X} := \mathcal{X}_N$, if

$$p_A^*(\bar{x}^{(j)}) = \delta_{jk}, \quad 1 \leq j \leq N,$$

where δ_{jk} is the symbol of Kronecker. Note that the interpolation problem is poised if and only if all interpolation knots have fundamental polynomials. Let us also mention that in the case of poisedness all fundamental polynomials are unique, since they are interpolation polynomials. It is worth mentioning that in this case the fundamental polynomials are of exact degree n . Indeed, otherwise, if the degree of a fundamental polynomial p_A^* is less than n , then multiplication of p_A^* by a linear polynomial vanishing at A would give a nontrivial polynomial in Π_n^d vanishing on $\mathcal{X}$, contradicting the poisedness of $\mathcal{X}$.

We denote by the same letter, say h , the hyperplane, and the polynomial from Π_1^d which gives rise to the hyperplane.

Definition 1.1. A shift of linear space of dimension k in $\mathbb{R}^d$ is called k -dimensional flat or k -flat.

For example a point, line and hyperplane in $\mathbb{R}^d$ are a 0, 1 and $d - 1$ flats, respectively. We accept that the empty set is (-1) -flat.

A k -flat h we denote by $h\{k\}$. In the case of hyperplane, i.e., $k = d - 1$, we also use the notation $h := h\{d - 1\}$. As we will see, each k -flat can contain no more than $N(n, k)$ knots of a GC_n set.

Definition 1.2. Let $h\{k\}$ be a k -flat. A set of knots $\mathcal{X} \subset h\{k\}$ is said to satisfy geometric characterization for Π_n^k (GC_n for short), if

1. $\#\mathcal{X} = N(n, k)$
2. For each fixed knot $A \in \mathcal{X}$ there are no more than n $(k - 1)$ -flats $h_1^A, h_2^A, \dots, h_m^A$ ($m = m_A \leq n$) in $h\{k\}$ whose union contains all the knots of $\mathcal{X}$ but A .

In the case of 2 we say that the knot A uses the $(k-1)$ -flats $h_1^A, h_2^A, \dots, h_k^A$.

In particular, in the case of $h\{k\} = \mathbb{R}^d$, i.e., $k = d$, $\mathcal{X} \subset \mathbb{R}^d$ is a GC_n set if $\#\mathcal{X} = N$ and for each knot $A \in \mathcal{X}$ there are no more than n hyperplanes in $\mathbb{R}^d$ whose union contains all the knots of $\mathcal{X}$ but A . Let us note that the condition 2 in this case means that the fundamental polynomial for the knot A is a product of linear factors:

$$p_A^* = \gamma_A \cdot h_1^A \cdot h_2^A \cdot \dots \cdot h_k^A,$$

where $h_1^A, h_2^A, \dots, h_k^A$ are the hyperplanes used by A and γ_A is a constant. Thus, each GC_n set is H_n^d -poised. Therefore, the number of hyperplanes used by any knot in GC_n sets is exactly n , i.e., $m_A = n$ for each $A \in \mathcal{X}$.

M. Gasca and J.I. Maeztu made the following conjecture on GC_n sets in $\mathbb{R}^2$:

GM - conjecture. (See [1]) If $\mathcal{X} \subset \mathbb{R}^2$ is a GC_n set, then there exists a line, which passes through $n + 1$ knots of $\mathcal{X}$.

C. de Boer generalized this for $\mathbb{R}^d$:

GM_d - conjecture. (See [2]) If $\mathcal{X} \subset \mathbb{R}^d$ is a GC_n set, then there exists a hyperplane, which passes through $N(n, d - 1)$ knots of $\mathcal{X}$.

Above mentioned line and hyperplane are called maximal.

In this paper we provide an example of GC_n set in $\mathbb{R}^6$ with no maximal hyperplane thus rejecting this conjecture. Let us start with generalization of the concept of maximal

According to [3] Lemma 2.1 for each k -flat $h\{k\}$ $\#(h\{k\} \cap \mathcal{X}) \leq N(n, k)$.

Definition 1.3. A k -flat $h\{k\}$ is called maximal for GC_n set $\mathcal{X}$, if $h\{k\}$ contains $N(n, k)$ knots of $\mathcal{X}$.

Thus, each line passing through $n + 1$ knots of $\mathcal{X}$ is a maximal line, i.e. maximal 1-flat for $\mathcal{X}$ in $\mathbb{R}^d$.

Next we bring the definition of natural lattices of Chung and Yao [4]

Definition 1.4. Assume that the set of $n + d$ hyperplanes $H = \{h_1, h_2, \dots, h_{n+d}\}$ is in general position. The set of all $N(n, d)$ intersection knots of each d hyperplanes from H , is called a natural lattice of degree n in $\mathbb{R}^d$ or briefly NL_n .

It is easily seen that every NL_n is GC_n and each hyperplane $h_i, i = 1, 2, \dots, n + d$, is maximal for NL_n . Furthermore, $n + d$ is the maximal number of maximal hyperplanes any GC_n set can have.

Definition 1.5. Let $\mathcal{X} \subset \mathbb{R}^d$ be a GC_n set. We say that $\mathcal{X}$ has default r or that $\mathcal{X}$ is an r -lattice, if the number of maximal hyperplanes of $\mathcal{X}$ equals $n + d - r$.

Thus, NL_n is 0-lattice, more NL_n lattices are characterized by the fact that they are 0-lattices.

In [3] we give the characterization of 1-lattices in $\mathbb{R}^d$. Next we are going to describe it. We start with natural lattice of degree $n - 1$, i.e., intersection knots of $n + d - 1$ maximal hyperplanes. We call these knots *black*. Then we add $\binom{n+d-1}{d-1}$ arbitrary knots one by one on each intersection line of the maximal hyperplanes and call them *white* knots. We put a restriction on white knots. Namely we require that they are not lying on a hyperplane (otherwise we will get a natural 0-lattice).

2. An example of GC_2 set in $\mathbb{R}^6$ without maximal hyperplanes.

First we present some preliminaries. Let us start with the following result of Carnicer and Gasca in [5].

Theorem 2.1. *If every planar GC_n set for $n \leq \nu$ has a maximal line, then every such set has at least three maximal lines.*

In [2] C. de Boer made a natural conjecture concerning this result.

Conjecture 2.1. *If every GC_n set in $\mathbb{R}^d$ has a maximal hyperplane, then every such GC_n set has at least $d + 1$ maximal hyperplanes.*

In the same paper C. de Boer provides a counterexample GC_2 set in $\mathbb{R}^3$ with just 3 maximal planes thus rejecting the above conjecture in the case $d = 3$. He starts the construction of the example with an 1-lattice of degree 2 in $\mathbb{R}^3$ with 4 maximal planes. Then he shifts one of the white points from a maximal hyperplane so that the resulting set is again GC_2 , and in this way making it non-maximal (see Figure 1).

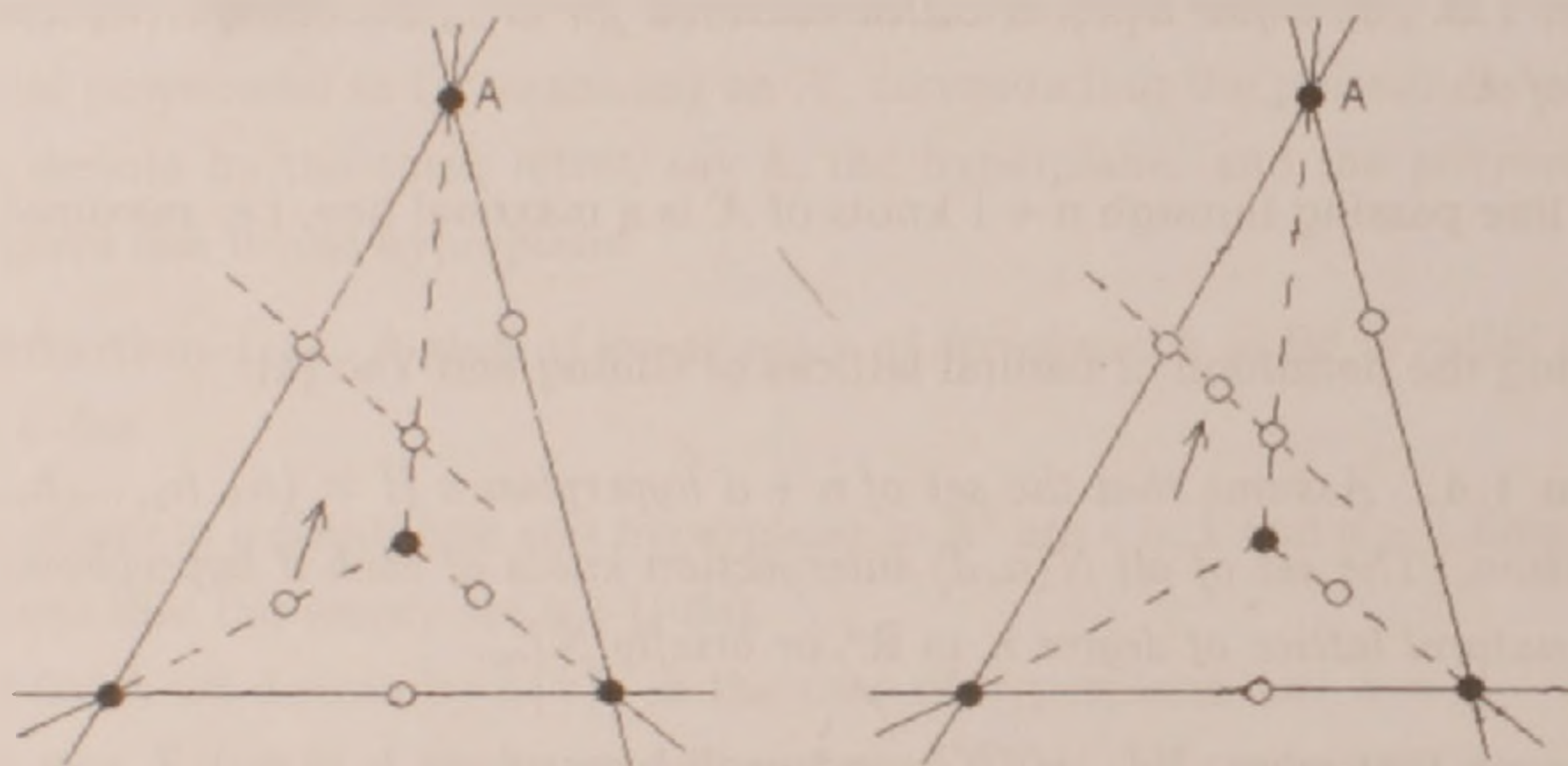


Figure 1: GC_2 sets with 4 and 3 maximal planes.

Next by exploiting the idea of C. de Boer, we are going to construct GC_2 set without maximal hyperplanes in $\mathbb{R}^6$.

We start with the definition of Δ_2 -structure:

Definition 2.6. (See [6]) Six nodes in $\mathbb{R}^2$ are said to have Δ_2 -structure, if three nodes are the vertices of a triangle, and the remaining three lie one by one on the lines containing the sides of the triangle.

Definition 2.7. Let x be a black knot of a Δ_2 -structure. We say that we do the movement toward the knot x if we move the white knot lying on the line passing through other two black knots of the Δ_2 -structure to the line passing through other two white knots.

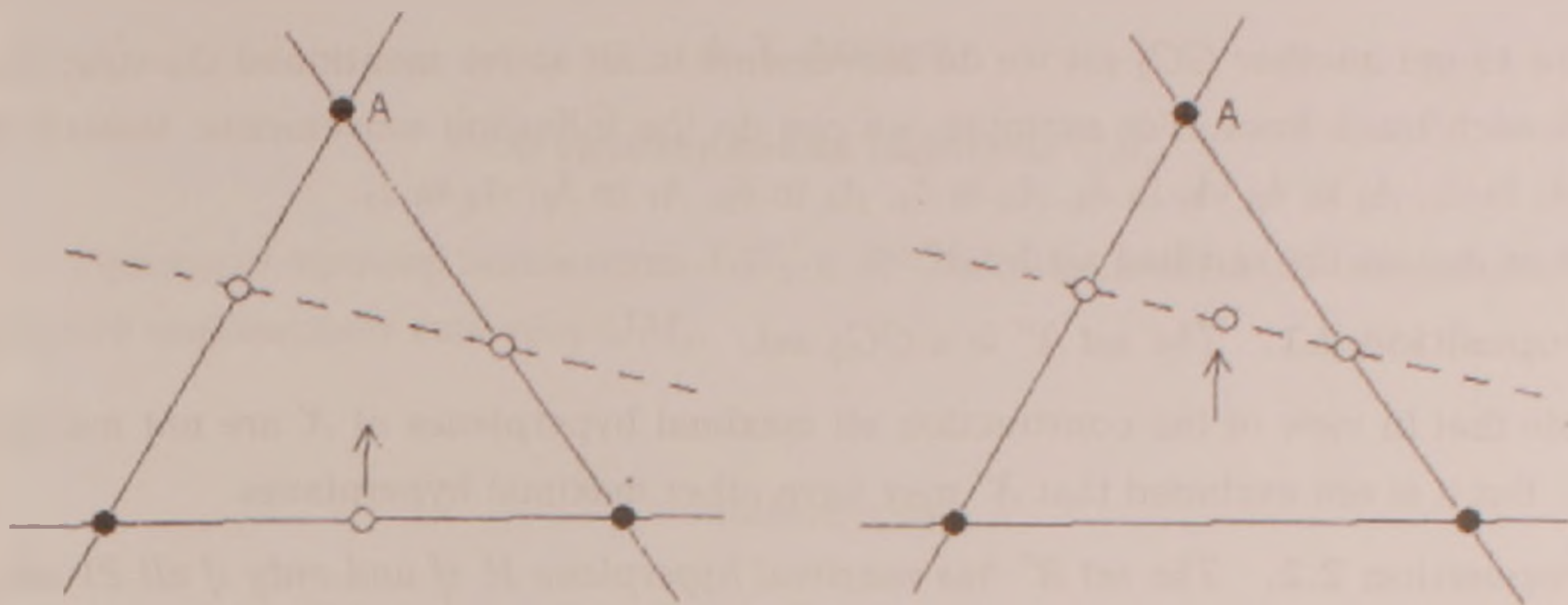


Figure 2: The movement toward the knot A

In the Figure 2 the movement is done toward the knot A.

Assume that $\mathcal{X}$ is 1-lattice in $\mathbb{R}^6$, i.e., 7 black knots and 21 white knots one by one in lines connecting each two black knots. Notice that each black knot uses only one maximal hyperplane which is passing through the remaining black knots. In view of the Definition 2.7, by the movement toward some black knot, in a certain plane containing a Δ_2 -structure we turn the maximal hyperplane used by that knot into non-maximal.

Definition 2.8. We say that two Δ_2 -structures are independent from each other or just independent, if they have no more than one common knot, which is black for both.

Let us denote black knots of $\mathcal{X}$ by $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7$. We can mention 7 independent Δ_2 -structures. These are: $\delta_1 = (A_1, A_2, A_3)$, $\delta_2 = (A_1, A_4, A_5)$, $\delta_3 = (A_1, A_6, A_7)$, $\delta_4 = (A_2, A_4, A_6)$, $\delta_5 = (A_2, A_5, A_7)$, $\delta_6 = (A_3, A_4, A_7)$, $\delta_7 = (A_3, A_5, A_6)$. As we see every black knot belongs to just three Δ_2 -structures (see Figure 3).

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
δ_1	●	●	●				
δ_2	●			●	●		
δ_3	●					●	●
δ_4		●		●		●	
δ_5		●			●		●
δ_6			●	●			●
δ_7			●		●	●	

Figure 3: The movement toward the knot A

Now to get another GC_2 set we do movements in all above mentioned Δ_2 -structures toward each black knot. For example, we can do the following movements: toward the knot A_1 in δ_1 , A_4 in δ_2 , A_6 in δ_3 , A_2 in δ_4 , A_5 in δ_5 , A_7 in δ_6 , A_3 in δ_7 .

Let us denote the resulted set by $\mathcal{X}'$.

Proposition 2.1. *The set $\mathcal{X}'$ is a CG_2 set.*

Note that in view of the construction all maximal hyperplanes of $\mathcal{X}$ are not maximal for $\mathcal{X}'$. But it is not excluded that $\mathcal{X}'$ may have other maximal hyperplanes.

Proposition 2.2. *The set $\mathcal{X}'$ has maximal hyperplane H if and only if all 21 white knots lie on H .*

Proposition 2.3. *There is an 1-lattice of degree 2 in $\mathbb{R}^6$ $\mathcal{X}_0$ such that $\mathcal{X}'_0$ has no maximal hyperplane. Moreover $\mathcal{X}_0$ can be obtained from any 1-lattice $\mathcal{X}$ by moving some white knot along the intersection line containing it.*

In such way we reject GM_d -conjecture for $\mathbb{R}^6$. Note that for $\mathbb{R}^d$ ($d \geq 6$) there are at least $d+1$ pairwise independent Δ_2 -structures. Hence we can construct similar counterexample for $\mathbb{R}^d$ ($d \geq 6$).

In [7] we provide

Conjecture 2.2. *Each GC_n set in $\mathbb{R}^d$ has at least $\binom{d+1}{d-1}$ maximal lines.*

Note that it also holds for the set $\mathcal{X}'$ constructed in this section. Indeed, each movement makes a non-maximal line from maximal one and makes another maximal line from one non-maximal.

Acknowledgements. I am very grateful to Professor Hakop Hakopian for helpful discussions on the subject of the paper.

Institute of Mathematics of NAS RA

A. T. Apozyan

On Rejection of GM_d Conjecture

An example of GC_2 set in $\mathbb{R}^6$ without maximal hyperplanes rejecting the conjecture GM_d is provided.

Ա. Տ. Ափոզյան

GM_d վարկածի հերքման վերաբերյալ

Բերված է GC_2 բազմության օրինակ $\mathbb{R}^6$ տարածությունում, որը չունի մաքսիմալ հիպերհարթություն՝ այդպիսով հերքելով GM_d վարկածը:

Об опровержении гипотезы GM_d

Приведен пример множества GC_2 в $\mathbb{R}^6$ без максимальных гиперплоскостей, который опровергает гипотезу GM_d .

References

1. Gasca M., Maeztu J.I. - Numer. Math. 1982. V. 39. P. 1-14.
2. de Boor C. - Numer. Alg. 2007. V. 45. P. 113-125.
3. Apozyan A.T. - East J. Approx. 2010. V. 16. N 3. P. 235-246.
4. Chung K.C., Yao T.H. - SIAM J. Numer. Anal. 1977. V. 14. P. 735-743.
5. Carnicer J.M., Gasca M. - Curve and Surface Design. Saint-Malo. 2002. P. 11-30.
6. Ktryan G. Jaen J. - Approx. 2010. V. 2. N 1. P. 129-143.
7. Апозян А.Т. - Изв. НАН Армении. Математика. 2011. Т. 46. N 2. С. 13-26.

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

УДК 621.39.1:519.34

С. Н. Манукян

Классификация многомерных арифметических множеств,
представимых в системе М.Пресбургера

(Представлено академиком Ю. Г. Шукурзяном 5/IX 2010)

Ключевые слова: *предикат, конъюнкция, дизъюнкция, квантор, проекция, проектирование, транзитивное замыкание*

1. Введение. В [1] представлена классификация двумерных арифметических множеств, представимых в системе М.Пресбургера (точные определения будут даны ниже). В связи с работой [1] профессор Патрик Сежилски поставил вопрос о том, возможно ли обобщение построенной классификации на множества любых размерностей. В настоящей статье дается положительный ответ на этот вопрос, а именно, строится классификация, аналогичная классификации, рассматриваемой в [1], но относящаяся к множествам любых размерностей. При этом обнаруживаются такие свойства указанной классификации, которые отличают ее от классификации, построенной в [1]. Обнаруживаются также свойства рассматриваемой классификации, позволяющие в определенном смысле сравнить возможности операций проектирования и транзитивного замыкания множеств.

2. Дадим определения некоторых понятий, используемых в дальнейшем.

Как обычно, арифметическим множеством размерности n будем называть множество систем $(x_1, x_2, \dots, x_n)$, элементы которых суть натуральные числа $0, 1, 2, \dots$. Множество всех систем указанного вида обозначаем посредством N^n ; вместо N^1 пишем N . Арифметическим предикатом размерности n , как обычно, называем предикат, заданный на N^n . Говорим, что арифметический предикат P размерности n является представляющим предикатом для множества $A \subseteq N^n$ (а также что A является множеством истинности для P),

если значение $P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ есть "истина" в том и только том случае, когда $(x_1, x_2, \dots, x_n) \in A$.

Понятие *предикатной формулы* на основе логических операций $\&, \vee, \supset, \neg, \forall, \exists$ определяется обычным образом [2-4]. Все понятия, относящиеся к предикатным формулам (в том числе понятие *терма*), определяются так же, как в [2-4]. *Сигнатурой*, как обычно, называем любое множество символов констант, предикатных символов, функциональных символов.

Говорим, что формула F принадлежит данной сигнатуре Γ (или является формулой данной сигнатуры Γ), если все встречающиеся в F символы констант, предикатные и функциональные символы принадлежат Γ . *Сигнатурой М. Пресбургера* называем сигнатуру $\{0, =, ', +\}$. *Стандартная арифметическая интерпретация* (или просто *стандартная интерпретация*) формул в сигнатуре $\{0, =, ', +\}$ определяется обычным образом [2-4]. (Например, x' интерпретируется как $x + 1$.) Говорим, что арифметический предикат *выразим* в системе М. Пресбургера, если он задается посредством стандартной интерпретации некоторой формулы в сигнатуре $\{0, =, ', +\}$. Говорим, что арифметическое множество A *задается* формулой F , если его представляющий предикат задается посредством стандартной интерпретации формулы F . Говорим, что множество A *логически представимо* (или просто *представимо*) в системе М. Пресбургера, если оно задается некоторой формулой в сигнатуре $\{0, =, ', +\}$. Дедуктивная система М.Пресбургера определяется обычным образом [5-7]. Говорим, что формулы F и G сигнатуры $\{0, =, ', +\}$ (соответственно, термы t и s той же сигнатуры) *эквивалентны* в системе М. Пресбургера, если формула $(F \supset G) \& (G \supset F)$ (соответственно, $t = s$) выводима в этой системе. Как правило, в дальнейшем формулы и термы в системе М. Пресбургера рассматриваются с точностью до их эквивалентности.

Термины "примитивно-рекурсивная функция", "частично-рекурсивная функция" будем сокращенно обозначать посредством ПРФ и ЧРФ.

Введем в рассмотрение некоторые конкретные арифметические множества и операции над арифметическими множествами. Множества $Z_0, R, Q_1, Q, E, Add, G_k$ при $k \geq 1$ определяются следующим образом:

$$Z_0 = \{x | x = 0\}, R = \{(x, y) | y = x + 1\}, Q_1 = \{(x, y) | x \leq y\}, Q = \{(x, y) | x < y\}.$$

$$E = \{(x, y) | x = y\}, Add = \{(x, y, z) | x + y = z\}, G_k = \{(x, y) | xy \pmod{k}\}.$$

Лемма 2.1. Множества $Z_0, R, Q_1, Q, E, N, N^n$ при $n \geq 1$, Add, G_k при $k \geq 1$ *представимы* в системе М. Пресбургера (ср. [5 - 7]).

Операции $\cup, \cap, \times, \downarrow, T_{ij}$ над арифметическими множествами определяются так же, как в [8,9] (ср. также [10]).

Алгебра θ^0 арифметических множеств (ср. [8, 9]) определяется как алгебра с базисными элементами Z_0, R, Add и операциями $\cup, \cap, \times, \downarrow, T_0$. Говорим, что множество A индуктивно представимо в алгебре θ^0 , если оно может быть получено из Z_0, R, Add при помощи операций $\cup, \cap, \times, \downarrow, T_0$.

Следующая теорема приведена в [8] (в несколько иных терминах).

Теорема 2.1. *Арифметическое множество представимо в системе М. Пресбургера в том и только том случае, когда оно индуктивно представимо в алгебре θ^0 .*

В доказательстве этой теоремы существенную роль играет следующая лемма (используемая также и в дальнейшем изложении).

Лемма 2.2. *Всякий терм в системе М. Пресбургера может быть приведен к виду $n_1x_1 + n_2x_2 + \dots + n_kx_k + \bar{q}$; здесь выражение n_ix_i означает $(x_i + x_i + x_i + \dots + x_i)$, где слагаемое x_i повторяется n_i раз; $\bar{q}$ означает терм $0''''$, в котором символ $'$ повторяется q раз. Всякий предикат, выразимый в системе М.Пресбургера, может быть задан формулой, получаемой посредством применения V и $\&$ к формулам вида $(t < s)$ и $(t \equiv s)(\text{Mod } m)$, где t и s — термы указанного выше вида, m — натуральная константа, $m \geq 1$.*

Эта лемма фактически доказана (в несколько иных терминах) в [2, 5-7].

Формулу вида $t < s$ или $(t \equiv s)(\text{Mod } m)$ называем приведенной, если она удовлетворяет следующим условиям: (1) никакая предметная переменная не входит одновременно в термы t и s ; (2) слагаемое вида $0''''$, отличное от нуля, входит либо только в t , либо только в s . Легко видеть, что для всякой формулы вида $t < s$ или $(t \equiv s)(\text{Mod } m)$ существует эквивалентная ей приведенная формула того же вида.

3. Введем теперь классификацию арифметических множеств любых размерностей, представимых в системе М.Пресбургера. Следуя [1], рассмотрим монотонную последовательность $p_0 = 2, p_1 = 3, p_2 = 5, \dots$, состоящую из всех простых чисел, и определим Π_n при $n \geq 0$ как класс натуральных чисел, в разложении которых на простые множители отсутствуют простые числа, отличные от $p_0, p_1, \dots, p_{n-1}$. Таким образом, в класс Π_0 входит лишь число 1; класс Π_1 состоит из чисел вида 2^n и т.д. Определим при $n \geq 0$ класс Σ_n как класс арифметических множеств, представляющие предикаты которых выражаются в форме, указанной в лемме 2.2, причем все подформулы вида $t < s$ и $(t \equiv s)(\text{Mod } m)$, участвующие в представлении этих предикатов, являются приведенными и обладают следующими свойствами: коэффициенты $n_1, n_2, \dots, n_k$ в представлении термов t и s в виде $n_1x_1 + n_2x_2 + \dots + n_kx_k + \bar{q}$, а также число m принадлежат Π_n . Посредством Δ_n обозначим класс двумерных арифметических множеств, принадлежащих Σ_n . Легко видеть, что классы Δ_n , определенные указанным образом, совпадают с классами Δ_n .

рассматриваемыми в [1].

Лемма 3.1. (а) $\Sigma_n \subseteq \Sigma_{n+1}$ при любом n . (б) Объединение всех Σ_n при $n = 0, 1, 2, \dots$ совпадает с классом всех множеств, представимых в системе М.Пресбургера. (в) Операции $\cup, \cap, \times, T_{ij}$ сохраняют принадлежность каждому классу Σ_n .

Из леммы 3.1 следует, что операция проектирования $\downarrow$, вообще говоря, не должна сохранять принадлежность классу Σ_n . Однако в одном частном случае подобное обстоятельство все же имеет место, как показывает следующая лемма.

Лемма 3.2. Если $A \in \Delta_n$, то проекция множества A по любой из его двух координат принадлежит Σ_n .

Множество M натуральных чисел назовем смешанно-периодическим (ср. [2]), если существуют такие натуральные числа a и b , что при любом $x \geq a$ $x \in M$ имеет место в том и только в том случае, когда $x+b \in M$. Число b в этом случае называем периодом множества M . Если $a = 0$, то M называем чисто периодическим.

Лемма 3.3 (ср. [2]). Каждое одномерное множество $A \in \Sigma_n$ является смешанно-периодическим с периодом, принадлежащим Π_n .

Лемма 3.4. $\Sigma_n \neq \Sigma_{n+1}$ при любом n .

Из лемм 3.1-3.4 вытекает, что основные свойства классификации $\Delta_0 \subseteq \Delta_1 \subseteq \Delta_2 \subseteq \dots$ сохраняются и для классификации $\Sigma_0 \subseteq \Sigma_1 \subseteq \Sigma_2 \subseteq \dots$. Отметим, однако, некоторые различия между ними. В [1] приведена следующая теорема: $A \in \Delta_0$ в том и только том случае, когда A задается формулой в сигнатуре $\{0, =, <, '\}$.

Это утверждение не имеет места для класса Σ_0 . А именно, очевидно, что $Add \in \Sigma_0$, однако справедлива следующая лемма (доказанная в [2]).

Лемма 3.5. Множество Add не может быть задано формулой в сигнатуре $\{0, =, <, '\}$.

Вопрос об исчерпывающей характеристике класса Σ_n требует дальнейшего исследования.

4. В этом разделе рассматриваются некоторые свойства введенной классификации в связи с операцией транзитивного замыкания множеств.

Пусть A — арифметическое множество четной размерности $2n$. Транзитивным замыканием множества A будем называть множество *A , определяемое следующими порождающими правилами (ср. [9,10]):

- (1) если $(x_1, x_2, \dots, x_{2n}) \in A$, то $(x_1, x_2, \dots, x_{2n}) \in ^*A$;
- (2) если $(x_1, x_2, \dots, x_n, y_1, y_2, \dots, y_n) \in ^*A$, $(y_1, y_2, \dots, y_n, z_1, z_2, \dots, z_n) \in ^*A$, то $(x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_n) \in ^*A$.

Понятие креативного арифметического множества определяется так же,

как в [11,12]. Двумерное множество B называем креативным, если креативно множество $A = \{c(x,y) | (x,y) \in B\}$ (здесь c есть ПРФ, устанавливающая взаимно-однозначное соответствие между N и N^2 , например, $c(x,y) = 2^x(2y + 1) - 1$).

Теорема 4.1. *Существует множество $A \in \Delta_4$, транзитивное замыкание которого креативно.*

Доказательство основывается на рассмотрении операторных алгоритмов в том виде, как они определены в [12,13].

Мы можем сказать, таким образом, что существует класс рекурсивных множеств (например, класс множеств, представимых в системе М. Пресбургера) такой, что операция проектирования не выводит за пределы этого класса, однако операция транзитивного замыкания, исходя из множеств этого класса, приводит иногда к нерекурсивным (даже креативным) множествам. Таким образом, операция транзитивного замыкания оказывается в определенном смысле более сильной по сравнению с операцией проектирования. Вопрос о том, какие классы множеств обладают свойством, указанным для класса Δ_4 в теореме 4.1 (в частности, вопрос о том, обладают ли этим свойством классы $\Delta_0, \Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$), требует дальнейшего исследования.

Автор приносит глубокую благодарность профессору Патрику Сежилъски за постановку задачи и внимание к работе.

Институт проблем информатики и автоматизации НАН РА

С. Н. Манукян

Классификация многомерных арифметических множеств, представимых в системе М.Пресбургера

Строится последовательность классов $\Sigma_0 \subseteq \Sigma_1 \subseteq \Sigma_2 \subseteq \dots$, объединение которых совпадает с классом многомерных арифметических множеств, представимых в системе М. Пресбургера. Устанавливаются некоторые свойства построенной классификации, отличающие ее от аналогичной классификации двумерных множеств. Доказывается, что существует двумерное множество $A \in \Sigma_4$, транзитивное замыкание которого креативно.

Ս. Ն. Մանուկյան

Մ. Պրեսբուրգերի համակարգում ներկայացվող բազմաչափանի թվաբանական
բազմությունների դասակարգումը

Կառուցվում է $\Sigma_0 \subseteq \Sigma_1 \subseteq \Sigma_2 \subseteq \dots$ դասերի հաջորդականություն, որոնց միացումը համընկնում է Մ. Պրեսբուրգերի համակարգում ներկայացվող բազմաչափանի թվաբանական բազմությունների դասի հետ: Ստացվում են այդ դասակարգման որոշ հատկություններ, որոնցով այն տարբերվում է երկչափանի բազմությունների համանման դասակարգումից: Ապացուցվում է, որ գոյություն ունի $A \in \Sigma_4$ երկչափանի բազմություն, որի տրանզիտիվ փակումը կրեափիվ է:

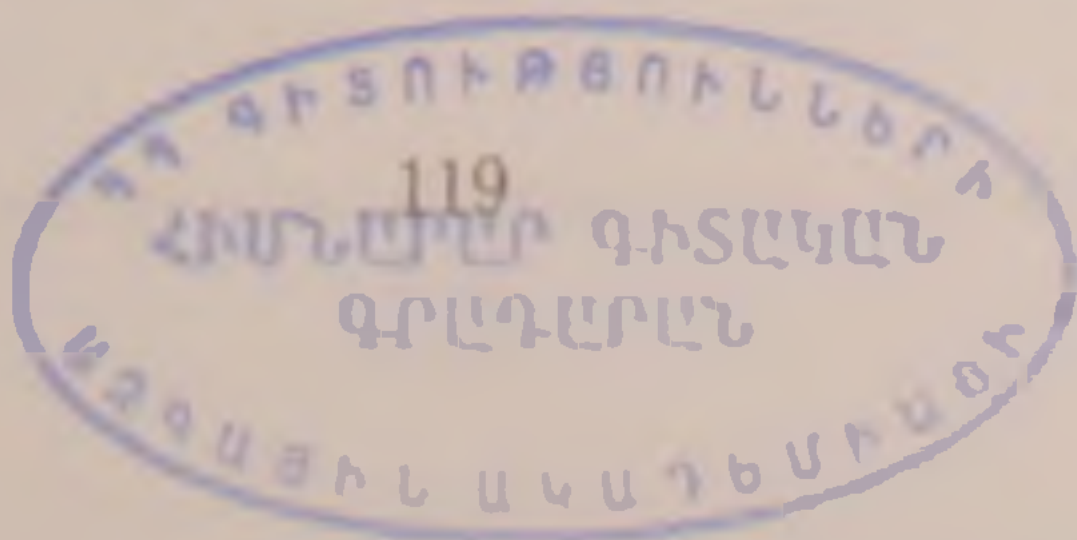
S. N. Manukian

Classification of Many-Dimensional Arithmetical Sets Represented in M. Presburger's
System

A sequence of classes $\Sigma_0 \subseteq \Sigma_1 \subseteq \Sigma_2 \subseteq \dots$ is constructed so that their union coincides with the class of many-dimensional arithmetical sets represented in M. Presburger's system. Some properties of this classification are established which are different from the properties of analogous classification of two-dimensional sets. It is proved that there exists a two-dimensional set $A \in \Sigma_4$, such that its transitive closure is creative.

Литература

1. Manukian S.N. - Proceedings of the Conference "Computer Science and Information Technologies", CSIT-05. Yerevan. 2005. P.86-87.
2. Enderton H. A Mathematical Introduction to Logic, 2nd ed., San Diego, Harcourt, Academic Press, 2001.
3. Kleene S.C. Introduction to Metamathematics. D. Van Nostrand Comp., Inc., New York-Toronto, 1952.
4. Mendelson E. Introduction to Mathematical Logic. D. Van Nostrand Comp., Inc., Princeton, New Jersey-Toronto-New York-London, 1964.
5. Hilbert D., Bernays P. Grundlagen der Mathematik, Band 1. Zweite Auflage, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag, 1968.
6. Presburger M. - Comptes Rendu du I Congres des Mathematiciens des Pays Slaves, Warszawa. 1930. P.92-101.
7. Stransifer R. Presburger's Article on Integer Arithmetics: Remarks and Translation. Department of Computer Science, Cornell University, Ithaca, New York, 1984.



8. *Manukian S.N.* - Proceedings of the Conference "Computer Science and Information Technologies", CSIT-09, Yerevan. 2009. P. 51-53.
9. *Манукян С.Н.* - Труды ИПИА НАН РА и ЕрГУ, "Математические вопросы кибернетики и вычислительной техники". 1997. Т. 17. С. 86-91.
10. *Цейтун Г.С.* - Труды МИАН СССР. 1964. Т. 72. С. 69-98.
11. *Rogers H.* Theory of Recursive Functions and Effective Computability McGraw Hill Book Comp. New York- St Louis- San Francisco-Toronto-London-Sydney. 1967.
12. *Мальцев А.И.* Алгоритмы и рекурсивные функции. 2-е изд. М. Наука, 1986
13. *Minsky M.I.* - Ann. of Mathem. 1961. V. 74. P. 437-455.

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян

Математические модели микрополярных упругих тонких балок*

(Представлено 3/IX 2010)

Ключевые слова: микрополярный, упругий, балка, математические модели, свободное вращение, стесненное вращение, малая сдвиговая жесткость.

Введение. В связи с современными проблемами микро- и наномеханики стало актуальным построение математических моделей тонких оболочек, пластин и балок на основе микрополярной (несимметричной, моментной) теории упругости, или иначе, континуума Коссера. Обзор работ в этом направлении за последний период приведен в [1,2].

Основная проблема общей теории микрополярных упругих тонких оболочек, пластин и балок заключается в приближенном, но адекватном сведении трехмерной или двумерной краевой задачи микрополярной теории упругости соответственно к некоторой двумерной или одномерной задаче. Для достижения этой цели уместно использование асимптотического метода интегрирования краевой задачи микрополярной теории упругости в тонких пространственных или двумерных областях [3-6]. Принимая за основу качественные результаты исходного приближения асимптотического решения трехмерной или двумерной краевой задачи микрополярной теории упругости в тонких областях, можем сформулировать (с точки зрения приложений в инженерной практике) достаточно общие гипотезы [7-9], которые позволяют свести трехмерную или двумерную задачу соответственно к прикладной двумерной или одномерной задаче для микрополярных оболочек и пластин или балок.

* Доложено на 12-м Международном конгрессе по мезомеханике. Тайпей, Тайвань, 21-15 июня 2010 г.

В данной работе при помощи такого подхода, в зависимости от значений безразмерных физических параметров балки, построены общие модели микрополярных упругих тонких балок со свободным вращением; со стесненным вращением; "с малой сдвиговой жесткостью", при которых полностью учитываются поперечные сдвиговые и родственные им деформации.

1. **Постановка задачи.** Основные уравнения плоской задачи микрополярной теории упругости со свободным вращением имеют следующий вид [10]:

уравнения равновесия

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_3} = 0, \quad \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial x_3} = 0, \quad \frac{\partial \mu_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \mu_{32}}{\partial x_3} - (\sigma_{13} - \sigma_{31}) = 0; \quad (1.1)$$

физико-геометрические соотношения

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \frac{\partial V_1}{\partial x_1} = \frac{1}{E}(\sigma_{11} - \nu \sigma_{33}), & \gamma_{13} &= \frac{\partial V_3}{\partial x_1} + \omega_2 = \frac{\mu + \alpha}{4\mu\alpha} \sigma_{13} - \frac{\mu - \alpha}{4\mu\alpha} \sigma_{31}, \\ \gamma_{33} &= \frac{\partial V_3}{\partial x_3} = \frac{1}{E}(\sigma_{33} - \nu \sigma_{11}), & \gamma_{31} &= \frac{\partial V_1}{\partial x_3} - \omega_2 = \frac{\mu + \alpha}{4\mu\alpha} \sigma_{31} - \frac{\mu - \alpha}{4\mu\alpha} \sigma_{13}, \\ \chi_{32} &= \frac{\partial \omega_2}{\partial x_3} = \frac{1}{B} \mu_{32}, & \chi_{12} &= \frac{\partial \omega_2}{\partial x_1} = \frac{1}{B} \mu_{12}. \end{aligned} \quad (1.2)$$

Здесь $\hat{\sigma}, \hat{\mu}$ — тензоры силового и моментного напряжений; $\hat{\gamma}, \hat{\chi}$ — тензоры деформаций и изгибов-кручений; $\vec{V}$ — вектор перемещений, $\vec{\omega}$ — вектор свободного поворота; E, ν, α, B — упругие постоянные микрополярного тела. Систему уравнений (1.1), (1.2) будем рассматривать в тонкой прямоугольной области: $0 \leq x_1 \leq a$, $-h \leq x_3 \leq h$, где $2h$ — высота, a — длина прямоугольника.

На лицевых линиях прямоугольника $x_3 = \pm h$ считаются заданными силовые и моментные граничные условия (будем рассматривать задачу изгиба)

$$\sigma_{31} = \tilde{q}_1, \quad \sigma_{33} = \pm \tilde{q}_3, \quad \mu_{32} = \pm \tilde{m}_2, \quad \text{при } x_2 = \pm h. \quad (1.3)$$

Граничные условия на кромках прямоугольника ($x_1 = 0$, $x_1 = a$) в зависимости от способа приложения внешней нагрузки или закрепления ее точек записываются в силовых и моментных напряжениях, перемещениях и поворотах или в смешанном виде.

При построении асимптотики краевой задачи (1.1)-(1.3) в тонкой прямоугольной области (следовательно, для построения моделей микрополярных балок) большую роль играют значения физических констант материала балки. С этой точки зрения введем следующие безразмерные физические параметры:

$$\frac{\mu}{\alpha}, \quad \frac{a^2 \mu}{B} \quad (1.4)$$

(здесь длина прямоугольника a играет роль масштабного фактора).

2. Модель изгибной деформации микрополярных упругих тонких балок со свободным вращением. Рассмотрим случай, когда параметры (1.4) имеют значения

$$\frac{\mu}{\alpha} \sim 1 \quad (\text{т.е. } \alpha \sim \mu), \quad \frac{a^2 \mu}{B} \sim 1. \quad (2.1)$$

Качественные результаты исходного приближения асимптотического метода интегрирования краевых задач (1.1)-(1.3) в тонкой прямоугольной области [3], при значениях физических безразмерных параметров (2.1), позволяют ставить в основу построения прикладной одномерной модели микрополярных балок со свободным вращением следующие достаточно общие гипотезы:

а) нормальный элемент, первоначально перпендикулярный к оси x_1 , остается после деформации прямолинейным, но уже не перпендикулярным к деформированной оси, свободно вращается на некоторый угол, не изменяя при этом своей длины. Вследствие этого имеем линейный закон изменения перемещений V_1, V_3 и свободного поворота ω_2 по толщине прямоугольника:

$$V_3 = w(x_1), \quad V_1 = x_3 \psi(x_1), \quad \omega_2 = \Omega_2(x_1), \quad (2.2)$$

где w – прогиб балки, Ω_2 – угол свободного поворота, ψ – полный угол поворота нормального элемента.

В смысле перемещений приведенная гипотеза представляет собой известную классическую кинематическую гипотезу Тимошенко [11] в уточненной теории упругих балок, поэтому гипотезу (2.2) назовем обобщенной кинематической гипотезой Тимошенко в случае микрополярных балок;

б) при определении деформаций, изгибов-кручений, силовых и моментных напряжений для силового напряжения σ_{31} сначала примем

$$\sigma_{31} = \sigma_{31}^0(x_1). \quad (2.3)$$

После определения указанных величин, значение σ_{31} окончательно определим как сумму значения (2.3) и результата интегрирования первого уравнения равновесия из (1.1), для которого потребуем, чтобы усредненная по толщине прямоугольника величина была равна нулю. Силовая часть принятой здесь гипотезы (т.е. гипотезы б)) отличается от соответствующей гипотезы Тимошенко в классическом случае [11].

Отметим, что построенная ниже на основе гипотез а), б) теория микрополярных упругих тонких балок будет асимптотически точной теорией.

Основная система уравнений изгибной деформации микрополярных упругих тонких балок со свободным вращением выражается следующим образом:

уравнения равновесия

$$\frac{dN_{13}}{dx_1} = -2\tilde{q}_3, \quad N_{31} - \frac{dM_{11}}{dx_1} = 2h\tilde{q}_1, \quad \frac{dL_{12}}{dx_1} + N_{31} - N_{13} = -2\tilde{m}_2; \quad (2.4)$$

соотношения упругости

$$N_{13} = 2h[(\mu + \alpha)\Gamma_{13} + (\mu - \alpha)\Gamma_{31}], \quad N_{31} = 2h[(\mu + \alpha)\Gamma_{11} + (\mu - \alpha)\Gamma_{13}], \\ M_{11} = \frac{2Eh^3}{3}K_{11} + \nu\frac{2h^2}{3}\tilde{q}_3, \quad L_{12} = 2Bh\kappa_{12}; \quad (2.5)$$

геометрические соотношения

$$\Gamma_{13} = \frac{dw}{dx_1} + \Omega_2, \quad \Gamma_{31} = \psi - \Omega_2, \quad K_{11} = \frac{d\psi}{dx_1}, \quad \kappa_{12} = \frac{d\Omega_2}{dx_1}. \quad (2.6)$$

Здесь N_{13}, N_{31} — усилия, M_{11}, L_{12} — изгибающие моменты от силовых и моментных напряжений, Γ_{13}, Γ_{31} — деформации сдвига, K_{11}, κ_{12} — изменения кривазны оси балки.

Система уравнений изгибной деформации микрополярно-упругих балок (2.4)-(2.6) представляет собой систему уравнений шестого порядка, в которой полностью учитываются поперечные сдвиговые и родственные им деформации. Это система из 11 уравнений относительно 11 неизвестных функций: $w, \psi, \Omega_2, \Gamma_{13}, \Gamma_{31}, K_{11}, \kappa_{12}, N_{13}, N_{31}, M_{11}, L_{12}$.

«Смягченные» граничные условия на торце балки (например, на $x_1 = 0$) имеют вид

$$M_{11} = M_{11}^* \text{ или } \psi = \psi^*, \quad N_{13} = N_{13}^* \text{ или } w = w^*, \quad L_{12} = L_{12}^* \text{ или } \Omega_2 = \Omega_2^*. \quad (2.7)$$

Исходя из принципа Даламбера, если в уравнение равновесия (2.4) включить соответственно силу инерции $2\rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}$ и моменты инерции $\frac{2h^3}{3}\rho \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$, $2Jh \frac{\partial^2 \Omega_2}{\partial t^2}$, получим модель динамической теории изгиба микрополярных упругих балок со свободным вращением.

Если в модели микрополярных балок (2.4)-(2.7) условно принять $\alpha = 0$, то можно выделить классическую модель упругих тонких балок Тимошенко [11, 12] (с некоторым отличием, связанным со статической гипотезой б)).

Если в модели (2.4)-(2.7) микрополярных балок пренебречь поперечными сдвигами, т.е. считать

$$\psi = -\frac{dw}{dx_1}, \quad (2.8)$$

то приходим к модели микрополярных балок со свободным вращением, когда нормальный элемент поворачивается, оставаясь перпендикулярным к

деформированной оси балки. Формула (2.8) означает, что, пренебрегая поперечными сдвигами, вместо обобщенной кинематической гипотезы а) Тимошенко мы руководствуемся обобщенной гипотезой Бернулли для микрополярных балок (т.е. наряду с (2.8) считаем справедливыми формулы (2.2) в целом).

Основная система изгибной деформации микрополярных упругих балок со свободным вращением, если исходить из обобщенной кинематической гипотезы Бернулли, будет представлена уравнениями равновесия (2.4) и физико-геометрическими соотношениями (2.5), (2.6) относительно $M_{11}, L_{12}, K_{11}, k_{12}$, к которым следует присоединить следующие соотношения:

$$N_{13} - N_{31} = 4\alpha h(\Gamma_{13} - \Gamma_{31}), \quad \Gamma_{13} - \Gamma_{31} = 2\left(\frac{dw}{dx_1} + \Omega_2\right). \quad (2.9)$$

К указанной системе уравнений необходимо присоединить граничные условия (2.7) с учетом (2.8).

3. Модель микрополярных балок “с малой сдвиговой жесткостью”. Рассмотрим случай, когда безразмерные физические параметры (1.4) имеют значения

$$\alpha \sim \mu, \quad \frac{\alpha a^2}{B} \ll 1. \quad (3.1)$$

Качественные стороны результата интегрирования краевой задачи (1.1)-(1.3) плоской микрополярной теории упругости для случая (3.1) в тонкой прямоугольной области позволяют положить в основу построения соответствующей прикладной одномерной теории микрополярных балок следующие гипотезы: 1) принимаются предположения а), б) раздела два; 2) в третьем уравнении равновесия (1.1) можем пренебречь разностью силовых напряжений $(\sigma_{13} - \sigma_{31})$, но сохранить ее в физических уравнениях (1.2).

В этом случае как по обобщенной кинематической гипотезе Тимошенко, так и по обобщенной гипотезе Бернулли “моментная часть” задачи (уравнения и граничные условия) отделяется от “силовой части” задачи (т.к. в третьем уравнении равновесия из (2.4) разностью $N_{31} - N_{13}$ пренебрегается).

Отметим, что в этом случае “силовая часть” задачи, даже при $\Omega_2(x_1) \equiv 0$, не будет совпадать с классической теорией упругих балок (с учетом и без учета поперечных сдвигов), т.к. в соответствующих уравнениях присутствуют члены с физической постоянной α . Имея в виду условие (3.1), эту модель микрополярных балок назовем моделью “с малой сдвиговой жесткостью” (учитывая, что физическая постоянная α тоже своего рода модуль сдвига, как и классический модуль μ).

4. Модель микрополярных балок со стесненным вращением. Рассмотрим случай, когда для физических параметров (1.4) имеют место следующие условия:

$$\alpha \gg \mu, \quad \frac{\alpha a^2}{B} \sim 1. \quad (4.1)$$

Как показывает асимптотический анализ [3] краевой задачи (1.1)-(1.3), для случая (4.1) поворот ω_2 в асимптотических приближениях выражается через компоненты вектора перемещений V_1 и V_3 формулой, идентичной формуле плоской задачи классической теории упругости:

$$2\omega_2 = \frac{\partial V_1}{\partial x_3} - \frac{\partial V_3}{\partial x_1}. \quad (4.2)$$

Это означает, что в этом случае изучаемый вопрос находится в области микрополярной упругости со стесненным вращением [10] (иначе – псевдоконтинуума Коссера).

С учетом качественных сторон [3] асимптотического решения краевой задачи (1.1)-(1.3) в случае (4.1) в основу построения прикладной одномерной модели микрополярных упругих тонких балок со стесненным вращением положим следующие гипотезы: 1) предположения а), б) раздела два; 2) условие стесненного вращения (4.2).

Основная система уравнений прикладной одномерной теории микрополярных упругих тонких балок со стесненным вращением, в которой полностью учитываются поперечные сдвиговые и родственные им деформации, выражается следующим образом:

уравнения равновесия

$$\frac{dN_{13}}{dx_1} = -2\tilde{q}_3, \quad N_{31} - \frac{dM_{11}}{dx_1} = 2h\tilde{q}_1, \quad \frac{dL_{12}}{dx_1} + N_{31} - N_{13} = -2\tilde{m}_2; \quad (4.3)$$

физические соотношения

$$N_{13} + N_{31} = 4\mu h(\Gamma_{13} + \Gamma_{31}), \quad M_{11} = \frac{2Eh^3}{3}K_{11} + \nu \frac{2h^2}{3}\tilde{q}_3, \quad L_{12} = 2Bh\kappa_{12}; \quad (4.4)$$

геометрические соотношения

$$\Gamma_{13} + \Gamma_{31} = \frac{dw}{dx_1} + \psi, \quad K_{11} = \frac{d\psi}{dx_1}, \quad \kappa_{12} = \frac{d\Omega_2}{dx_1}, \quad \Omega_2 = \frac{1}{2}\left(\psi - \frac{dw}{dx_1}\right). \quad (4.5)$$

К системе уравнений (4.3)-(4.5) следует присоединить граничные условия (2.7).

В уравнениях (4.3)-(4.5), пренебрегая моментными напряжениями, в данной модели микрополярных балок перейдем к классической модели балки Тимошенко [11,12] (здесь также с некоторым отличием, связанным со статической гипотезой б)).

Если в уравнениях (4.3)-(4.5) пренебречь поперечными сдвигами (т.е. принять формулу (2.8)), получим модель микрополярных балок со стесненным вращением на основе обобщенной кинематической гипотезы Бернулли:

уравнения равновесия

$$\frac{dN_{13}}{dx_1} = -2\tilde{q}_3, \quad \frac{d(M_{11} + L_{12})}{dx_1} - N_{13} = -2h\tilde{q} - 2\tilde{m}_2; \quad (4.6)$$

физические соотношения

$$M_{11} = \frac{2Eh^3}{3} K_{11} + \nu \frac{2h^2}{3} \tilde{q}_3, \quad L_{12} = 2Bh\chi_{12}; \quad (4.7)$$

геометрические соотношения

$$K_{11} = -\frac{d^2 w}{dx_1^2}, \quad \kappa_{12} = \frac{d\Omega_2}{dx_1}, \quad \Omega_2 = -\frac{dw}{dx_1}. \quad (4.8)$$

К системе уравнений (4.6)-(4.8) следует присоединить следующие граничные условия (при $x_1 = 0$):

$$M_{11} + L_{12} = M_{11}^* + L_{12}^* \text{ или } K_{11} = K_{11}^*, \quad N_{13} = N_{13}^* \text{ или } w = w^*. \quad (4.9)$$

Систему уравнений микрополярной балки (4.6)-(4.8) без учета поперечного сдвига можем привести к следующему уравнению относительно w (типа классического уравнения изгиба балки):

$$D^* \frac{d^4 w}{dx_1^4} = 2\tilde{q}_3 + \frac{2h^2}{3} \nu \frac{d^2 \tilde{q}_3}{dx_1^2} + 2 \frac{d\tilde{m}_2}{dx_1} + 2h \frac{d\tilde{q}_1}{dx_1}, \quad (4.10)$$

где

$$D^* = D + 2Bh, \quad D = \frac{2Eh^3}{3}, \quad (4.11)$$

D^* – жесткость микрополярной упругой балки, D – классическая жесткость упругой балки.

Отметим, что модель микрополярной балки со стесненным вращением (4.6)-(4.9) построена ранее в работе [13], а асимптотическим методом – в работе [3].

Гюмрийский государственный педагогический
университет им. М.Налбандяна

Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян

Математические модели микрополярных упругих тонких балок

На основе асимптотически подтвержденного метода гипотез, в зависимости от значений физических безразмерных параметров, построены общие прикладные одномерные модели микрополярных упругих тонких балок со свободным вращением, со стесненным вращением, “с малой сдвиговой жесткостью”, для которых полностью учитываются поперечные сдвиговые и родственные им деформации.

Միկրոպոլյար առաձգական բարակ հեծանների մաթեմատիկական մոդելները

Ասիմպտոտիկ հիմնավորում ունեցող վարկածների մեթոդի հիման վրա, կախված ֆիզիկական անչափ պարամետրի ընդունած արժեքներից, կառուցված են միկրոպոլյար առաձգական բարակ ձողերի ազատ պտույտներով, կաշկանդված պտույտներով, «փոքր սահքային կոշտությամբ» կիրառական միաչափ ընդհանուր մոդելները, որոնց դեպքում լիովին հաշվի են առնված ընդլայնական սահքային և նմանատիպ ծազումով մյուս դեֆորմացիաները:

Corresponding member of NAS RA S. H. Sargsyan

Mathematical Models of Micropolar Thin Elastic Bars

The general applied one-dimensional models of micropolar thin elastic bars with independent rotation, constraint rotation and with «small shift rigidity» are constructed depending on the values of sizeless physical parameters. In case of these models lateral shift and other related deformations are completely taken into account. The construction of the mentioned models is based upon the hypothesis method having asymptotical confirmation.

Литература

1. *Տարկսյան Ս. Օ.* – Изв. НАН Армении. Механика. 2005. Т.58. N2. С. 84-94.
2. *Allenbach I., Allenbach H., Ermejev V.* - Arch. Appl. Mech. Special Issue. Doi 10.1007/s. 00419-009-0365-3.
3. *Տարկսյան Ս. Օ.* - Физическая мезомеханика. 2008. Т.11. N5. С. 41-54.
4. *Տարկսյան Ս. Օ.* - Прикладная математика и механика. 2008. Т.72. Вып.1. С.129-147.
5. *Տարկսյան Ս. Օ.* - Доклады НАН Армении. 2008. Т. 108. N 4. С. 309-319.
6. *Sargsyan S.H.* - Journal of Thermal Stresses. 2009. V. 32. N8. P. 791-818.
7. *Տարկսյան Ս. Օ.* - Вестник Пермского гос. тех. ун-та “Математическое моделирование систем и процессов”. 2008. N 16. С. 111-120.
8. *Տարկսյան Ս. Օ.* - Доклады АН России. 2010. Т.435. N3.
9. *Sargyan S.H.* - Proceed. of the 16th US National Congress of Theoretical and Applied Mechanics. USNCTAM 2010. June 27-July 2. 2011. State College, PA, USA.
10. *Морозов Н. Ф.* Математические вопросы теории трещин. М. Наука. 1984. 256 с.
11. *Тимошенко С. П.* Колебания в инженерном деле. М. Наука. 1967. 444 с.
12. *Уфлянд Я.С.* - ИММ. 1948. Т. 12. Вып. 3. С. 289-300.
13. *Винокуров Л.П., Деревянко Н.И.* - Прикл. механика. 1966. Т.2. N 3. С. 72-79.

МЕХАНИКА

УДК 539.3:534.1

Академик Л. А. Агаловян, Г. Л. Азатян, Р. С. Геворкян, А. М. Погосян

Об асимптотическом решении пространственной динамической задачи для
 прямоугольной пьезокерамической пластинки

(Представлено 9/IX 2010)

Ключевые слова: асимптотический метод, электроупругость, трансверсально-изотропная пьезокерамика, вынужденные колебания

Асимптотический метод решения краевых задач теории упругости для полос и пластин с неклассическими граничными условиями, впервые примененный в [1,2], оказался эффективным для решения статических и динамических задач балок, пластин и оболочек [3,4]. В настоящей работе этим методом решается краевая задача электроупругости для пьезокерамической пластины. Аналогичные задачи для тонкой пластины разными методами решены многими авторами, в частности в [5-9]. Предлагаемое решение выгодно отличается тем, что выведенные несложные рекуррентные формулы позволяют определить компоненты вектора перемещения, тензора напряжений и напряжения электрического поля с любой асимптотической точностью. В данной работе рассматривается динамическая задача электроупругости для предварительно поляризованной пьезокерамики.

1. Имеем тонкую пластинку из предварительно поляризованной керамики в декартовой прямоугольной системе координат, занимающую область

$$\Omega = \{(x, y, z) : |x| \leq a, |y| \leq b, |z| \leq h, l = \min(a, b), h \ll l\}.$$

На лицевых поверхностях $z = \pm h$ заданы следующие механические и электрические граничные условия:

$$u_j(x, y, z, t)|_{z=\pm h} = u_j^{\pm}(x, y)e^{i\omega t}, \quad j = x, y, z \quad (1.1)$$

$$\bar{\psi}(x, y, z, t)|_{z=\pm h} = \pm V_0(x, y)e^{i\omega t},$$

где ω – частота вынуждающего воздействия, i – мнимая единица.

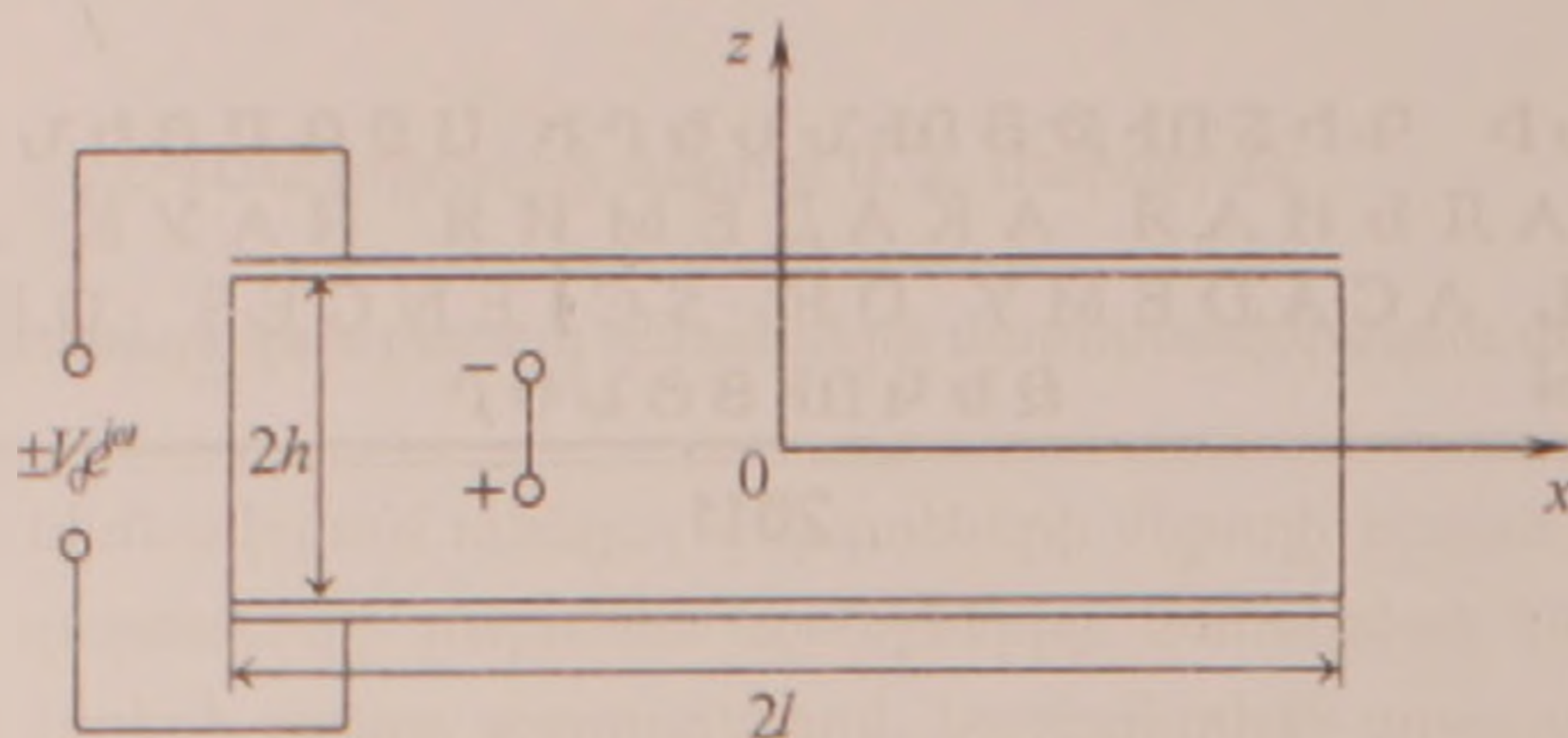


Рис. 1

Требуется найти удовлетворяющее граничным условиям (1.1) решение полной системы уравнений электроупругости пьезокерамической среды, которая состоит из:

уравнений движения

$$\frac{\partial \bar{\sigma}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{\sigma}_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{\sigma}_{xz}}{\partial z} = \rho \frac{\partial^2 \bar{u}_x}{\partial t^2}, \quad (x, y, z); \quad (1.2)$$

уравнений электростатики

$$\text{div} \bar{D} = \frac{\partial \bar{D}_x}{\partial x} + \frac{\partial \bar{D}_y}{\partial y} + \frac{\partial \bar{D}_z}{\partial z} = 0, \quad (1.3)$$

$$\bar{E} = -\text{grad} \bar{\psi} = -\left(i \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x} + j \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial y} + k \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial z} \right);$$

соотношений состояния предварительно поляризованной трансверсально-изотропной пьезокерамики [5]

$$\begin{aligned} \bar{\sigma}_{xx} &= C_{11}^E \bar{\varepsilon}_{xx} + C_{12}^E \bar{\varepsilon}_{yy} + C_{13}^E \bar{\varepsilon}_{zz} - e_{31} \bar{E}_z, \\ \bar{\sigma}_{yy} &= C_{12}^E \bar{\varepsilon}_{xx} + C_{11}^E \bar{\varepsilon}_{yy} + C_{13}^E \bar{\varepsilon}_{zz} - e_{31} \bar{E}_z, \\ \bar{\sigma}_{zz} &= C_{13}^E (\bar{\varepsilon}_{xx} + \bar{\varepsilon}_{yy}) + C_{33}^E \bar{\varepsilon}_{zz} - e_{33} \bar{E}_z, \\ \bar{\sigma}_{yz} &= C_{44}^E \bar{\varepsilon}_{yz} - e_{15} \bar{E}_y, \quad \bar{\sigma}_{xz} = C_{44}^E \bar{\varepsilon}_{xz} - e_{15} \bar{E}_x, \quad \bar{\sigma}_{xy} = \frac{1}{2} (C_{11}^E - C_{12}^E) \bar{\varepsilon}_{xy}, \\ \bar{D}_x &= \varepsilon_{11}^S \bar{E}_x + e_{15} \bar{\varepsilon}_{xz}, \quad \bar{D}_y = \varepsilon_{11}^S \bar{E}_y + e_{15} \bar{\varepsilon}_{yz}, \\ \bar{D}_z &= \varepsilon_{33}^S \bar{E}_z + e_{31} (\bar{\varepsilon}_{xx} + \bar{\varepsilon}_{yy}) + e_{33} \bar{\varepsilon}_{zz}; \end{aligned} \quad (1.4)$$

соотношений Коши

$$\begin{aligned} \bar{\varepsilon}_{xx} &= \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial x}, \quad \bar{\varepsilon}_{yy} = \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial y}, \quad \bar{\varepsilon}_{zz} = \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial z}, \\ \bar{\varepsilon}_{xz} &= \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial z}, \quad \bar{\varepsilon}_{xy} = \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}_x}{\partial y}, \quad \bar{\varepsilon}_{yz} = \frac{\partial \bar{u}_y}{\partial z} + \frac{\partial \bar{u}_z}{\partial y}, \end{aligned} \quad (1.5)$$

где $\bar{\sigma}_{ij}$, $i, j = x, y, z$ – компоненты тензора напряжений, $\bar{u}_i$ – вектора перемещения, $\bar{D}_j$ – вектора электрического смещения (индукция), $\bar{E}_j$ – вектора напряженности электрического поля $j = x, y, z$, $\bar{\psi}$ – потенциал электрического поля, ρ – плотность неоднородного пьезокерамического материала, C_{jk}^E – упругие

постоянные (модули упругости) при постоянном (нулевом) электрическом поле, ϵ_j^s , $j=1,3$ – диэлектрические проницаемости при постоянной (нулевой) деформации, e_{31}, e_{13}, e_{33} – пьезомодули керамики (пьезокерамические постоянные).

Для решения сформулированной задачи представим искомые величины в виде произведений:

$$\begin{aligned}\bar{Q}(x, y, z, t) &= Q(x, y, z)e^{i\omega t}, \\ \bar{Q} &= \{\bar{u}_x, \bar{\sigma}_{xx}, \bar{\sigma}_{yy}, \bar{D}_x, \bar{E}_x, \bar{\psi}\} \quad (x, y, z).\end{aligned}\quad (1.6)$$

В уравнениях и соотношениях (1.2)-(1.5) перейдем к безразмерным координатам и безразмерным перемещениям по формулам:

$$\xi = \frac{x}{l}, \quad \eta = \frac{y}{l}, \quad \zeta = \frac{z}{h}, \quad U = \frac{u_x}{l}, \quad V = \frac{u_y}{l}, \quad W = \frac{u_z}{l}, \quad \varepsilon = \frac{h}{l} \quad (1.7)$$

одновременно обозначим

$$\varphi = \frac{\bar{\psi}}{h}. \quad (1.8)$$

Получим сингулярно возмущенную геометрически малым параметром ε систему уравнений и соотношений

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \rho \omega^2 h^2 u = 0, \quad (x, y, z; \xi, \eta, \zeta; u, v, w) \quad (1.9)$$

$$\frac{\partial D_x}{\partial \xi} + \frac{\partial D_y}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial D_z}{\partial \zeta} = 0,$$

$$\sigma_{xx} = C_{11}^\varepsilon \frac{\partial U}{\partial \xi} + C_{12}^\varepsilon \frac{\partial V}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} C_{13}^\varepsilon \frac{\partial W}{\partial \zeta} + e_{31} \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta},$$

$$\sigma_{yy} = C_{12}^\varepsilon \frac{\partial U}{\partial \xi} + C_{11}^\varepsilon \frac{\partial V}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} C_{13}^\varepsilon \frac{\partial W}{\partial \zeta} + e_{31} \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta},$$

$$\sigma_{zz} = C_{13}^\varepsilon \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{\partial V}{\partial \eta} \right) + \varepsilon^{-1} C_{33}^\varepsilon \frac{\partial W}{\partial \zeta} + e_{33} \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta},$$

$$\sigma_{xz} = C_{44}^\varepsilon \left(\frac{\partial W}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial U}{\partial \zeta} \right) + \varepsilon e_{15} \frac{\partial \varphi}{\partial \xi}, \quad \sigma_{yz} = C_{44}^\varepsilon \left(\frac{\partial W}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial V}{\partial \zeta} \right) + \varepsilon e_{15} \frac{\partial \varphi}{\partial \eta},$$

$$\sigma_{xy} = \frac{1}{2} (C_{11}^\varepsilon - C_{12}^\varepsilon) \left(\frac{\partial U}{\partial \eta} + \frac{\partial V}{\partial \xi} \right), \quad D_x = -\varepsilon \varepsilon_{11}^s \frac{\partial \varphi}{\partial \xi} + e_{15} \left(\frac{\partial W}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial U}{\partial \zeta} \right), \quad (1.10)$$

$$D_y = -\varepsilon \varepsilon_{11}^s \frac{\partial \varphi}{\partial \eta} + \left(\frac{\partial W}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial V}{\partial \zeta} \right), \quad D_z = -\varepsilon_{33}^s \frac{\partial \varphi}{\partial \zeta} + e_{31} \left(\frac{\partial U}{\partial \xi} + \frac{\partial V}{\partial \eta} \right) + \varepsilon^{-1} e_{33} \frac{\partial W}{\partial \zeta}.$$

Решение сингулярно возмущенной системы уравнений (1.9) при учете (1.10) складывается из решения внутренней задачи и сопряженного с ним решения задачи пограничного слоя. Здесь ограничимся построением решения внутренней задачи.

Решение внутренней задачи ищем в виде асимптотического разложения [1.4]

$$Q(\xi, \eta, \zeta) = \varepsilon^{\chi_Q} \sum_{s=0}^N \varepsilon^s Q^{(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad (1.11)$$

где $\chi_\sigma = \chi_\varphi = -1$ для всех напряжений и потенциала электрического поля, $\chi_U = 0$ для всех перемещений.

Подставив (1.11) в систему уравнений (1.9), соотношения (1.10) и приравняв коэффициенты при ε^s в левых и правых частях, получим следующие системы разрешающих уравнений и соотношений состояния:

$$\frac{\partial^2 U^{(s)}}{\partial \zeta^2} + \alpha^2 U^{(s)} = R_U^{(s)}, \quad \frac{\partial^2 V^{(s)}}{\partial \zeta^2} + \alpha^2 V^{(s)} = R_V^{(s)}, \quad \frac{\partial^2 W^{(s)}}{\partial \zeta^2} + \beta^2 W^{(s)} = R_W^{(s)}, \quad (1.12)$$

$$e_{33} \frac{\partial^2 W^{(s)}}{\partial \zeta^2} - \varepsilon_{33}^S \frac{\partial^2 \varphi^{(s)}}{\partial \zeta^2} = R_\varphi^{(s)},$$

$$\alpha^2 = \rho \omega^2 h^2 / C_{44}^E, \quad \beta^2 = \varepsilon_{33}^S \rho \omega^2 h^2 / (C_{33}^E \varepsilon_{33}^S + e_{33}^2),$$

$$\sigma_{xx}^{(s)} = C_{13}^E \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} + e_{31} \frac{\partial \varphi^{(s)}}{\partial \zeta} + \sigma_{xx}^{(s)*}, \quad \sigma_{yy}^{(s)} = C_{13}^E \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} + e_{31} \frac{\partial \varphi^{(s)}}{\partial \zeta} + \sigma_{yy}^{(s)*}, \quad (1.13)$$

$$\sigma_{zz}^{(s)} = C_{33}^E \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} + e_{33} \frac{\partial \varphi^{(s)}}{\partial \zeta} + \sigma_{zz}^{(s)*}, \quad \sigma_{xz}^{(s)} = C_{44}^E \frac{\partial U^{(s)}}{\partial \zeta} + \sigma_{xz}^{(s)*}, \quad \sigma_{yz}^{(s)} = C_{44}^E \frac{\partial V^{(s)}}{\partial \zeta} + \sigma_{yz}^{(s)*},$$

$$\sigma_{xy}^{(s)} = \sigma_{xy}^{(s)*}, \quad D_x^{(s)} = e_{15} \frac{\partial U^{(s)}}{\partial \zeta} + D_x^{(s)*}, \quad D_y^{(s)} = e_{15} \frac{\partial V^{(s)}}{\partial \zeta} + D_y^{(s)*},$$

$$D_z^{(s)} = e_{33} \frac{\partial W^{(s)}}{\partial \zeta} - \varepsilon_{33}^S \frac{\partial \varphi^{(s)}}{\partial \zeta} + D_z^{(s)*},$$

где

$$\begin{aligned} R_U^{(s)} &= -\frac{1}{C_{44}^E} \left[\frac{\partial \sigma_{xx}^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{yy}^{(s-1)}}{\partial \eta} + C_{44}^E \frac{\partial^2 W^{(s-1)}}{\partial \xi \partial \zeta} + e_{15} \frac{\partial^2 \varphi^{(s-1)}}{\partial \xi \partial \zeta} \right], \\ R_V^{(s)} &= -\frac{1}{C_{44}^E} \left[\frac{\partial \sigma_{yy}^{(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial \sigma_{xx}^{(s-1)}}{\partial \xi} + C_{44}^E \frac{\partial^2 W^{(s-1)}}{\partial \eta \partial \zeta} + e_{15} \frac{\partial^2 \varphi^{(s-1)}}{\partial \eta \partial \zeta} \right], \\ R_W^{(s)} &= \frac{\varepsilon_{33}^S R_\varphi^{(s-1)} + e_{33} R_\varphi^{(s-1)}}{C_{33}^E \varepsilon_{33}^S + e_{33}^2}, \quad R_\varphi^{(s)} = -\frac{\partial D_x^{(s-1)}}{\partial \xi} - \frac{\partial D_y^{(s-1)}}{\partial \eta} - e_{31} \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right), \\ R_\varphi^{*(s)} &= -\frac{\partial \sigma_{xx}^{(s-1)}}{\partial \xi} - \frac{\partial \sigma_{yy}^{(s-1)}}{\partial \eta} - C_{13}^E \frac{\partial}{\partial \zeta} \left(\frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right), \\ \sigma_{xx}^{(s)*} &= C_{11}^E \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + C_{12}^E \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta}, \quad \sigma_{yy}^{(s)*} = C_{12}^E \frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + C_{11}^E \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta}, \end{aligned} \quad (1.14)$$

$$\begin{aligned}\sigma_{xz}^{(s)} &= C_{13}^E \left(\frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right), \quad \sigma_{yz}^{(s)} = C_{44}^E \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \xi} + e_{15} \frac{\partial \varphi^{(s-1)}}{\partial \xi}, \\ \sigma_{yz}^{(s)} &= C_{44}^E \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \eta} + e_{15} \frac{\partial \varphi^{(s-1)}}{\partial \eta}, \quad \sigma_{xy}^{(s)} = \frac{1}{2} (C_{11}^E - C_{12}^E) \left(\frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \xi} \right), \\ D_x^{(s)} &= -\varepsilon_{11}^s \frac{\partial \varphi^{(s-1)}}{\partial \xi} + e_{15} \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \xi}, \quad D_y^{(s)} = -\varepsilon_{11}^s \frac{\partial \varphi^{(s-1)}}{\partial \eta} + e_{15} \frac{\partial W^{(s-1)}}{\partial \eta}, \\ D_z^{(s)} &= e_{31} \left(\frac{\partial U^{(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial V^{(s-1)}}{\partial \eta} \right), \quad Q^{(m)} \equiv 0, \quad Q^{(m)} \equiv 0 \text{ при } m < 0.\end{aligned}$$

Решение краевой задачи. Общим решением системы разрешающих уравнений (1.12) будет

$$U^{(s)} = P_{1U}^{(s)}(\xi, \eta) \sin \alpha \zeta + P_{2U}^{(s)}(\xi, \eta) \cos \alpha \zeta + I_U^{(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad (u, v, w, \alpha, \beta), \quad (1.15)$$

$$\varphi^{(s)} = P_{1\varphi}^{(s)}(\xi, \eta) \zeta + P_{2\varphi}^{(s)}(\xi, \eta) + \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^s} W^{(s)} + I_\varphi^{(s)}(\xi, \eta, \zeta),$$

где

$$I_\varphi^{(s)} = -\frac{1}{\varepsilon_{33}^s} \int_0^\zeta d\beta \int_0^\beta R_\varphi^{(s)}(\xi, \eta, \tau) d\tau,$$

$$I_U^{(s)}(\zeta) = \frac{1}{\alpha} \int_0^\zeta R_U^{(s)}(\xi, \eta, \zeta) \sin(\alpha - \tau) d\tau, \quad (u, v, w, \alpha, \beta).$$

Общее решение (1.15), (1.16) содержит восемь функций интегрирования $P_k^{(s)}$, $k = 1, 2$; $j = U, V, W, \varphi$ которые однозначно определяются после удовлетворения граничным условиям (1.1) при учете (1.6). Удовлетворив этим условиям для амплитуд компонентов вектора перемещения, получим:

$$P_{1U}^{(s)} = \frac{U^{+(s)}(\xi, \eta) - U^{-s}(\xi, \eta) - I_U^{(s)}(\zeta = 1) + I_U^{(s)}(\zeta = -1)}{2 \sin \alpha}, \quad (1.17)$$

$$P_{2U}^{(s)} = \frac{U^{+(s)}(\xi, \eta) + U^{-s}(\xi, \eta) - I_U^{(s)}(\zeta = 1) - I_U^{(s)}(\zeta = -1)}{2 \cos \alpha},$$

$$U^{\pm(0)} = u_z^\pm / l, \quad U^{\pm(s)} \neq 0, \quad s \neq 0, \quad (u, v, w, \alpha, \beta; x, y, z),$$

А для потенциала электрического поля получаем

$$\psi = \left(P_{1\varphi}^{(s)} \zeta + P_{2\varphi}^{(s)} + \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^s} W^{(s)} + I_\varphi^{(s)} \right) h, \quad (1.18)$$

где

$$P_{1\varphi}^{(s)} = \frac{V_0}{l} - \frac{1}{2} \left(\frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^s} (W^{(s)}(\zeta = 1) - W^{(s)}(\zeta = -1)) + I_\varphi^{(s)}(\zeta = 1) - I_\varphi^{(s)}(\zeta = -1) \right), \quad (1.19)$$

$$P_{2\varphi}^{(s)} = -\frac{1}{2} \left(\frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^s} (W^{(s)}(\zeta = 1) + W^{(s)}(\zeta = -1)) + I_\varphi^{(s)}(\zeta = 1) + I_\varphi^{(s)}(\zeta = -1) \right).$$

На основе решения (1.17), (1.18) можно сделать важнейший вывод: в исходном приближении на значение потенциала электрического поля влияет

лишь нормальное перемещение. Отметим еще один примечательный факт — решение внутренней задачи (для слоя) полностью однозначно выражается через заданные в граничных условиях (1.1) функции.

2. Рассмотрим частный случай. Пусть

$$u_j^*(x, y) = \text{const}, \quad V_0(x, y) = \text{const}, \quad j = x, y, z.$$

При $s = 0$ будем иметь:

$$\begin{aligned} P_{11}^{(0)} &= \frac{U^* - U^-}{2 \sin \alpha}, \quad P_{11'}^{(0)} = \frac{V^* - V^-}{2 \sin \alpha}, \quad P_{11''}^{(0)} = \frac{W^* - W^-}{2 \sin \beta}, \quad P_{10}^{(0)} = \frac{V_0}{l} - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (W^* - W^-), \\ P_{21}^{(0)} &= \frac{U^* + U^-}{2 \cos \alpha}, \quad P_{21'}^{(0)} = \frac{V^* + V^-}{2 \cos \alpha}, \quad P_{21''}^{(0)} = \frac{W^* + W^-}{2 \cos \beta}, \quad P_{20}^{(0)} = -\frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (W^* + W^-), \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$U^{(0)} = \frac{U^* \sin(1 + \zeta)\alpha + U^- \sin(1 - \zeta)\alpha}{\sin 2\alpha} \quad (U, V, W; \alpha, \alpha, \beta),$$

$$\varphi^{(0)} = \left(\frac{V_0}{l} - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (W^* - W^-) \right) \zeta - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (W^* + W^-) + \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^s \sin 2\beta} (W^* \sin(1 + \zeta)\beta + W^- \sin(1 - \zeta)\beta),$$

$$D_x^{(0)} = \frac{e_{13}\alpha}{\sin 2\alpha} (U^* \cos(1 + \zeta)\alpha - U^- \cos(1 - \zeta)\alpha), \quad (2.2)$$

$$D_y^{(0)} = \frac{e_{15}\alpha}{\sin 2\alpha} (V^* \cos(1 + \zeta)\alpha - V^- \cos(1 - \zeta)\alpha),$$

$$D_z^{(0)} = \frac{e_{33}}{2} (W^* - W^-) - \frac{\varepsilon_{33}^s V_0}{l},$$

$$\begin{aligned} \sigma_{xx}^{(0)} &= \sigma_{xx'}^{(0)} = \frac{C_{13}^E \beta}{\sin 2\beta} (W^* \cos(1 + \zeta)\beta - W^- \cos(1 - \zeta)\beta) + \\ &+ e_{31} \left(\left(\frac{V_0}{l} - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (W^* - W^-) \right) + \frac{e_{33}\beta}{\varepsilon_{33}^s \sin 2\beta} (W^* \cos(1 + \zeta)\beta - W^- \cos(1 - \zeta)\beta) \right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{zz}^{(0)} &= \frac{C_{33}^E \beta}{\sin 2\beta} (W^* \cos(1 + \zeta)\beta - W^- \cos(1 - \zeta)\beta) + \\ &+ e_{33} \left(\left(\frac{V_0}{l} - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (W^* - W^-) \right) + \frac{e_{33}\beta}{\varepsilon_{33}^s \sin 2\beta} (W^* \cos(1 + \zeta)\beta - W^- \cos(1 - \zeta)\beta) \right), \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$\sigma_{xz}^{(0)} = \frac{C_{34}^E \alpha}{\sin 2\alpha} (U^* \cos(1 + \zeta)\alpha - U^- \cos(1 - \zeta)\alpha),$$

$$\sigma_{yz}^{(0)} = \frac{C_{44}^E \alpha}{\sin 2\alpha} (V^* \cos(1 + \zeta)\alpha - V^- \cos(1 - \zeta)\alpha), \quad \sigma_{xy}^{(0)} = 0.$$

Учитывая (1.11), (1.6) и (1.7) получим:

$$\bar{u}_r = u_r e^{i\omega t} = U l e^{i\omega t} = l e^{i\omega t} \sum_{j=0}^N \varepsilon^j U^j \quad (x, y, z),$$

$$\bar{\psi} = \bar{\psi} e^{i\omega t} = \varphi h e^{i\omega t} = h \varepsilon^{-1} e^{i\omega t} \sum_{j=0}^N \varepsilon^j \varphi^j = l e^{i\omega t} \sum_{j=0}^N \varepsilon^j \varphi^j, \quad (2.4)$$

$$\bar{\sigma}_{xx} = \sigma_{xx} e^{i\omega t} = \varepsilon^{-1} e^{i\omega t} \sum_{j=0}^N \varepsilon^j \sigma_{xx}^j \quad (\bar{\sigma}_{xx}, \bar{\sigma}_{xy}, x, y, z).$$

При $s > 0$ $U^s, V^s, W^s, \varphi^s = 0$, следовательно, имеем точное решение:

$$\begin{aligned} \bar{u}_x &= \frac{u_z^+ \sin(1+\zeta)\alpha + u_z^- \sin(1-\zeta)\alpha}{\sin 2\alpha} e^{i\omega t} (u, v, w, \alpha, \alpha, \beta, x, y, z), \\ \bar{\psi} &= \left(\left(V_0 - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (u_z^+ - u_z^-) \right) \zeta - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (u_z^+ + u_z^-) + \frac{e_{33}}{\varepsilon_{33}^s} \frac{u_z^+ \sin(1+\zeta)\beta + u_z^- \sin(1-\zeta)\beta}{\sin 2\beta} \right) e^{i\omega t}, \\ \bar{D}_x &= \frac{e_{15}\alpha}{l \sin 2\alpha} (u_x^+ \cos(1+\zeta)\alpha - u_x^- \cos(1-\zeta)\alpha) e^{i\omega t}, \\ \bar{D}_y &= \frac{e_{15}\alpha}{l \sin 2\alpha} (u_y^+ \cos(1+\zeta)\alpha - u_y^- \cos(1-\zeta)\alpha) e^{i\omega t}, \\ \bar{D}_z &= \frac{1}{l} \left(\frac{e_{33}}{2} (u_z^+ - u_z^-) - \varepsilon_{33}^s V_0 \right) e^{i\omega t}, \\ \bar{\sigma}_{xx} = \bar{\sigma}_{yy} &= \frac{1}{h} \left(\frac{C_{13}^E \beta}{\sin 2\beta} (u_z^+ \cos(1+\zeta)\beta - u_z^- \cos(1-\zeta)\beta) + \right. \\ &\quad \left. + e_{31} \left(\left(V_0 - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (u_z^+ - u_z^-) \right) + \frac{e_{33}\beta}{\varepsilon_{33}^s \sin 2\beta} (u_z^+ \cos(1+\zeta)\beta - u_z^- \cos(1-\zeta)\beta) \right) \right) e^{i\omega t}, \\ \bar{\sigma}_{zz} &= \frac{1}{h} \left(\frac{C_{33}^E \beta}{\sin 2\beta} (u_z^+ \cos(1+\zeta)\beta - u_z^- \cos(1-\zeta)\beta) + \right. \\ &\quad \left. + e_{33} \left(\left(V_0 - \frac{e_{33}}{2\varepsilon_{33}^s} (u_z^+ - u_z^-) \right) + \frac{e_{33}\beta}{\varepsilon_{33}^s \sin 2\beta} (u_z^+ \cos(1+\zeta)\beta - u_z^- \cos(1-\zeta)\beta) \right) \right) e^{i\omega t}, \\ \bar{\sigma}_{xz} &= \frac{C_{41}^E \alpha}{h \sin 2\alpha} (u_x^+ \cos(1+\zeta)\alpha - u_x^- \cos(1-\zeta)\alpha) e^{i\omega t}, \\ \bar{\sigma}_{yz} &= \frac{C_{44}^E \alpha}{h \sin 2\alpha} (u_y^+ \cos(1+\zeta)\alpha - u_y^- \cos(1-\zeta)\alpha) e^{i\omega t}, \\ \bar{\sigma}_{xy} &= 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Институт механики НАН РА

Академик Л. А. Агаловян, Г. Л. Азатян, Р. С. Геворкян, А. М. Погосян

Об асимптотическом решении пространственной динамической задачи для
прямоугольной пьезокерамической пластинки

Асимптотическим методом решена динамическая трехмерная задача для
предварительно поляризованной пьезокерамической пластинки. На лицевых

поверхностях заданы механические (компоненты вектора перемещения) и электрические (потенциал электрического поля) граничные условия. Установлена асимптотика напряжений, потенциала электрического поля и перемещений. Определено общее решение внутренней задачи. Получено точное решение частной задачи.

Ակադեմիկոս Լ. Ա. Աղալովյան, Գ. Լ. Ազատյան, Ռ. Ս. Գևորգյան, Հ. Մ. Պողոսյան

Ուղղանկյուն պիեզակերամիկական սալի տարածական դինամիկական խնդրի
ասիմպտոտիկ լուծման մասին

Ասիմպտոտիկ մեթոդով լուծված է առաձգականության տեսության եռաչափ դինամիկական խնդիրը՝ նախապես բևեռացված պիեզակերամիկական սալի համար: Դիմային մակերևույթներում տրված են մեխանիկական (տեղափոխման վեկտորի բաղադրիչները) և էլեկտրական (էլեկտրական դաշտի պոտենցիալը) եզրային պայմաններ: Գտնված է ասիմպտոտիկա լարումների թենզորի բաղադրիչների, էլեկտրական դաշտի պոտենցիալի և տեղափոխման վեկտորի բաղադրիչների համար, որը հնարավորություն է տվել, բավարարելով սալի դիմային մակերևույթներում տրված եզրային պայմանները, լիովին որոշել ներքին խնդրի լուծումը: Մասնավոր դեպքի համար, երբ արտաքին ազդեցությունները հաստատուն մեծություններ են, ստացված է ճշգրիտ լուծում:

Academician L. A. Aghalovyan, G. L. Azatyan, R. S. Gevorgyan, H. M. Poghosyan

On Asymptotic Solution of the Dynamic 3D Problem for Rectangular Piezoceramical
Plate

The solution of the dynamic 3D problem for rectangular piezoceramical plate, when displacements and potential of electrical field, are set on the faces of the plate is obtained by the asymptotic solution. The asymptotics of stresses, potential and displacements, determining the general solution of inner problem, is established. The exact solution of particular problem is obtained.

Литература

1. Агаловян Л.А. - Межвуз. сб. «Механика». Изд-во ЕГУ. 1982. Вып.2. С. 7-12.
2. Агаловян Л.А. - Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. 1997. 414 с.
3. Агаловян Л.А., Геворкян Р.С. - Неклассические краевые задачи анизотропных слоистых балок, пластин и оболочек. Ереван. Изд-во "Гитутюн" ИАН Армении. 2005. 468 с.

4. Агиловян Л.А. - Изв. вузов РФ. Северо-Кавказский регион. Естеств. науки. 2000. N3. С. 8-11.
5. Гринченко В.Т., Улитко А.Ф., Шульга Н.А. Механика связанных полей в элементах конструкций. Т.5. Электроупругость. Киев. Наукова думка, 1989. 280 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М. Наука. 1982. 624 с.
7. Партон В.З., Кудрявцев Б.А. Электромагнитоупругость пьезоэлектрических электропроводных тел. М. Наука. 1988. 472 с.
8. Рогачева Н.Н. - Изв. АН АрмССР. Механика. 1981. Т. 34. N1. С. 55-64.
9. Бардзокас Д.И., Кудрявцев Б.А., Сеник Н.А. Распространение волн в электромагнитоупругих средах. М. Едиториал УРСС. 2003. 366 с.

УДК 539.3

K. B. Ghazaryan, D. G. Piliposyan

Love Waves in a Structure with an Inhomogeneous Layer

(Submitted by academician S.A. Ambartsumian 2/XI 2010)

Keywords: *shear surface waves, inhomogeneous layer, Love waves*

Introduction. Earthquakes cause at least two types of surface waves, one characterised by elliptical in-plane particle displacements, and the other (more destructive type) by transverse shear displacements. Love [1] proposed a simple model of the Earth that assumed a thin crust rigidly bonded onto a semi-infinite substrate, the crust and substrate both being isotropic, linear elastic solids. In this structure a horizontal shear wave can propagate with an amplitude that decays rapidly with depth in the substrate. This localization of the amplitude makes surface waves a subject of great interest in many applications, because the energy spreads mainly in two dimensions, unlike bulk waves where the energy spreads in three dimensions. Over the years Love's result were generalised to include anisotropy, inhomogeneity, piezoelectric coupling [2-6].

Stoneley [7] studied the problem of the propagation of Love-type waves in a homogeneous finite layer sandwiched between two isotropic semi-infinite half-spaces. He showed that if the wave length is not too large or the thickness of the middle layer not too thin, such waves can propagate in this structure. The case of an inhomogeneous finite layer sandwiched between two semi-infinite half spaces where the rigidity and density of the middle layer vary exponentially across the layer has been considered in [8]. The objective of this paper is to study the inhomogeneous problem where the transverse variations in the material properties of the intermediate layer follow different relationships.

1. Statement of the problem. Consider an elastic inhomogeneous layer $0 < y < h$ (medium 0) sandwiched between two half spaces $-\infty < y < 0$ (medium 1) and $h < y < \infty$ (medium 2). We consider an antiplane problem and assume without

loss of generality that waves propagate along the positive direction of the x -axis and the y -axis is directed positively into medium 2. The elastic displacements are directed along the Oz direction and are functions of x, y and t alone. It is assumed that the material properties change slowly with y and all material parameters have the same functional variation:

$$\mu(y) = \mu_0 f(y), \quad \rho(y) = \rho_0 f(y). \quad (1)$$

The governing equations in this case are [1]

$$\mu_1 \nabla^2 w^{(1)} = \rho_1 \frac{\partial^2 w^{(1)}}{\partial t^2}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu(y) \frac{\partial w^{(0)}}{\partial y} \right) + \mu(y) \frac{\partial^2 w^{(0)}}{\partial x^2} = \rho(y) \frac{\partial^2 w^{(0)}}{\partial t^2}, \quad (3)$$

$$\mu_2 \nabla^2 w^{(2)} = \rho_2 \frac{\partial^2 w^{(2)}}{\partial t^2}, \quad (4)$$

where $w^{(1)}, w^{(0)}, w^{(2)}$ are the z -displacements in media 1, 0 and 2 respectively, $\mu_1, \mu(y), \mu_2$ are the shear moduli, $\rho_1, \rho(y), \rho_2$ the mass densities, and $\nabla^2 = \partial/\partial x^2 + \partial/\partial y^2$. We introduce a new function $w_0(x, y, t)$ such that

$$w^{(0)} = \frac{w_0(x, y, t)}{\sqrt{f(y)}}. \quad (5)$$

From (5), equation (3) takes the following form with respect to the function w_0

$$\mu_0 \Delta w_0 - \mu_0 \frac{\sqrt{f(y)}''}{\sqrt{f(y)}} w_0 = \rho_0 \frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2}. \quad (6)$$

Here we suppose that the inhomogeneity is such that the function $f(y)$ satisfies the following condition

$$\frac{\partial_{y,y}(\sqrt{f(y)})}{\sqrt{f(y)}} = a^2 = \text{const}. \quad (7)$$

2. Inhomogeneous layer when a in (7) is real. When a is real, from (7) the function $f(y)$ can be written

$$f(y) = \left[A \cosh\left(\frac{\beta y}{h}\right) + B \sinh\left(\frac{\beta y}{h}\right) \right]^2, \quad (8)$$

where $\beta = ah$ is a dimensionless parameter. We consider a particular case of [8] when the function $f(y)$ is taken as

$$f(y) = \cosh^2\left(\frac{\beta y}{h}\right). \quad (9)$$

In this case equation (6) for the inhomogeneous layer takes the following form

$$\Delta w_0 - \frac{\beta^2}{h^2} w_0 = \frac{\rho_0}{\mu_0} \frac{\partial^2 w_0}{\partial t^2}. \quad (10)$$

The solutions for (2), (4) and (10) attenuating when $y \rightarrow \pm\infty$ can be presented in the following way:

$$w^{(1)}(x, y, t) = C_1 e^{-kqy} e^{ik(x-ct)}, \quad (11)$$

$$w_0(x, y, t) = [C_2 \cos(kpy) + C_3 \sin(kpy)] e^{ik(x-ct)}, \quad (12)$$

$$w^{(2)}(x, y, t) = C_4 e^{kr y} e^{ik(x-ct)}, \quad (13)$$

where

$$q = \sqrt{1 - \frac{c^2}{c_1^2}}, \quad r = \sqrt{1 - \frac{c^2}{c_2^2}}, \quad p = \sqrt{\frac{c^2}{c_0^2} - 1 - \frac{\beta^2}{\xi^2}}, \quad (14)$$

k is the wave number, $c = \omega/k$ is the surface wave phase velocity, $c_i^2 = \mu_i/\rho_i$ ($i = 1, 0, 2$) are the shear wave velocities in the corresponding media, and $\xi^2 = k^2 h^2$.

Boundary conditions for the continuity of the stresses and displacements are:

1. at $y = h$

$$w^{(1)} = w_0, \quad \mu_1 \frac{dw^{(1)}}{dy} = \mu_0 f(y) \frac{dw_0}{dy}, \quad (15)$$

2. at $y = 0$

$$w^{(2)} = w_0, \quad \mu_2 \frac{dw^{(2)}}{dy} = \mu_0 f(y) \frac{dw_0}{dy}. \quad (16)$$

2.1 Propagation of surface waves with a sinusoidally varying amplitude in the inhomogeneous layer. It follows from (11) and (13) that a surface wave with an amplitude that varies sinusoidally across the inhomogeneous layer and decays to zero as $y \rightarrow \pm\infty$ propagates if $p^2 > 0$ and the following conditions take place:

$$c_0 \sqrt{\frac{\beta^2}{\xi^2} + 1} < c < \min\{c_1, c_2\}. \quad (17)$$

Substitution of solutions (11)-(13) into the boundary conditions (15) and (16) leads to the system of equations for determining the unknown constants. The solvability condition gives the following dispersion equations for defining the phase velocity of the surface wave:

$$\tan(\xi p) = \frac{\mu_{20} \xi p r \cosh(\beta) + \mu_{10} \xi p q \operatorname{sech}(\beta) - p \beta \sinh(\beta)}{\xi p^2 \cosh(\beta) - \mu_{10} \mu_{20} \xi q r \operatorname{sech}(\beta) + \mu_{20} r \beta \sinh(\beta)}, \quad (18)$$

where $\mu_{10} = \mu_1/\mu_0$ and $\mu_{20} = \mu_2/\mu_0$. To investigate the existence of roots of the dispersion equation (18) we rewrite it in the following form

$$F(c) = \frac{\tan(\xi p)}{p} - \frac{\mu_{20}\tau + d}{p^2 - \mu_{20}\tau d} = 0, \quad d = \mu_{10}q \operatorname{sech}^2(\beta) - \frac{\beta}{\xi} \tanh(\beta). \quad (19)$$

First assume that $c_2 < c_1$. Then when $c = c_m$ where $c_m = c_0\sqrt{(\beta/\xi)^2 + 1}$ then $p = 0$, $F(c_m) = -\xi\mu_{20}\tau d - \mu_{20}\tau - d$ and for a sufficiently small value of β the expression for d in (19) can be made positive. Since q and τ are positive $F(c_m) < 0$. When $c = c_2$ ($\tau = 0$) the value of $F(c)$ becomes positive if $\tan(\xi p) > d/p$. Hence for sufficiently large ξ there is a root of equation (18) between c_m and c_2 .

If $0 < \xi p < \pi/2$ then for the whole interval (17) $\tan(\xi p)$ is increasing. Since $\frac{p(\mu_{20}\tau + d)}{p^2 - \mu_{20}\tau d}$ is decreasing and at $c = c_2$ has the value d/p , if $\tan(\xi p) < d/p$ the dispersion equation (18) has no roots.

If $c_0\sqrt{(\beta/\xi)^2 + 1} < c < c_1 < c_2$ then $F(c)$ is negative at $c = c_m$. At $c = c_1$ the value of $F(c)$ is positive if $\tan(\xi p) > g$, where

$$g = \frac{p(\mu_{20}\tau - (\beta/\xi)\tanh(\beta))}{(p^2 + \mu_{20}\tau(\beta/\xi)\tanh(\beta))}. \quad (20)$$

Hence for sufficiently large ξ the dispersion equation (19) has a root between c_m and c_1 . If within the interval $c_0\sqrt{(\beta/\xi)^2 + 2} < c < c_1$, ξ is such that $\xi p < \pi/2$, and at $c = c_1$, $\tan(\xi p) < g$, then there is no root and Love-type waves do not propagate.

2.2. Propagation of surface waves with a non-sinusoidally varying amplitude in the inhomogeneous layer. If a surface wave propagates when $p^2 = -p_0^2$, where $p_0 = \sqrt{1 + (\beta/\xi)^2 - c^2/c_0^2}$, its amplitude will vary non-sinusoidally in the middle layer and will have a velocity $c < c_0\sqrt{(\beta/\xi)^2 + 1}$ and $c < \min\{c_1, c_2\}$. The dispersion equation in this case takes the following form

$$\tanh(\xi p_0) = -\frac{\mu_{20}\xi p_0\tau \operatorname{Cosh}(\beta) + \mu_{10}\xi p_0q \operatorname{Sech}(\beta) - p_0\beta \operatorname{Sinh}(\beta)}{\xi p_0^2 \operatorname{Cosh}(\beta) + \mu_{10}\mu_{20}\xi q\tau \operatorname{Sech}(\beta) - \mu_{20}\tau\beta \operatorname{Sinh}(\beta)}. \quad (21)$$

It can be seen from (21) that when $\beta = 0$ the surface wave does not propagate in the structure with a homogeneous layer. However the detailed numerical analysis shows that when $\beta \neq 0$ the dispersion equation may have a single solution if

$$c_0 < \min\{c_1, c_2\} \text{ and } \left(\frac{\beta}{\xi}\right)^2 > \left(\frac{\min(c_1, c_2)}{c_0}\right)^2 - 1. \quad (22)$$

If $c_0 < \min\{c_1, c_2\}$ but also $\left(\frac{\beta}{\xi}\right)^2 \leq \left(\frac{\min(c_1, c_2)}{c_0}\right)^2 - 1$ the dispersion equation (21) has no roots. If $c_0 \geq \min\{c_1, c_2\}$ the dispersion equation has no solutions for all values of β and ξ .

The numerical results show (Table 1, Table 2) that for all given values of β and ξ a surface wave with either sinusoidally or non-sinusoidally varying amplitude in the inhomogeneous layer exists.

3. Inhomogeneous layer when a in (7) is imaginary. Assuming now that the parameter a in (7) is imaginary, writing $a^2 = -\beta^2/h^2$ and supposing that $\beta < \frac{\pi}{2}$ and $f(y) = \cos^2\left(\frac{\beta y}{h}\right)$, for a surface wave with a sinusoidally varying amplitude in the inhomogeneous layer and attenuating for $y \rightarrow \pm\infty$ the following conditions must take place:

$$c_0 \sqrt{1 - \frac{\beta^2}{\xi^2}} < c < \min\{c_1, c_2\}. \quad (23)$$

The dispersion equation takes the following form:

$$\tan(\xi p) = \frac{G_{20}\xi p r \cos(\beta) + G_{10}\xi p q \sec(\beta) + p\beta \sin(\beta)}{\xi p^2 \cos(\beta) - G_{10}G_{20}\xi q r \sec(\beta) - G_{20}r\beta \sin(\beta) - G_{20}r\beta \sin(\beta)}, \quad (24)$$

or

$$F(c) = \frac{\tan(\xi p)}{p}(p^2 - \mu_{20}rs) - \mu_{20}r - s = 0, \quad s = \mu_{10}q \sec^2(\beta) + \frac{\beta}{\xi} \tan(\beta). \quad (25)$$

If $c_2 > c_1$ and $c = c_m = c_0 \sqrt{1 - (\beta/\xi)^2}$ such that $p = 0$, then for all values of β for which $\tan(\beta) > 0$, $s > 0$ and since q and r are positive then $F(c_m) < 0$. At $c = c_2$, $F(c) > 0$ if $\tan(\xi p) > s/p$. This means there is a root for dispersion equation (26) between c_m and c_2 if ξ is made sufficiently large.

If ξ is so small that for the whole interval $c_0 < c < c_2$, $\xi p < \pi/2$, and at $c = c_2$, $\tan(\xi p) < s/p$ then the dispersion equation (26) has no roots.

If $c_0 \sqrt{1 - \beta^2/\xi^2} < c < c_1 < c_2$ then $F(c)$ is negative when $p = 0$ at $c = c_m$, and when $c = c_1$, $F(c)$ is positive if $\tan(\xi p) > b$, where

$$b = \frac{p(\mu_{20}r + (\beta/\xi)\tan(\beta))}{(p^2 - \mu_{20}r(\beta/\xi)\tan(\beta))}.$$

Therefore, there are values of ξ for which the dispersion equation (26) has a root between c_m and c_1 . If within the interval $c_0 < c < c_1$, ξ is so small that $\xi p < \pi/2$ and at $c = c_1$, $\tan(\xi p) < b$, then there will be no root. Consequently, no Love-type wave will exist.

If $p^2 = -p_0^2$, where $p_0 = \sqrt{1 + (\beta/\xi)^2 - c^2/c_0^2}$, the following dispersion equation is obtained for the surface wave with a non-sinusoidally varying amplitude in the middle layer:

$$\tan(\xi p) = -\frac{\mu_{20}\xi p_0 r \cos(\beta)^2 + p_0\beta \sin(\beta)\cos(\beta) + \mu_{10}\xi p_0 q}{\xi p_0^2 \cos(\beta)^2 + \mu_{20}r\beta \sin(\beta)\cos(\beta) + \mu_{10}\mu_{20}\xi q r}. \quad (26)$$

Since the left hand side of the this equation is always positive and the right hand side always negative such waves do not exist.

4. Numerical results. Roots of the dispersion equation (19) have been calculated using the following values of the elastic constants and densities ($c_1(10^3m/s), \rho_1(10^3kg/m^3), \mu_1(10^{10}N/m^2)$).

1. $f(y) = cosh^2(\beta y/h)$
a) $c_2 < c_1$: $c_1 = 3.32, \rho_1 = 7.67, \mu_1 = 8.45, c_2 = 1.48, \rho_2 = 19.3, \mu_2 = 4\ 24, c_0 = 1.2, \rho_0 = 1.19, \mu_0 = 0.17$.

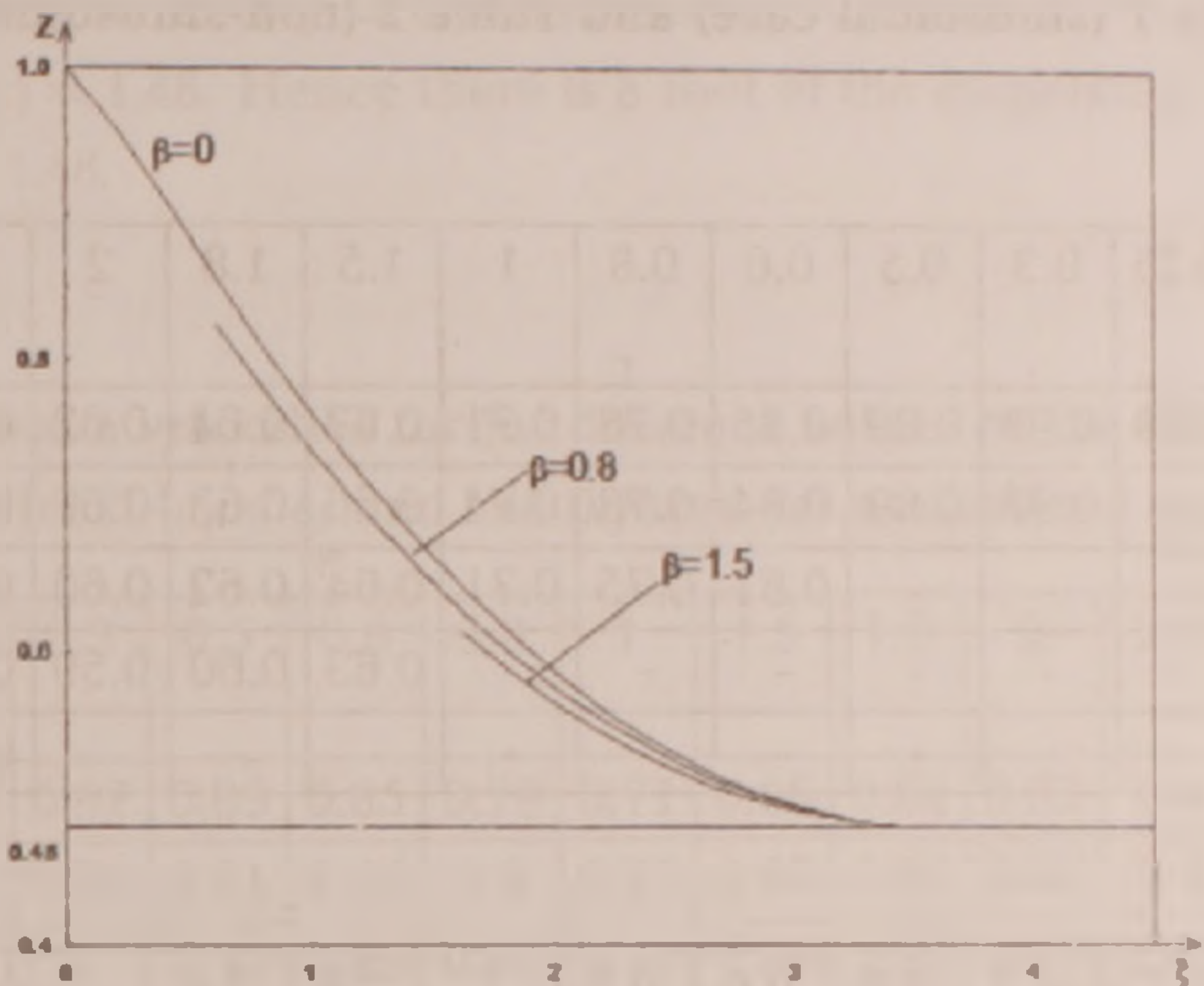


Fig. 1. Surface wave velocities for different values of the parameter β , for $f(y) = cosh^2(\beta y/h), z = c/c_2$.

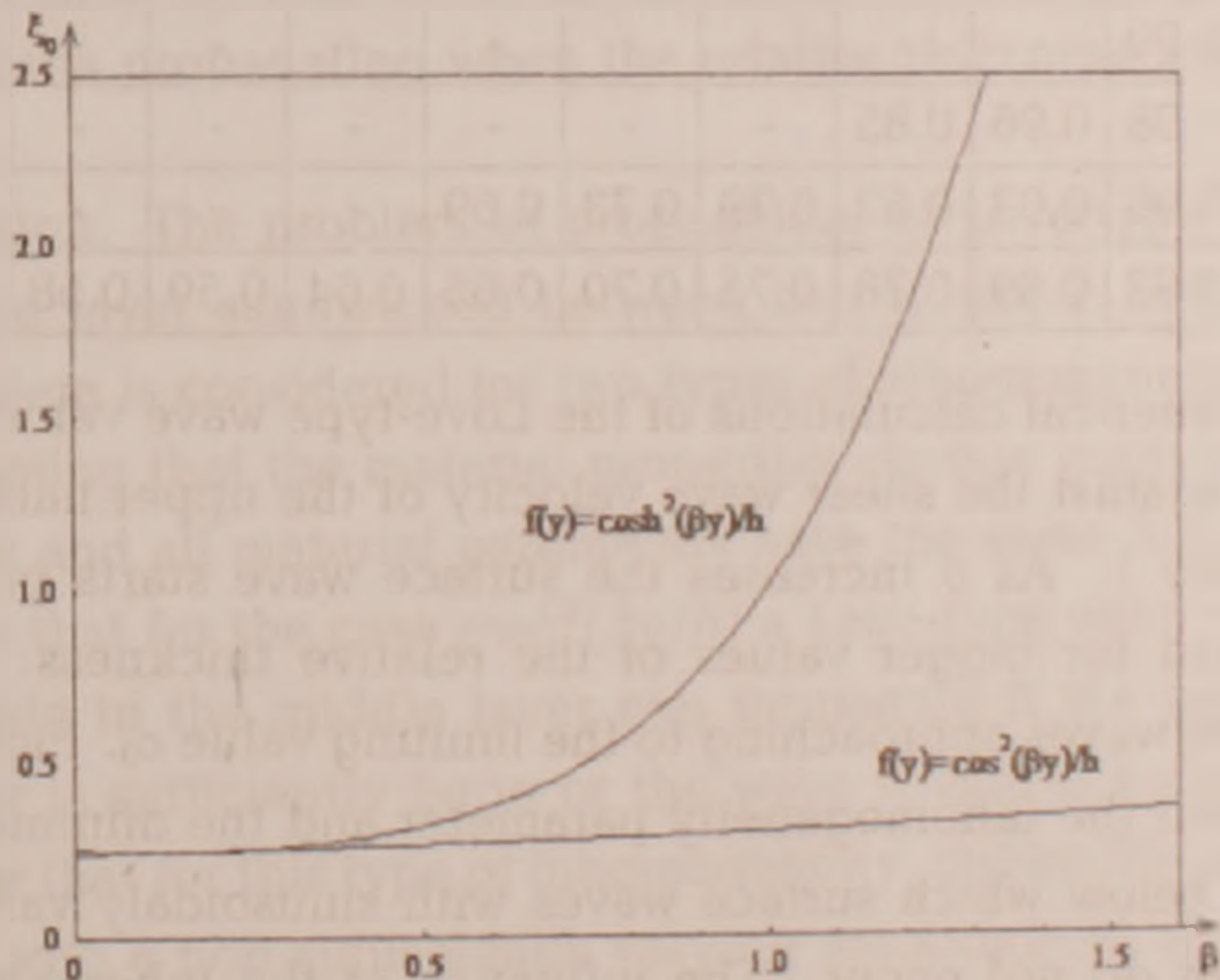


Fig.2.The dependence of β on the minimum value of the relative thickness of the middle layer below which surface waves do not occur.

Taking $\beta = 0.8$ and $\xi = 2.4$ gives $p = 0, c = c_m = 1.26$ and $F(c_m) = -820.7$. At $c = c_2, F(c) = 0.66$. This means that the dispersion equation (19) has a root between

$c = c_m$ and $c = c_2$.

b) $c_2 > c_1$: $c_1 = 1.48$, $\rho_1 = 19.3$, $\mu_1 = 4.24$, $c_2 = 3.32$, $\rho_2 = 7.67$, $\mu_2 = 8.45$, $c_0 = 1.2$, $\rho_0 = 1.19$, $\mu_0 = 0.17$.

If $\beta = 0.8$ and $\xi = 2.4$, $c = c_m = 1.26$ and $F(c) = -817$. At $c = c_1 = 1.48$, $F(c) = 573.4$. Hence there is a root of the dispersion equation between $c = c_m$ and $c = c_1$.

The dependence of the phase velocity on the relative thickness of the middle layer Table 1 (sinusoidal case) and Table 2 (non-sinusoidal case)

Table 1

ξ β	0.25	0.3	0.5	0.6	0.8	1	1.5	1.8	2	∞
0	0.99	0.98	0.89	0.85	0.78	0.71	0.67	0.64	0.62	0.48
0.5	-	0.97	0.89	0.84	0.78	0.74	0.66	0.63	0.62	0.48
0.8	-	-	-	0.81	0.75	0.71	0.64	0.62	0.60	0.48
1.05	-	-	-	-	-	-	0.63	0.60	0.59	0.48
1.3	-	-	-	-	-	-	-	-		0.48

Table 2

ξ β	0.25	0.3	0.5	0.6	0.8	1	1.5	1.8	2	∞
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.8	0.98	0.96	0.85	-	-	-	-	-	-	-
1.05	0.96	0.93	0.82	0.79	0.73	0.69	-	-	-	-
1.3	0.93	0.89	0.78	0.75	0.70	0.65	0.64	0.59	0.58	-

The results of numerical calculations of the Love-type wave velocities of the first mode normalized against the shear wave velocity of the upper half-space ($c_2 < c_1$) are shown in Figure 1. As β increases the surface wave starts propagating with smaller velocity and for bigger values of the relative thickness. The velocities decrease for shorter waves approaching to the limiting value c_0 . Figure 2 shows the relationship between the inhomogeneity parameter and the minimum value of the relative thickness below which surface waves with sinusoidally varying amplitude in the middle layer do not occur. The influence of the inhomogeneity is much stronger when $f(y) = \cosh^2(\beta y/h)$ than for the case $f(y) = \cos^2(\beta y/h)$.

The dependence of the phase velocity of the Love-type wave on the relative thickness of the middle layer for surface waves are shown in Table 1 (sinusoidal case) and Table 2 (non-sinusoidal case). According to the tables a surface wave

with a non-sinusoidally varying amplitude cannot propagate in a homogeneous layer. With increasing inhomogeneity, surface waves with a sinusoidally varying amplitude occur for larger values of the relative thickness of the layer. For the same value of the inhomogeneity parameter a surface wave with non-sinusoidally varying amplitude always occurs for thinner middle layers.

$$2. f(y) = \cos^2(\beta y/h)$$

Here $c_2 < c_1$ and $c_1 = 3.32, \rho_1 = 7.67, \mu_1 = 8.45, c_2 = 1.48, \rho_2 = 19.3, \mu_2 = 4.24, c_0 = 1.2, \rho_0 = 1.19, \mu_0 = 1.71.$

For $\beta = 0.8, \xi = 1.85, p = 0$ when $c = c_m = 1.08$ and $F(c_m) = -3133.54$. At $c = c_2 = 1.48, F(c) = 1.48$. Hence there is a root of the dispersion equation between $c = 1.08$ and $c = 1.48$.

Table 3

Love-type wave velocities for for different values of the inhomogeneity parameter β ($c_2 < c_1$ and the figures are normalized against c_2)

ξ β	0.25	0.3	0.5	0.6	0.8	1	1.5	1.8	2	2.4	2.8	∞
0	0.99	0.97	0.89	0.85	0.79	0.71	0.66	0.64	0.62	0.6	0.58	0.48
0.5	-	0.99	0.91	0.87	0.8	0.75	0.67	0.64	0.62	0.6	0.58	0.48
1.05	-	1	0.93	0.89	0.82	0.77	0.68	0.65	0.63	0.60	0.58	0.48
1.5	-	0.97	0.88	0.84	0.77	0.73	0.65	0.62	0.61	0.59	0.57	0.48

Table 3 shows that the first mode of the Love-type wave for $f(y) = \cos^2(\beta y/h)$ almost always starts propagating when the relative thickness has the value $\xi \approx 0.3$ ($\beta < \pi/2$).

5. Conclusion. The problem of propagation of Love-type waves in an inhomogeneous finite layer sandwiched between two isotropic half spaces is investigated. The problem is considered for two types of inhomogeneity, $\cosh^2(\beta y/h)$ and $\cos^2(\beta y/h)$, assuming that the material properties change gradually with the thickness of the layer and all material parameters have the same functional variation.

It is shown that for the case $\cosh^2(\beta y/h)$ a Love-type wave with a sinusoidally varying amplitude in the middle layer can propagate if the relative thickness of the middle layer is sufficiently large or the wave length is sufficiently short. The results also show that for this type of inhomogeneity, unlike the homogeneous case, a surface wave with a non-sinusoidally varying amplitude in the middle layer can also propagate. These waves occur when the middle layer is relatively thin or for longer wavelengths. Thus if for a homogeneous case a surface wave exists only for a sufficiently thick middle layer [7] here a surface wave exists for all values of the relative thickness of the middle layer.

In the case $f(y) = \cos^2(\beta y/h)$ the surface wave starts propagating almost always at the same value of the relative thickness $\xi \approx 0.3$. Thus the dependence on the inhomogeneity is weaker here. This is due to the assumption for the inhomogeneity parameter $\beta < \pi/2$ which does not allow the mechanical properties of the layer to become zero.

Institute of Mechanics of NAS RA

K. B. Ghazaryan, D. G. Piliposyan

Love Waves in a Structure with an Inhomogeneous Layer

The problem of the propagation of Love type waves in a structure consisting of a finite inhomogeneous layer sandwiched between two isotropic homogeneous half spaces is investigated. Two types of inhomogeneity are considered. It is shown that in one case the amplitude of vibrations in the middle layer is a sinusoidal function of distance from the plane of symmetry, but that in the other case it may be non-sinusoidal for certain values of the parameters of the problem.

Կ. Բ. Ղազարյան, Դ. Գ. Փիլիպոսյան

Լյավի տիպի ալիքներ անհամասեռ շերտով կառուցվածքում

Անհամասեռ շերտից եւ կից երկու առաձգական կիսափարածություններից կազմված կառուցվածքում դիտարկված է Լյավի տիպի ալիքների տարածումը: Դիտարկված է երկու տիպի անհամասեռություն: Ցույց է տրված, որ մի դեպքում հնարավոր է նաեւ Լյավի ընդհանրացված տիպի ալիքների տարածումը շերտում ոչ սինուսոիդալ փոփոխվող ամպլիտուդով:

К. Б. Казарян, Д. Г. Пилипосян

Волны Лява в структуре с неоднородным слоем

Рассмотрена задача распространения волны типа Лява в слоистой системе, состоящей из неоднородного слоя, находящегося в условиях контакта с двумя однородными подпространствами. Рассмотрено два типа неоднородностей.

References

1. Love A.E.H. - Some problems of Geodynamics. Dover, New York. 1926.
2. Maugin G. A. - In Advances in Applied Mechanics. 1983. V. 23. P. 373-434.
3. Singh B.M., Singh S.J., Chopra S.D., Gogna M.L. - J.R. Asrt. Soc. 1976, V. 45, p. 357-370.
4. Багдасарян Г.Е., Даноян З.Н. - Электромагнитоупругие волны. Ереван. Изд. ЕГУ. 2006. 492 с.
5. Белубекян М.В., Казарян К.Б. - Доклады НАН Армении. 2002. Т. 10. N4. С. 309-314.
6. Yanson Z.A. - J. Math. Sci. 1999. V. 64. N4. P. 3434-3446.
7. Stoneley R. - Proc. Roy. Soc. Series A. 1924, V. 106. P. 424.
8. Dutta S. - Pure and Applied Geophysics 1963. V. 55. N1. P. 31-36.

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Р. М. Киракосян

Об одной уточненной теории гладких ортотропных оболочек
переменной толщины

(Представлено академиком С.А. Амбарцумяном 27/X 2010)

Ключевые слова: *уточненная теория, ортотропная оболочка, переменная толщина, линейно-упругий материал*

Классической и уточненным теориям анизотропных пластин и оболочек, а также их многочисленным приложениям посвящена обширная литература ([1-13] и др.).

В настоящей статье методом представления решений в виде степенных многочленов по поперечной координате [10] строится уточненная теория гладких ортотропных оболочек переменной толщины, учитывающая влияние деформаций поперечных сдвигов. Влиянием же поперечного нормального напряжения и обжатия пренебрегается. В выражениях поперечных касательных напряжений удерживаются первые три члена, т.е. считается, что эти напряжения изменяются по толщине оболочки согласно закону квадратных парабол. С целью соблюдения корректности дифференциальных уравнений равновесия сплошной среды в выражениях основных напряжений удерживаются лишь первые два члена, обеспечивающие их линейное распределение по толщине оболочки. Это влечет за собой линейность распределения по толщине основных деформаций, а следовательно, и тангенциальных перемещений оболочки. В предлагаемой теории напряженно-деформированное состояние оболочки описывается девятью функциями, четыре из которых исключаются с помощью первых четырех условий лицевых поверхностей оболочки. Разрешающая система уравнений имеет десятый порядок. В соответствии с этим на каждом краю оболочки нужно ставить по

пять условий. Приводятся примеры наиболее часто встречающихся краевых условий.

Отметим, что без принципиальных осложнений предлагаемую теорию можно обобщить, распространив ее на случай анизотропии материала общего типа.

1. Рассмотрим гладкую оболочку, изготовленную из криволинейно-ортогодного линейно-упругого материала. Оболочку отнесем к системе криволинейных ортогональных координат α, β, γ . Координатные линии α, β совпадают с линиями главной кривизны срединной поверхности оболочки, а координатная линия γ в любой точке перпендикулярна линиям α, β и составляет с ними правую систему. Координатные линии совпадают с главными направлениями анизотропии материала. Считаем, что оболочка имеет переменную толщину $h(\alpha, \beta)$.

Пусть на оболочку действуют поверхностные нагрузки, проекции интенсивности которых на координатные линии составляют $X^\pm, Y^\pm, Z^\pm$. Здесь и в дальнейшем знаками "+" и "-" будем отмечать величины, относящиеся к лицевым поверхностям оболочки $z = +h/2$ и $-h/2$ соответственно.

Считаем, что кроме поверхностных сил действует еще и объемная сила произвольного характера с проекциями $P_\alpha, P_\beta, P_\gamma$.

Попытаемся построить теорию, способную учитывать влияние поперечных сдвигов на напряженно-деформированное состояние оболочки. При этом влияниями нормального напряжения σ_γ и деформации e_γ будем пренебрегать. Деформации оболочки будем считать настолько малыми, чтобы можно было ограничиться геометрически линейной постановкой.

Воспользуемся методом представления решений в виде степенных многочленов по поперечной координате γ . Имея в виду дифференциальные уравнения равновесия сплошной среды [2], написанные в принятой системе криволинейных координат, заключаем, что для соблюдения одинакового порядка в многочленах основных напряжений $\sigma_\alpha, \tau_{\alpha\beta}, \sigma_\beta$ следует удерживать по одному члену меньше, чем в многочленах касательных напряжений $\tau_{\alpha\gamma}, \tau_{\beta\gamma}$. Очевидно, что для построения самой простой теории в многочленах основных напряжений необходимо удерживать лишь первые два члена, т.е. принимать для этих напряжений линейные законы распределения по толщине оболочки. Это влечет за собой линейность распределения по толщине основных деформаций $e_\alpha, e_{\alpha\beta}, e_\beta$, а следовательно, и тангенциальных перемещений u_α, u_β . Тогда на основе вышесказанного в многочленах напряжений $\tau_{\alpha\gamma}, \tau_{\beta\gamma}$ следует удерживать по три члена. Итак, в качестве основной гипотезы примем:

$$\tau_{\alpha\gamma} = \varphi_1 + \gamma\varphi_2 + \gamma^2\varphi_3, \quad \tau_{\beta\gamma} = \psi_1 + \gamma\psi_2 + \gamma^2\psi_3. \quad (1.1)$$

Здесь φ_i и ψ_i — искомые функции только координат α, β .

Нетрудно заметить, что для соблюдения корректности дифференциальных уравнений равновесия сплошной среды следует для распределения объемной силы по толщине оболочки принимать линейную аппроксимацию.

С учетом (1.1) геометрически линейных соотношений [2] и обобщенного закона Гука ортотропного тела имеем

$$\begin{aligned} (1 + k_1\gamma) \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{u_\alpha}{1 + k_1\gamma} \right) + \frac{1}{A(1 + k_1\gamma)} \frac{\partial w}{\partial \alpha} &= a_{55}(\varphi_1 + \gamma\varphi_2 + \gamma^2\varphi_3), \\ (1 + k_2\gamma) \frac{\partial}{\partial \gamma} \left(\frac{u_\beta}{1 + k_2\gamma} \right) + \frac{1}{B(1 + k_2\gamma)} \frac{\partial w}{\partial \beta} &= a_{44}(\psi_1 + \gamma\psi_2 + \gamma^2\psi_3). \end{aligned} \quad (1.2)$$

Считая, что

$$\frac{1}{1 + k_1\gamma} \approx 1 - k_1\gamma, \quad \frac{1}{1 + k_2\gamma} \approx 1 - k_2\gamma, \quad (1.3)$$

и интегрируя (1.2) по γ , после сохранения только линейных членов, получим

$$\begin{aligned} u_\alpha &= (1 + k_1\gamma)u - \gamma \left(\frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - a_{55}\varphi_1 \right), \\ u_\beta &= (1 + k_2\gamma)v - \gamma \left(\frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} - a_{44}\psi_1 \right). \end{aligned} \quad (1.4)$$

Здесь u, v — тангенциальные перемещения, k_1, k_2 — кривизны, A, B — коэффициенты первой квадратичной формы срединной поверхности, a_{44}, a_{55} — упругие постоянные материала оболочки. Считается, что прогиб w по толщине оболочки не меняется.

Подставляя (1.4) в геометрические соотношения и оставляя только линейные по γ члены, для основных деформаций оболочки получим

$$e_\alpha = \epsilon_1 + \gamma\kappa_1, \quad e_\beta = \epsilon_2 + \gamma\kappa_2, \quad e_{\alpha\beta} = \omega + \gamma\tau. \quad (1.5)$$

Здесь

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{1}{A} \frac{\partial u}{\partial \alpha} + \frac{1}{AB} \frac{\partial A}{\partial \beta} v + k_1 w, \\ \epsilon_2 &= \frac{1}{B} \frac{\partial v}{\partial \beta} + \frac{1}{AB} \frac{\partial B}{\partial \alpha} u + k_2 w, \\ \omega &= \frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{u}{A} \right) + \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{v}{B} \right), \\ \kappa_1 &= -\frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{1}{A} \frac{\partial w}{\partial \alpha} \right) - \frac{1}{AB^2} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial w}{\partial \beta} + \frac{1}{A} \frac{\partial k_1}{\partial \alpha} u + \\ &\quad + \frac{1}{B} \frac{\partial k_1}{\partial \beta} v - k_1^2 w + \frac{1}{AB} \left(Ba_{55} \frac{\partial \varphi_1}{\partial \alpha} + a_{44} \psi_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} \right), \\ \kappa_2 &= -\frac{1}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{1}{B} \frac{\partial w}{\partial \beta} \right) - \frac{1}{A^2 B} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{\partial w}{\partial \alpha} + \frac{1}{B} \frac{\partial k_2}{\partial \beta} v + \\ &\quad + \frac{1}{A} \frac{\partial k_2}{\partial \alpha} u - k_2^2 w + \frac{1}{AB} \left(Aa_{44} \frac{\partial \psi_1}{\partial \beta} + a_{55} \varphi_1 \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right), \end{aligned} \quad (1.6)$$

$$\begin{aligned} \tau = & -\frac{2}{AB} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial \alpha \partial \beta} - \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial \beta} \frac{\partial w}{\partial \alpha} - \frac{1}{B} \frac{\partial B}{\partial \alpha} \frac{\partial w}{\partial \beta} \right) + \\ & + (k_1 - k_2) \left[\frac{A}{B} \frac{\partial}{\partial \beta} \left(\frac{u}{A} \right) - \frac{B}{A} \frac{\partial}{\partial \alpha} \left(\frac{v}{B} \right) \right] + \frac{1}{AB} \left[a_{55} \left(A \frac{\partial \varphi_1}{\partial \beta} - \right. \right. \\ & \left. \left. - \varphi_1 \frac{\partial A}{\partial \beta} \right) + a_{44} \left(B \frac{\partial \psi_1}{\partial \alpha} - \psi_1 \frac{\partial B}{\partial \alpha} \right) \right]. \end{aligned}$$

Для основных напряжений имеем [2]

$$\sigma_\alpha = B_{11}e_\alpha + B_{12}e_\beta, \quad \sigma_\beta = B_{22}e_\beta + B_{12}e_\alpha, \quad \tau_{\alpha\beta} = B_{66}e_{\alpha\beta}. \quad (1.7)$$

Величины B_{ij} по известным формулам выражаются через упругие постоянные материала a_{ij} .

Следуя [2], для усилий и моментов оболочки получим

$$\begin{aligned} T_1 &= C_{11}\varepsilon_1 + C_{12}\varepsilon_2 + k_2(D_{11}\varepsilon_1 + D_{12}\varepsilon_2), \\ T_2 &= C_{22}\varepsilon_2 + C_{12}\varepsilon_1 + k_1(D_{22}\varepsilon_2 + D_{12}\varepsilon_1), \\ S_1 &= C_{66}\omega + k_2D_{66}\tau, \\ S_2 &= C_{66}\omega + k_1D_{66}\tau, \\ N_1 &= \frac{h}{12}[12\varphi_1 + h^2(\varphi_3 + k_2\varphi_2)], \\ N_2 &= \frac{h}{12}[12\psi_1 + h^2(\psi_3 + k_1\psi_2)], \\ M_1 &= D_{11}\varepsilon_1 + D_{12}\varepsilon_2 + k_2(D_{11}\varepsilon_1 + D_{12}\varepsilon_2), \\ M_2 &= D_{22}\varepsilon_2 + D_{12}\varepsilon_1 + k_1(D_{22}\varepsilon_2 + D_{12}\varepsilon_1), \\ H_1 &= D_{66}(\tau + k_2\omega), \quad H_2 = D_{66}(\tau + k_1\omega). \end{aligned} \quad (1.8)$$

Здесь

$$C_{ij} = B_{ij}h, \quad D_{ij} = B_{ij}\frac{h^3}{12}. \quad (1.9)$$

Поверхностные условия оболочки имеют вид:

$$\begin{aligned} \sigma_\alpha^\pm l^\pm + \tau_{\alpha\beta}^\pm m^\pm + \tau_{\alpha\gamma}^\pm n^\pm &= X^\pm, \\ \tau_{\alpha\beta}^\pm l^\pm + \sigma_\beta^\pm m^\pm + \tau_{\beta\gamma}^\pm n^\pm &= Y^\pm, \\ \tau_{\alpha\gamma}^\pm l^\pm + \tau_{\beta\gamma}^\pm m^\pm + \sigma_\gamma^\pm n^\pm &= Z^\pm. \end{aligned} \quad (1.10)$$

Здесь $l^\pm, m^\pm, n^\pm$ — направляющие косинусы внешних нормалей лицевых поверхностей оболочки $z = \pm h/2$. Они определяются формулами [2]

$$\begin{aligned} l^\pm &= -\frac{1}{2C^\pm} \frac{1}{H_1^\pm} \frac{\partial h}{\partial \alpha}, \quad m^\pm = -\frac{1}{2C^\pm} \frac{1}{H_2^\pm} \frac{\partial h}{\partial \beta}, \\ n^+ &= \frac{1}{C^+}, \quad n^- = -\frac{1}{C^-}, \end{aligned} \quad (1.11)$$

где

$$C^\pm = \sqrt{\left(\frac{1}{2H_1^\pm} \frac{\partial h}{\partial \alpha} \right)^2 + \left(\frac{1}{2H_2^\pm} \frac{\partial h}{\partial \beta} \right)^2 + 1}. \quad (1.12)$$

Здесь $H_i^\pm$ — коэффициенты Ламе

$$H_1^\pm = A \left(1 \pm \frac{h}{2} k_1 \right), \quad H_2^\pm = B \left(1 \pm \frac{h}{2} k_2 \right). \quad (1.13)$$

Из шести поверхностных условий (1.10) последние два понадобятся для определения напряжения σ_τ , влиянием которого пренебрегаем. Из первых четырех условий можно функции $\varphi_2, \varphi_3, \psi_2, \psi_3$ выразить через $u, v, w, \varphi_1, \psi_1$. Эти выражения с учетом (1.7), (1.10) и (1.11) принимают вид

$$\begin{aligned} \varphi_2 = & \frac{1}{h}(C^+ X^+ + C^- X^-) + \frac{1}{2Ah} \left\{ \frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_1} \left[B_{11} \left(\varepsilon_1 + \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_2 + \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) \right] + \right. \\ & + \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_1} \left[B_{11} \left(\varepsilon_1 - \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_2 - \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) \right] \left. \right\} \frac{\partial h}{\partial \alpha} + \\ & + \frac{B_{66}}{2Bh} \left[\frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_2} \left(\omega + \frac{h}{2} \tau \right) + \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_2} \left(\omega - \frac{h}{2} \tau \right) \right] \frac{\partial h}{\partial \beta}, \\ \varphi_3 = & \frac{2}{h^2}(C^+ X^+ - C^- X^-) - \frac{4\varphi_1}{h^2} + \frac{1}{Ah^2} \left\{ \frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_1} \times \left[B_{11} \left(\varepsilon_1 + \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) + \right. \right. \\ & + B_{12} \left(\varepsilon_2 + \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) \left. \right] - \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_1} \left[B_{11} \left(\varepsilon_1 - \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_2 - \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) \right] \left. \right\} \frac{\partial h}{\partial \alpha} + \\ & + \frac{B_{66}}{Bh^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_2} \left(\omega + \frac{h}{2} \tau \right) - \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_2} \left(\omega - \frac{h}{2} \tau \right) \right] \frac{\partial h}{\partial \beta}, \\ \psi_2 = & \frac{1}{h}(C^+ Y^+ + C^- Y^-) + \frac{1}{2Bh} \left\{ \frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_2} \left[B_{22} \left(\varepsilon_2 + \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_1 + \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) \right] + \right. \\ & + \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_2} \left[B_{22} \left(\varepsilon_2 - \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_1 - \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) \right] \left. \right\} \frac{\partial h}{\partial \beta} + \\ & + \frac{B_{66}}{2Ah} \left[\frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_1} \left(\omega + \frac{h}{2} \tau \right) + \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_1} \left(\omega - \frac{h}{2} \tau \right) \right] \frac{\partial h}{\partial \alpha}, \\ \psi_3 = & \frac{2}{h^2}(C^+ Y^+ - C^- Y^-) - \frac{4\psi_1}{h^2} + \frac{1}{Bh^2} \left\{ \frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_2} \left[B_{22} \left(\varepsilon_2 + \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_1 + \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) \right] - \right. \\ & - \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_2} \left[B_{22} \left(\varepsilon_2 - \frac{h}{2} \varepsilon_2 \right) + B_{12} \left(\varepsilon_1 - \frac{h}{2} \varepsilon_1 \right) \right] \left. \right\} \frac{\partial h}{\partial \beta} + \\ & + \frac{B_{66}}{Ah^2} \left[\frac{1}{1 + \frac{h}{2} k_1} \left(\omega + \frac{h}{2} \tau \right) - \frac{1}{1 - \frac{h}{2} k_1} \left(\omega - \frac{h}{2} \tau \right) \right] \frac{\partial h}{\partial \alpha}. \end{aligned} \quad (1.14)$$

Уравнения равновесия дифференциального элемента срединной поверхности оболочки не отличаются от своих классических аналогов и имеют вид [2]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha}(BT_1) - \frac{\partial B}{\partial \alpha}T_2 + \frac{\partial}{\partial \beta}(AS_2) + S_1\frac{\partial A}{\partial \beta} + ABk_1N_1 &= -ABX, \\ \frac{\partial}{\partial \beta}(AT_2) - T_1\frac{\partial A}{\partial \beta} + \frac{\partial}{\partial \alpha}(BS_1) + S_2\frac{\partial B}{\partial \alpha} + ABk_2N_2 &= -ABY, \\ -(k_1T_1 + k_2T_2) + \frac{1}{AB} \left[\frac{\partial}{\partial \alpha}(BN_1) + \frac{\partial}{\partial \beta}(AN_2) \right] &= -Z, \\ \frac{\partial}{\partial \alpha}(BM_1) + \frac{\partial}{\partial \beta}(AH_2) + \frac{\partial A}{\partial \beta}H_1 - M_2\frac{\partial B}{\partial \alpha} &= ABN_1, \\ \frac{\partial}{\partial \beta}(AM_2) + \frac{\partial}{\partial \alpha}(BH_1) + H_2\frac{\partial B}{\partial \alpha} - M_1\frac{\partial A}{\partial \beta} &= ABN_2. \end{aligned} \quad (1.15)$$

Для грузовых членов имеем [2]

$$\begin{aligned} X &= \left(1 + \frac{h}{2}k_1\right) \left(1 + \frac{h}{2}k_2\right) X^+ + \left(1 - \frac{h}{2}k_1\right) \left(1 - \frac{h}{2}k_2\right) X^- + \frac{1}{AB} \int_{-h/2}^{h/2} H_1 H_2 P_\alpha d\gamma, \\ Y &= \left(1 + \frac{h}{2}k_1\right) \left(1 + \frac{h}{2}k_2\right) Y^+ + \left(1 - \frac{h}{2}k_1\right) \left(1 - \frac{h}{2}k_2\right) Y^- + \frac{1}{AB} \int_{-h/2}^{h/2} H_1 H_2 P_\beta d\gamma, \\ Z &= \left(1 + \frac{h}{2}k_1\right) \left(1 + \frac{h}{2}k_2\right) Z^+ + \left(1 - \frac{h}{2}k_1\right) \left(1 - \frac{h}{2}k_2\right) Z^- + \frac{1}{AB} \int_{-h/2}^{h/2} H_1 H_2 P_\gamma d\gamma. \end{aligned} \quad (1.16)$$

В силу выражений (1.14) определение напряженно-деформированного состояния ортотропных оболочек переменной толщины при учете влияния поперечных сдвигов сводится к решению системы пяти дифференциальных уравнений (1.15) относительно пяти функций $u, v, w, \varphi_1, \psi_1$.

2. К разрешающей системе (1.15) следует присоединить краевые условия оболочки. Так как эта система имеет десятый порядок, то на каждом краю оболочки надо ставить по пять условий. Рассмотрим наиболее часто встречающиеся краевые условия для края $\alpha = \text{const}$:

а) свободный край:

$$T_1 = 0, \quad M_1 = 0, \quad N_1 = 0, \quad S_1 = 0, \quad H_1 = 0; \quad (2.1)$$

б) шарнирно опертый край:

$$T_1 = 0, \quad M_1 = 0, \quad S_1 = 0, \quad H_1 = 0, \quad w = 0; \quad (2.2)$$

в) защемленный край:

$$\begin{aligned} u &= 0, \quad v = 0, \quad w = 0, \\ \frac{\partial w}{\partial \alpha} - Aa_{55}\varphi_1 &= 0, \quad \frac{\partial w}{\partial \beta} - Ba_{44}\psi_1 = 0. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Заметим, что условия заземления можно удовлетворить в любой точке сечения.

Аналогичным образом можно написать условия и для края $\beta = \text{const.}$

Кроме отмеченных условий возможны еще и другие условия.

3. В случае оболочек постоянной толщины из (1.11) с учетом (1.12) имеем

$$l^{\pm} = m^{\pm} = 0, \quad n^{+} = -n^{-} = 1. \quad (3.1)$$

Соответствующим образом упрощаются выражения функций $\varphi_2, \varphi_3, \psi_2, \psi_3$ и принимают вид

$$\varphi_2 = \frac{X^{+} + X^{-}}{h}, \quad \varphi_3 = \frac{2(X^{+} - X^{-})}{h^2} - \frac{4\varphi_1}{h^2}, \quad \psi_2 = \frac{Y^{+} + Y^{-}}{h}, \quad \psi_3 = \frac{2(Y^{+} - Y^{-})}{h^2} - \frac{4\psi_1}{h^2}. \quad (3.2)$$

Тогда для поперечных касательных напряжений получаются выражения

$$\begin{aligned} \tau_{\alpha\gamma} &= \left(1 - \frac{4\gamma^2}{h^2}\right) \varphi_1 + \frac{\gamma}{h}(X^{+} + X^{-}) + \frac{2\gamma^2}{h^2}(X^{+} - X^{-}), \\ \tau_{\beta\gamma} &= \left(1 - \frac{4\gamma^2}{h^2}\right) \psi_1 + \frac{\gamma}{h}(Y^{+} + Y^{-}) + \frac{2\gamma^2}{h^2}(Y^{+} - Y^{-}), \end{aligned} \quad (3.3)$$

которые удовлетворяют поверхностным условиям [2]

$$\begin{aligned} \tau_{\alpha\gamma} \Big|_{\gamma=+\frac{h}{2}} &= X^{+}, \quad \tau_{\alpha\gamma} \Big|_{\gamma=-\frac{h}{2}} = -X^{-}, \\ \tau_{\beta\gamma} \Big|_{\gamma=+\frac{h}{2}} &= Y^{+}, \quad \tau_{\beta\gamma} \Big|_{\gamma=-\frac{h}{2}} = -Y^{-}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Учитывая отмеченные упрощения из предлагаемой теории, приходим к уточненной теории типа Рейснера [13].

Важным случаем является случай оболочек, толщина которых по координатам α, β изменяется линейно

$$h = h_0 + h_1\alpha + h_2\beta, \quad (3.5)$$

где h_0, h_1 и h_2 — заданные параметры.

Направляющие косинусы лицевых поверхностей таких оболочек (1.11) принимают ненулевые постоянные значения. В отличие от случая оболочек постоянной толщины, выражения функций (1.14) сохраняют свой довольно длинный вид. Ради краткости их приводить не будем.

Выражаю глубокую благодарность академику С.А. Амбарцумяну за обсуждение настоящей статьи, за ценные советы и замечания.

Институт механики НАН РА

Р. М. Киракосян

Об одной уточненной теории гладких ортотропных оболочек переменной толщины

Методом представления решений в виде степенных многочленов строится уточненная теория гладких ортотропных оболочек переменной толщины, учитывающая влияние деформаций поперечных сдвигов.

Ռ. Մ. Կիրակոսյան

Փոփոխական հաստության օրթոտրոպ ողորկ թաղանթների ճշգրտված մի տեսության մասին

Լուծումներ աստիճանային բազմանդամներով ներկայացման մեթոդով կառուցվում է փոփոխական հաստության ողորկ օրթոտրոպ թաղանթների ճշգրտված տեսություն, որը հաշվի է առնում ընդլայնական սահիքի դեֆորմացիաների ազդեցությունը:

R. M. Kirakosyan

On a Refined Theory of Smooth Orthotrope Shells of Variable Thickness

A refined theory of smooth orthotrope shells of variable thickness by means of presenting solutions in the form of power polynomial contract, when the influence of transversal shear deformations are taking into account.

Литература

1. Агаловян Л.А. Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. 1997. 415 с.
2. Амбарцумян С.А. Общая теория анизотропных оболочек. М. Наука. 1974. 448 с.
3. Амбарцумян С.А. Теория анизотропных пластин. М. Наука. 1987. 360 с.
4. Айнола Л.Я. В кн.: Теория оболочек и пластин. Ереван, Изд-во АН Арм.ССР. 1964. С. 52-57.
5. Васильев В.В. - Изв.РАН. МТТ. 1998. №3. С. 46-58.
6. Векуа И.Н. Некоторые общие методы построения различных вариантов теории оболочек. М. Наука. 1982. 285 с.
7. Гольденвейзер А.Л. - ПММ. 1963. Т. 27. В. 4. С. 593-609.
8. Григоренко Я.М., Василенко А.Т. Теория оболочек переменной жесткости.

Киев. Наукова думка. 1981. 544 с.

9. Кильчевский Н.А. Основы аналитической механики оболочек. М. Наука. 1963. 354 с.

10. Киракосян Р.М. Прикладная теория ортотропных пластин переменной толщины, учитывающая влияние деформаций поперечных сдвигов. Ереван. Гитутюн. 2000. 122 с.

11. Терегулов И.Г. - ПММ. 1962. 26. N 2. С. 119-124.

12. Naghdi P.M. - Quart. Appl. Math. 1957. 15. N 1. С. 41-53.

13. Reissner E. - Trans. ASME. 1945. V. 67. P. A69-A77.

А. К. Матевосян

Определение полных интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации по результатам векторных измерений

(Представлено чл.-кор. НАН РА С.М.Оганесяном 15/VII 2010)

Ключевые слова: электроразведка, вызванная поляризация, векторная съемка, амплитудно-временные характеристики

В [1] предложены обобщенные характеристики вторичного электрического поля - интегральные амплитудно-временные параметры вызванной поляризации (ИАВП ВП) при исследованиях (по результатам измерений) одной (х- или у-составляющей) приемной линией в пункте наблюдений:

$$\Omega_{Q(x,y)} = Q_{c(x,y)} / Q_{z(x,y)}, \quad \Omega_{W(x,y)} = W_{c(x,y)} / W_{z(x,y)}, \quad \Omega_{U(x,y)} = U_{c(x,y)} / U_{z(x,y)} \quad (1)$$

$$Q_{z(x,y)} = \eta_{k(x,y)} E_{o(x,y)} \int_0^{t_3} [1 - F_{(x,y)}(T)] dT,$$

$$W_{z(x,y)} = \eta_{k(x,y)} E_{o(x,y)}^2 \int_0^{t_3} [1 - F_{(x,y)}(T)] [1 + \eta_{(x,y)} F_{(x,y)}(T)] dT,$$

$$U_{z(x,y)} = E_{o(x,y)} \int_0^{t_3} [1 + \eta_{k(x,y)} F_{(x,y)}(T)] dT, \quad (2)$$

$$Q_{c(x,y)} = \eta_{k(x,y)} E_{o(x,y)} \int_0^{\infty} F_{(x,y)}^*(T) dT, \quad W_{c(x,y)} = \eta_{k(x,y)}^2 E_{o(x,y)}^2 \int_0^{\infty} [F_{(x,y)}^*(T)]^2 dT,$$

$$U_{c(x,y)} = \eta_{k(x,y)} E_{o(x,y)} \int_0^{\infty} F_{(x,y)}^*(T) dT,$$

здесь $\Omega_{Q(x,y)}$, $\Omega_{W(x,y)}$, $\Omega_{U(x,y)}$ - отдача ВП по заряду, энергии и напряжению, соответственно; параметры при зарядке в выражениях (1-2) обозначены индексом "з", а на спаде индексом "с";

$E_{ВП(x,y)} = \eta_{k(x,y)} E_{o(x,y)}$ - асимптотическое (максимальное - при предельной длительности зарядки $t_3 \rightarrow \infty$) значение х- или у-составляющей вектора напряженности вторичного электрического поля;

$\eta_{k(x,y)} = E_{ВП(x,y)} / E_{o(x,y)}$ - асимптотическое значение кажущейся поляризуемости по результатам измерений х- или у-составляющей в пункте наблюдений;

$E_{ВП(x,y)} = \eta_{k(x,y)} E_{o(x,y)}$ – асимптотическое (максимальное – при предельной длительности зарядки $t_3 \rightarrow \infty$) значение x - или y -составляющей вектора напряженности вторичного электрического поля;

$\eta_{k(x,y)} = E_{ВП(x,y)} / E_{o(x,y)}$ – асимптотическое значение кажущейся поляризуемости по результатам измерений x - или y -составляющей в пункте наблюдений;

$E_{o(x,y)}$ – величина x - или y -составляющей вектора напряженности первичного электрического поля;

$F_{(x,y)}(T) = \eta_{k(x,y)}(T) / \eta_{k(x,y)}$ – значение переходной характеристики (ПХ) ВП в момент времени T x - или y -составляющей наблюдаемого поля при прямоугольном импульсе постоянного тока;

$\eta_{k(x,y)}(T)$ – значение кажущейся поляризуемости при зарядке в момент времени T по результатам измерений соответствующей составляющей в пункте наблюдений;

$E_{ВП(x,y)}(T) = \eta_{k(x,y)} F_{(x,y)}(T) E_{o(x,y)}$ – величина x - или y -составляющей вектора напряженности вторичного поля при зарядке в момент времени T ;

$$F_{(x,y)}^*(T) = F_{(x,y)}(T + t_3) - F_{(x,y)}(T) \quad (3)$$

– кривая (характеристика) спада при прямоугольном одиночном импульсе постоянного тока длительностью t_3 по результатам измерений x - или y -составляющей в пункте наблюдений.

В этой статье аналогичным образом сформулируем полные интегральные амплитудно-временные параметры ВП по данным векторных измерений в исследуемом пункте наблюдений (в нижеприведенных выражениях обозначены индексом "S"):

$$\Omega_{QS} = Q_{CS} / Q_{SS}, \quad \Omega_{WS} = W_{CS} / W_{SS}, \quad \Omega_{US} = U_{CS} / U_{SS} \quad (4)$$

и

$$Q_{SS} = \eta_S E_{oS} \int_0^{t_3} [1 - F_S(T)] dT, \quad W_{SS} = \eta_S E_{oS}^2 \int_0^{t_3} [1 - F_S(T)] [1 + \eta_S F_S(T)] dT, \quad (5)$$

$$U_{SS} = E_{oS} \int_0^{t_3} [1 + \eta_S F_S(T)] dT,$$

$$Q_{SS} = \eta_S E_{oS} \int_0^{t_3} F_S^*(T) dT, \quad W_{SS} = \eta_S^2 E_{oS}^2 \int_0^{t_3} [F_S^*(T)]^2 dT, \quad U_{SS} = \eta_S E_{oS} \int_0^{t_3} F_S^*(T) dT,$$

здесь $E_{oS} = \sqrt{E_{oS}^2 + E_{oS}^2}$ – величина вектора напряженности первичного электрического поля E_{oS} ;

$\eta_S = E_{ВПs} / E_{oS}$ – асимптотическое значение полной кажущейся поляризуемости, нормированное по первичному полю;

$F_S(T) = E_{BIS}(T)/E_{BIS}$ – полная характеристика спада при прямоугольном одиночном импульсе постоянного тока длительностью t_0 , определенная по результатам измерений x - и y -составляющих электрических полей.

В вышеприведенных формулах $\eta_{k(x,y)}$ или η_S – асимптотическое (при $t_0 \rightarrow \infty$) значение соответствующей кажущейся поляризуемости [1-4], определяемой как отношение поля ВП к первичному (при $t_0 \rightarrow 0$) полю; $E_{0(x,y)} = \rho_{k(x,y)} I_0 / k_{(x,y)} r_{(x,y)}$ – величина напряженности первичного электрического поля по направлению соответствующей (x - или y -) приемной линии; $\rho_{k(x,y)}$ – кажущееся удельное сопротивление, $k_{(x,y)}$ – коэффициент установки и $r_{(x,y)}$ – разнос приемной линии по тем же направлениям.

С целью анализа особенностей предлагаемых параметров и обоснования эффективности их использования (информативности) при выполнении электроразведочных исследований проведено математическое моделирование проявления пространственно-временных характеристик первичного и вторичного электрических полей на поверхности разнотипных геоэлектрических сред. Некоторые полученные результаты теоретических исследований представлены ниже.

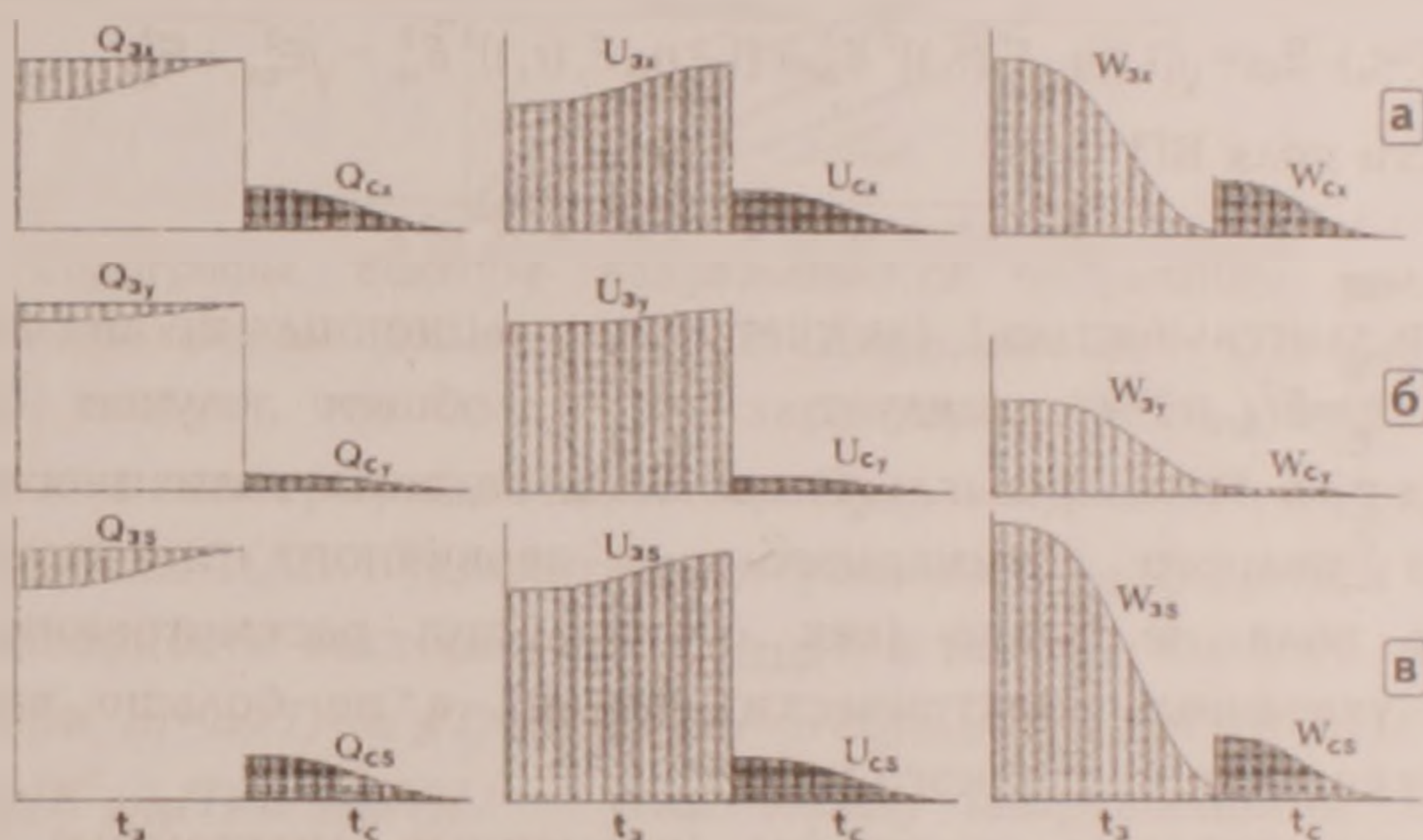


Рис. 1. Схематическое представление интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации при возбуждении электрического поля импульсом прямоугольной формы по результатам измерений x - (а), y -составляющих (б) в пункте наблюдений и вычислений полного поля (в)

На рис.1 приведен пример графиков интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации при возбуждении электрического поля импульсом прямоугольной формы по результатам измерений x -, y -составляющих в пункте наблюдений и вычислений полных параметров. Расчеты выполнены при следующих значениях: $t_0 = 256$ с, $E_{0x}/E_{0y} = 3/4$, $\eta_{kx}/\eta_{ky} = 10/3$, $B_x = \sqrt{1000}$, $B_y = \sqrt{1200}$, $T_{0x} = 1$ с, $T_{0y} = 5$ с. Здесь T_{0x} и T_{0y} – абсциссы максимума производной переходной характеристики (задаваемой логарифмической зависимостью [2]) ВП по направлениям x и y осей.

Принципиальное отличие соотношений (1-2) и (4-5) заключается в том, что в рассматриваемом общем случае справедливо неравенство

$F_s^*(T) \neq F_s(T+t_s) - F_s(T)$ в отличие от (3), т.е. даже при проявлении линейных процессов ВП по отдельным произвольным направлениям (в частности по x и y) вычисленная полная переходная характеристика в зависимости от использованных исходных данных: при пропускании тока или по спаду — различна. Тем самым, при определении полных ИАВП по векторным измерениям нарушается принятое понятие линейности ВП [2], которое выражается в отсутствии возможности построения требуемой полной характеристики (кривой) спада по полной переходной характеристике, и наоборот, получения полной переходной характеристики по набору (серии) полных кривых спада при различных t_s . Это утверждение легко объясняется в силу справедливости векторного соотношения $E_{\text{ВПС}}(T) = E_s(T) - E_{os}$, откуда $|E_{\text{ВПС}}(T)| = |E_s(T) - E_{os}| \geq |E_s(T)| - |E_{os}|$, поскольку в общем случае направления векторов $E_s^*(T)$ и E_{os} не совпадают. Следовательно,

$$\sqrt{E_{\text{ВПС}}^2(T) + E_{\text{ВПС}}^2(T)} = \sqrt{[E_x(T) - E_{ox}]^2 + [E_y(T) - E_{oy}]^2} \geq \sqrt{E_x^2(T) + E_y^2(T)} - \sqrt{E_{ox}^2 + E_{oy}^2}$$

или при сопоставлении величин приращений векторов напряженности полного электрического поля

$$E_s(T=t_s) - E_{os} = \sqrt{[1 + \eta_{\text{в}} F_s(t_s)]^2 E_{ox}^2 + [1 + \eta_{\text{в}} F_s(t_s)]^2 E_{oy}^2} - \sqrt{E_{ox}^2 + E_{oy}^2}$$

и напряженности поля ВП

$$E_{\text{ВПС}}(T=t_s) = \sqrt{\eta_{\text{в}}^2 [F_s(t_s)]^2 E_{ox}^2 + \eta_{\text{в}}^2 [F_s(t_s)]^2 E_{oy}^2}$$

в конце зарядки длительностью t_s (за счет поляризационных процессов).

Из $E_{\text{ВПС}}(T=t_s) - E_{\text{ВПС}}^*(T=0)$ следует, что в общем случае $E_s(T=t_s) - E_{os} \leq E_{\text{ВПС}}^*(T=0)$, т.е. в момент выключения тока падение величины вектора напряженности полного (суммарного — первичного и вторичного) электрического поля не равно (как обычно при рассмотрении одной составляющей указанных электрических полей), а не больше величины вектора напряженности первичного поля.

На рис.2 представлены годографы (временные диаграммы) вектора напряженности поля ВП ($E_{\text{ВПС}}(T)$ — при зарядке и $E_{\text{ВПС}}^*(T)$ — на спаде) в пункте наблюдений при полном цикле измерений в результате возбуждения электрического поля прямоугольным импульсом тока при трех длительностях зарядки ($t_s = 1, 16$ и 256 с).

Вычисления проведены с соблюдением принципа линейности процессов ВП при регистрации каждой (x - и y -) составляющей электрического поля. Приведенные временные зависимости иллюстрируют изменение ориентации вектора напряженности вторичного электрического поля при полном цикле измерений и тем самым являются годографами рассматриваемого вектора. Как видно на рис.2, траектория конца вектора напряженности вторичного поля при пропускании тока отличается от его траектории на спаде. Указанное обстоятельство наглядно и убедительно свидетельствует о весьма важной закономерности проявления вторичного поля при исследовании неоднородных геоэлектрических сред.

заключающееся в том, что несмотря на линейность проявления вторичных процессов вдоль отдельных произвольных направлений, но при отличающихся значениях хотя бы одного из основных параметров вторичного поля, а именно, при справедливости неравенства $\eta_{kx} \neq \eta_{ky}$ или $F_x(T) \neq F_y(T)$, в исследуемом пункте наблюдений при полном цикле измерений происходит (наблюдается) необратимое (неадекватное) возвращение возбужденной геоэлектрической среды в исходное первоначальное состояние. Следует особо подчеркнуть, что конфигурация приведенных на рис.2 векторных диаграмм не зависит от выбора используемых при расчетах исходных составляющих электрических полей в данном пункте, что в очередной раз говорит в пользу необходимости проведения векторных электроразведочных измерений (векторной съемки).

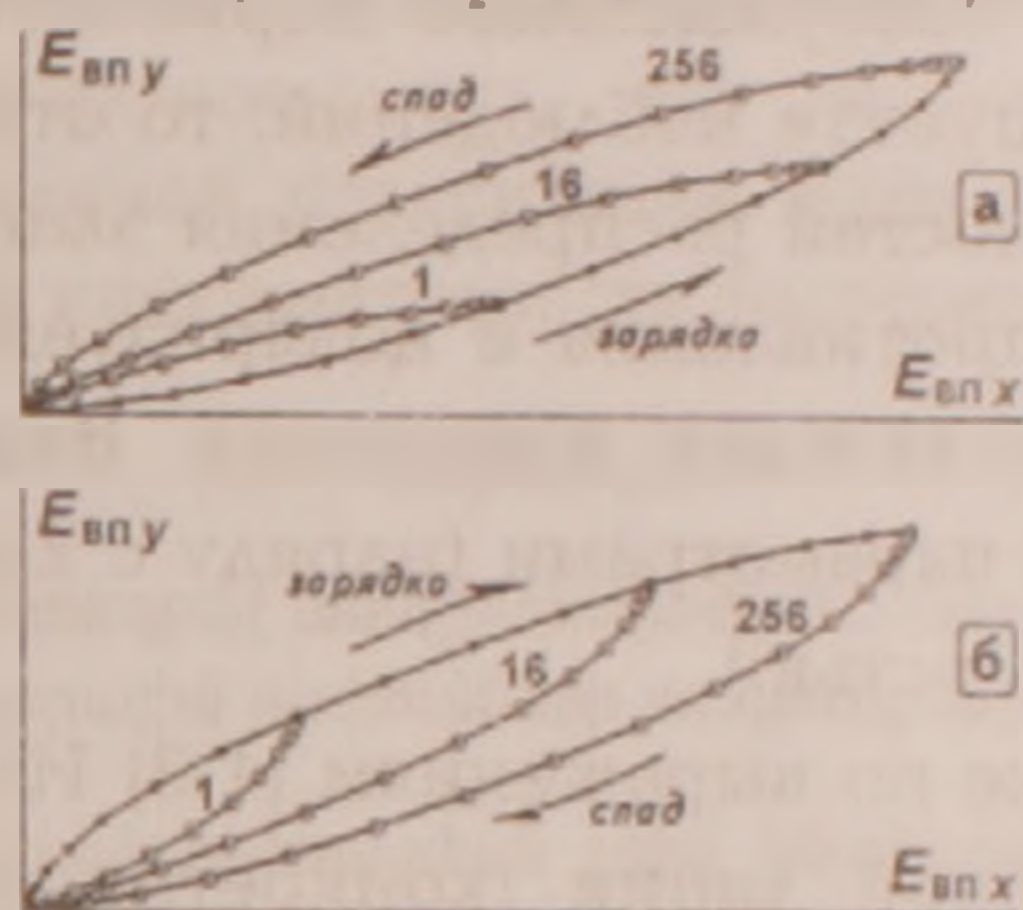


Рис.2. Годографы вектора напряженности вторичного поля в пункте наблюдений при полном цикле измерений. Шифр кривых — t , (в секундах).

Из (1-5) следует, что однозначно характеризующий линейность вторичных процессов интегральный параметр $\Omega_{Q(x,y)}$ — отдача ВП, по заряду равный 1 [1], по полным ИАВП удовлетворяет условию $\Omega_{QS} \geq 1$, причем $\Omega_{QS} = 1$ только при коллинеарности векторов E_{os} и $E_{впS}(T)$ в течение полного цикла измерений, т.е. при $\alpha_1 = \alpha_2(T) = \alpha^*_2(T)$. Здесь $\alpha_1 = \arctg(E_{oy}/E_{ox})$, $\alpha_2(T) = \arctg[E_{впy}(T)/E_{впx}(T)]$, $\alpha^*_2(T) = \arctg[E^*_{впy}(T)/E^*_{впx}(T)]$ — углы между направлениями векторов E_{os} , $E_{впS}(T)$ при зарядке в момент времени T , $E^*_{впS}(T)$ на спаде в момент времени T и осью x , соответственно. Это условие наблюдается, когда переходные характеристики идентичны и асимптотические значения кажущихся поляризуемостей при различных направлениях одинаковы: $F_S(T) = F_{H_S}(T)$ и $\eta_{kx} = \eta_{ky}$, в частности, для случая однородной изотропной поляризующейся среды. При исследованиях реальных геоэлектрических сред, которым свойственна электрическая неоднородность, $\Omega_{QS} \neq 1$.

Анализ ИАВП ВП по выражениям (1-2) и (4-5) позволяет установить между рассматриваемыми параметрами следующие соотношения:

- $(|Q_{x1}|, |Q_{y1}|) < Q_{S1} < (|Q_{x1}| + |Q_{y1}|)$ и $(|Q_{x2}|, |Q_{y2}|) < Q_{S2} < (|Q_{x2}| + |Q_{y2}|)$,
- $(|U_{x1}|, |U_{y1}|) < U_{S1} < (|U_{x1}| + |U_{y1}|)$ и $(|U_{x2}|, |U_{y2}|) < U_{S2} < (|U_{x2}| + |U_{y2}|)$,
- $W_{S1} = W_{x1} + W_{y1}$ и $W_{S2} = W_{x2} + W_{y2}$,
- Ω_{US} принимает промежуточные значения между Ω_{Ux} и Ω_{Uy} , а Ω_{W2} — между Ω_{Wx} и Ω_{Wy} .

Отметим также, что значения полной кажущейся поляризуемости η_s и полного кажущегося сопротивления ρ_s находятся в интервалах $(|\eta_{xs}|, |\eta_{ys}|)$ и $(|\rho_{xs}|, |\rho_{ys}|)$, соответственно. Здесь приведены абсолютные величины кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости при x и y ориентировках приемных линий, поскольку в зависимости от применяемой установки, временного режима измерений и распределения электрических свойств (удельного электрического сопротивления и поляризуемости) исследуемой геоэлектрической среды могут наблюдаться и отрицательные значения этих параметров.

Следует еще раз особо обратить внимание на то, что поскольку определение ИАВП ВП при изучении геоэлектрической среды основано на результатах измерений возбужденного первичного и вторичного электрических полей в данном пункте наблюдений, то отмеченные параметры зависят не только от особенностей распределения электрических свойств (удельного электрического сопротивления и поляризуемости) среды, но и от конкретной примененной установки измерений. Ввиду этого следует условно считать их кажущимися параметрами (наряду с кажущимся сопротивлением и кажущейся поляризуемостью).

Однако определяемые по выражениям (1-3) ИАВП ВП напрямую зависят и от ориентации приемной линии (конкретно измеренной составляющей электрических полей). В отличие от них вышесформулированные полные ИАВП, определяемые по векторным измерениям (4-5), характеризуются инвариантностью относительно выбранных исходных x и y направлений приемных линий в пункте наблюдений, что безусловно является неоспоримым преимуществом этих параметров. Кроме этого, имея результаты измерений электрических полей в исследуемом пункте при двух различных ориентациях приемных линий (в частности, по осям x и y , полученным в результате векторной съемки) [3, 5], можно вычислить и их проявление для представляющих интерес направлений и в итоге определить и полноценно изучить особенности как интегральных, так и дифференциальных параметров ВП [2, 4]. Проведенные теоретические исследования и численные расчеты на конкретных разнотипных геоэлектрических моделях позволили установить интересную закономерность: когда при не менее двух произвольных направлениях (в частности, вдоль осей x и y) ориентации приемных линий в пункте наблюдений проявляется линейность процессов вторичного поля, она будет наблюдаться в этом пункте и при другом произвольном направлении.

В заключение отметим, что результаты настоящих исследований еще раз подтверждают необходимость проведения унифицированных комплексных векторных электроразведочных исследований для получения достоверного и полноценного высокоинформативного экспериментального материала с целью дальнейшей более однозначной пространственно-временной интер

претации электроразведочных данных и их успешного геологического истолкования.

Институт геологических наук НАН РА

А. К. Матевосян

Определение полных интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации по результатам векторных измерений

Предложены полные интегральные амплитудно-временные параметры вызванной поляризации, определяемые при векторной съемке. Приводится их сопоставление с аналогичными параметрами, вычисляемыми при исследованиях геоэлектрической среды одной приемной линией в пункте наблюдений. Комплексная интерпретация электроразведочных данных векторной съемки с использованием как дифференциальных, так и интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации позволит существенно повысить разрешающую способность и информативность экспериментальных работ.

Ա. Կ. Մաթևոսյան

Հարուցված բևեռացման լրիվ ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշների որոշումը վեկտորային չափումների արդյունքներով

Առաջարկվում են հարուցված բևեռացման լրիվ ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշներ, որոնք որոշվում են էլեկտրահետախուզական վեկտորային հանույթի ժամանակ և համեմատվում են նույնանման չափանիշների հետ մեկ ընդունիչ գծով չափումներ կատարելիս:

Վեկտորային հանույթի տվյալների համատեղ մեկնաբանումը, օգտագործելով ինչպես դիֆերենցիալ, այնպես և ինտեգրալ չափանիշներ, կնպաստի զգալի չափով բարձրացնել փորձարարական աշխատանքների արդյունավետությունը երկրաէլեկտրական միջավայրի ուսումնասիրությունների ժամանակ:

A. K. Matevosyan

Determination of Total Integral Amplitude-time Parameters of Induced Polarization on Results of Vector Survey

The total integral amplitude-time parameters of induced polarization, defined under vector survey are suggested. Their collation with similar parameters, calculated at the study of the geoelectrical medium by one receiving line in the point of the observations by the induced polarization method is shown.

Литература

1. Матевосян А. К. - ДНАН Армении. 2001. Т. 101. N1. С. 76-83.
2. Комаров В. А. Электроразведка методом вызванной поляризации. Л. Недра. 1980. 391 с.
3. Матевосян А. К. - Изв. НАН Армении. Науки о Земле. 2002. Т. 55. N1-3. С. 54-58.
4. Электроразведка. Справочник геофизика. М. Недра. 1989. в двух книгах - 438 с. 378 с.
5. Матевосян А. К. Разработка теоретических основ методики векторной съемки при электроразведочных исследованиях. Автореф. докт. дис. Ереван. ИГН НАН РА. 2003. 33 с.

УДК 577.391;547.963.3

Շ. Մ. ԱվաԿյան, Ն. Ն. Մկրտչյան, Ն. Յ. Տիմոնյան, Դ. Յ. Խաչատրյան

Биологическое действие электронов с энергией 7.5 МэВ
на клетки бактерий *E. coli* К-12 разного репарационного генотипа

(Представлено академиком М.А.Давтяном 26/VIII 2010)

Ключевые слова: электроны, бактерии, выживаемость, репарационный генотип

Проблема относительной биологической эффективности излучений разного качества и защиты организма от их повреждающего действия всегда была ключевой задачей радиобиологии. С началом космической эры эта задача стала еще более актуальной. В космическом пространстве были обнаружены высокие уровни доз различных типов ионизирующих излучений, характеризующиеся широким зарядовым составом от электронов и протонов до ядер урана, энергетическим диапазоном от десятков эВ до 10^{18} – 10^{19} эВ и спектром линейной передачи энергии (ЛПЭ), определяющим характер локального воздействия на клетки и ткани биообъектов, от десятых долей кэВ/мкм до $2 \cdot 10^3$ кэВ/мкм [1].

В секторе биологических исследований ОИЯИ (г. Дубна) были проведены многоплановые эксперименты по моделированию радиационно-генетических эффектов космических излучений на пучках ускоренных тяжелых ионов и выяснению механизмов, определяющих различия в биологической эффективности излучений, различающихся по ЛПЭ, на клетки разного генотипа. Сформулированы представления о том, что биологическая эффективность излучений разного качества определяется как физическими особенностями микрораспределения энергии разных типов излучений в генетических структурах клетки, в результате чего индуцируется широкий спектр первичных повреждений ДНК, так и биологическим фактором, направленным на репарацию этих повреждений. Снижение репарационной способности клеток с увеличением ЛПЭ, а соответственно, и возрастание биологической эффективности в значительной степени связаны с индукцией нерепарируемых прямых двойных

разрывов ДНК, играющих ведущую роль в летальном действии плотноионизирующих излучений [2-3].

Эти исследования в ОИЯИ были проведены на клетках как низших и высших эукариот, так и прокариот. Мы принимали участие в экспериментах ОИЯИ, выполненных на бактериальных клетках [4]. Как логическое продолжение вышеуказанных работ нами было проведено исследование биологической эффективности ускоренных электронов по их летальному действию на клетки бактерий *Escherichia coli* K-12 разного репарационного генотипа.

В работе использованы следующие штаммы бактерий *E. coli* K-12, любезно предоставленные нам В.Н. Вербенко из коллекции ПИЯФ РАН: дикий тип АВ 1157 (thr-1 leu-6 pro A2 his-4 arg E3 lac Y1 gal K2 ara-14 xyl-5 mtl-1 tsx-33 sir A31 sup E37); γ -резистентный мутант BL 1114 (Gam' 444); радиочувствительный мутант АВ 2463 (rec A13⁻).

Выращивание бактериальных культур проводили на полноценной питательной среде УЕР (дрожжевой экстракт – 10 г/л, пептон – 10 г/л, натрий хлористый – 10 г/л, агар-агар – 20 г/л) или МПА (мясная вода, пептон – 10 г/л, натрий хлористый – 5 г/л, агар-агар – 20 г/л) до стационарной фазы роста. Разведения клеточной суспензии для контрольных и облучаемых проб готовили в 0.85%-ном физиологическом растворе с таким расчетом, чтобы в каждой чашке выросло от 100 до 300 колоний. Облучение клеток электронами в монослое на поверхности "голодного агара" проводили на микротроне МК-7,5 Ереванского физического института. Энергия электронов – 7,5 МэВ. Значение ЛПЭ – 0,3 кэВ/мкм. Мощность дозы 25 Гр/мин. Радиационные характеристики электронного пучка определяли на основе "An International Codes of Practice" IAEA TRS 277 [5], с помощью электрометра UNIDOS (PTW, Freiburg, Germany) и ионизационной камеры фермеровского типа 30001 с объемом камеры 0,6 см³, откалиброванных в SSDL IAEA. Мощность дозы определяли в воздухе с помощью камеры фермеровского типа, снабженной колпачком из полиметилметакрилата.

Рентгеновскими лучами клетки облучали на установке РУП-200-20-5 (нефильтрованное излучение, напряжение на трубке – 200 кВ, сила тока – 14 мА, мощность дозы – 30 Гр/мин). Специально поставленные эксперименты показали, что способ облучения клеток (в монослое на поверхности "голодного агара" или в суспензии) не влиял на величину радиочувствительности клеток.

В качестве источника α -частиц использовали плоский α -источник ²³⁹Pu. Мощность дозы 22 Гр/мин. Облучение проводили в монослое на поверхности "голодного агара". Облучение клеток всеми типами излучений проводили при комнатной температуре. Выживаемость клеток определяли подсчетом макроколоний, вырастающих на среде УЕР через 24-48 ч при температуре 37⁰С.

Опыты повторяли 3-5 раз. Стандартная ошибка определения средних значений выживаемости клеток, как правило, не превышала 5-10%.

На рис. 1 представлены результаты экспериментов по облучению клеток дикого типа, суперрезистентного и чувствительного мутантов *E. coli* электронами с энергией 7,5 МэВ. Как можно видеть, у данных штаммов бактерий радиочувствительность клеток значительно различается. В варианте опыта, когда клетки дикого типа до облучения выдерживались в физиологическом растворе в течение двух часов при комнатной температуре, радиочувствительность их несколько увеличивается, но различия значений чувствительности клеток дикого типа и чувствительного мутанта сохраняются.

Ранее нами было показано, что уже в первые часы выдерживания клеток бактерий *E. coli* в так называемых «непитательных» средах, в зависимости от генотипа и исходной концентрации клеток, может наблюдаться как увеличение, так и уменьшение числа жизнеспособных клеток [6]. Исходя из вышесказанного для уточнения данных по модификации радиочувствительности клеток дикого типа в условиях предрадиационного выдерживания их в «непитательной» среде, мы провели наблюдения по регистрации числа жизнеспособных клеток данного штамма, внесенных в физраствор в разных концентрациях (табл. 1).

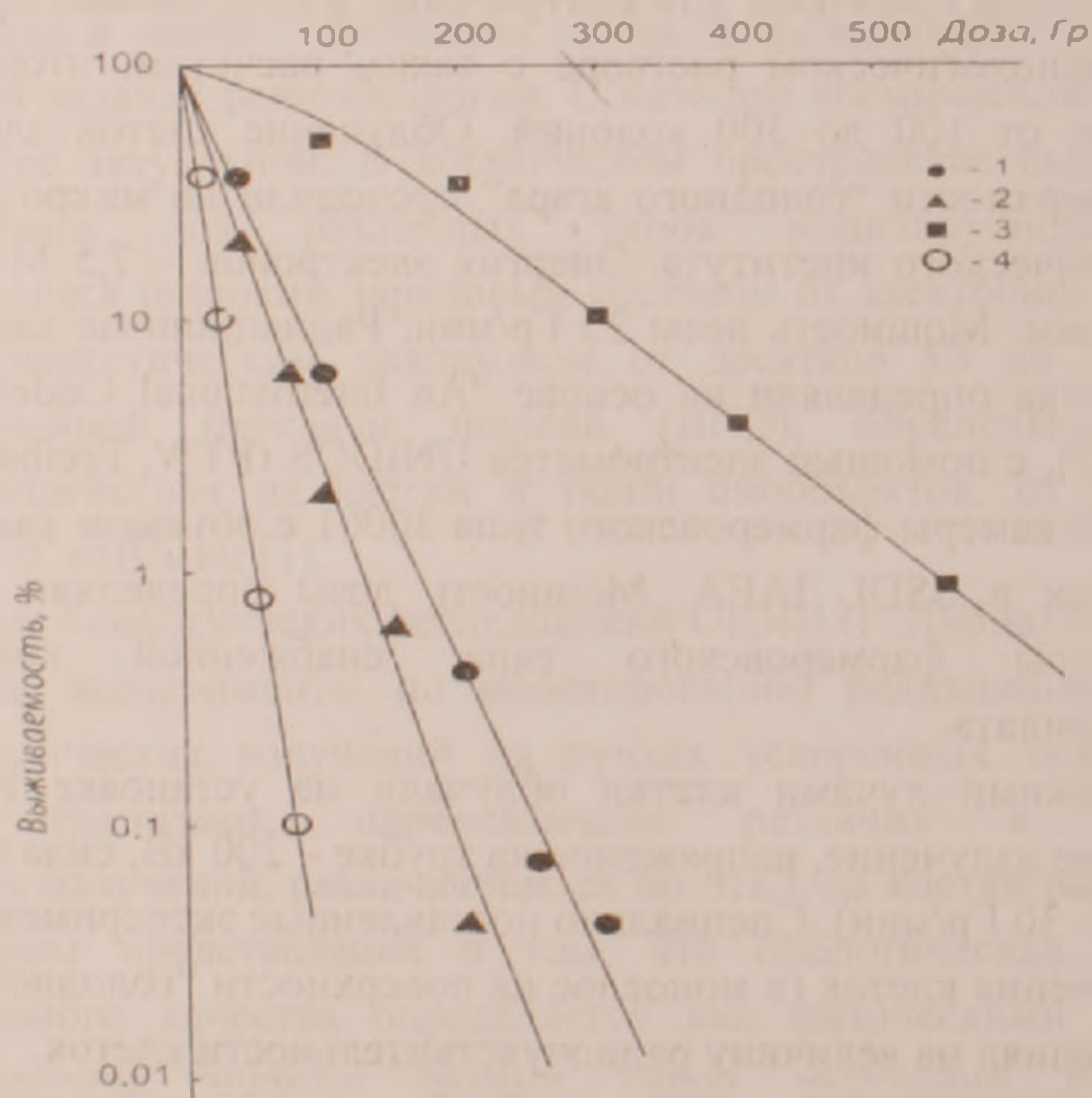


Рис. 1. Кривые выживания клеток бактерий *E. coli* K-12, облученных электронами: АВ 1157 — обычные условия облучения (1), АВ 1157 — 2-часовое выдерживание в физиологическом растворе (2), BL 1114 (3), АВ 2463 (4).

По оси абсцисс — доза облучения, Гр; по оси ординат — выживаемость, %

Таблица 1

Число жизнеспособных клеток *E. coli* K-12 дикого типа при выдерживании их в физиологическом растворе в разных концентрациях при комнатной температуре

Время инкубации, ч	Число жизнеспособных клеток, кл/мл				
	1	2	3	4	5
0	$2.0 \cdot 10^3 \pm 0.21$	$3.0 \cdot 10^4 \pm 0.22$	$1.8 \cdot 10^5 \pm 0.12$	$4.2 \cdot 10^6 \pm 0.31$	$5.8 \cdot 10^7 \pm 0.23$
2	$2.1 \cdot 10^3 \pm 0.11$	$3.2 \cdot 10^4 \pm 0.20$	$1.7 \cdot 10^5 \pm 0.21$	$4.3 \cdot 10^6 \pm 0.28$	$6.0 \cdot 10^7 \pm 0.30$

Как следует из таблицы, в данных условиях опыта число колонииобразующих клеток дикого типа не меняется.

Кривые выживания вышеуказанных клеток бактерий *E. coli* K-12 с разным репарационным генотипом при облучении их рентгеновскими лучами и α -частицами приведены на рис 2 и 3.

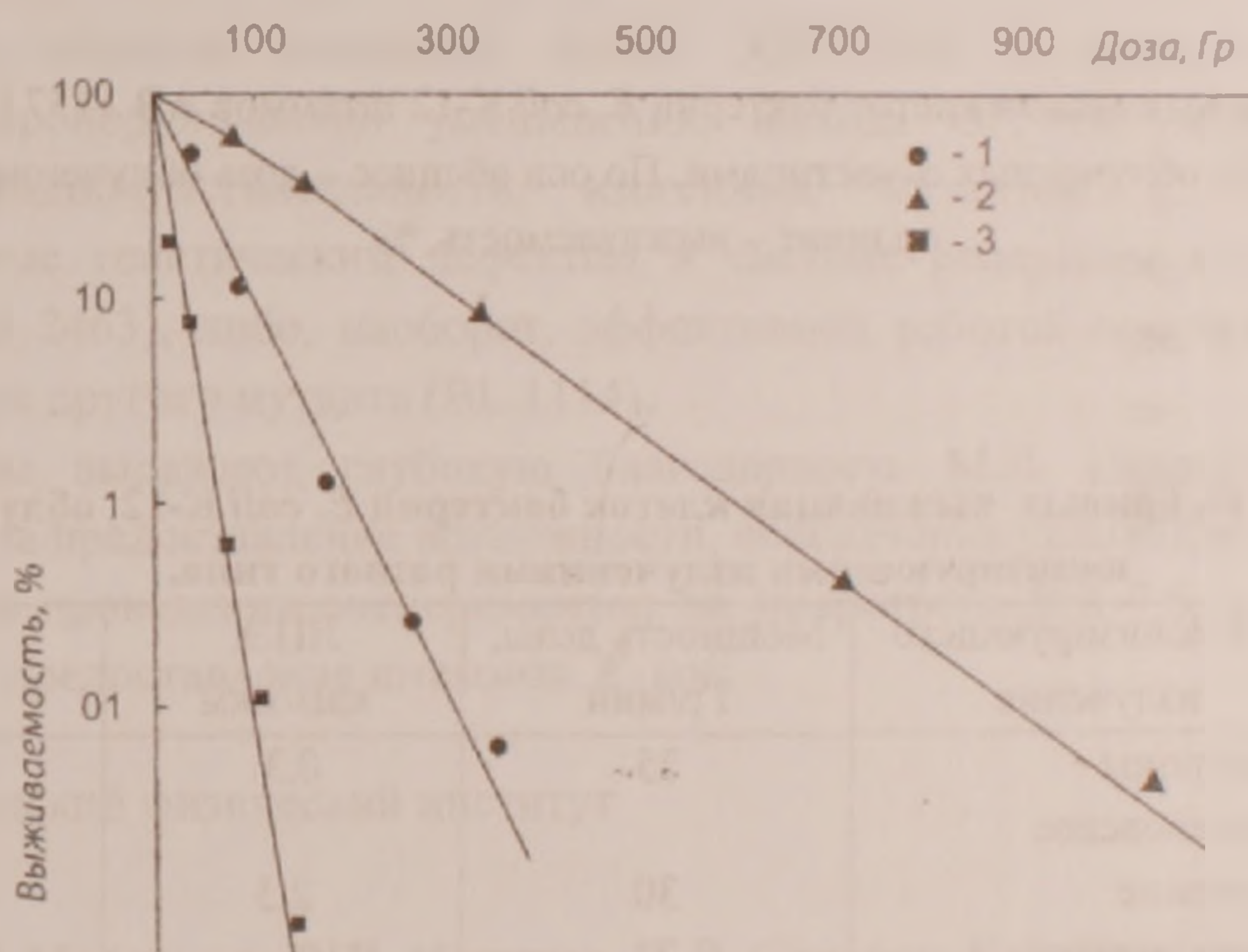


Рис. 2. Кривые выживания клеток бактерий *E. coli* K-12 штаммов АВ 1157 (1), ВЛ 1114 (2), АВ 2463 (3), облученных рентгеновскими лучами. По оси абсцисс — доза облучения, Гр; по оси ординат — выживаемость, %.

В табл. 2 даны значения D_0 кривых доза — эффект клеток дикого типа и репарационных мутантов, представленных на рис. 1-3.

Из таблицы следует, что наибольшие различия в радиочувствительности клеток разного генотипа наблюдаются при облучении их рентгеновскими лучами и электронами. С увеличением ЛПЭ излучений, в данном случае при

облучении α -частицами, имеет место нивелирование чувствительности всех использованных в эксперименте штаммов *E. coli* K-12.

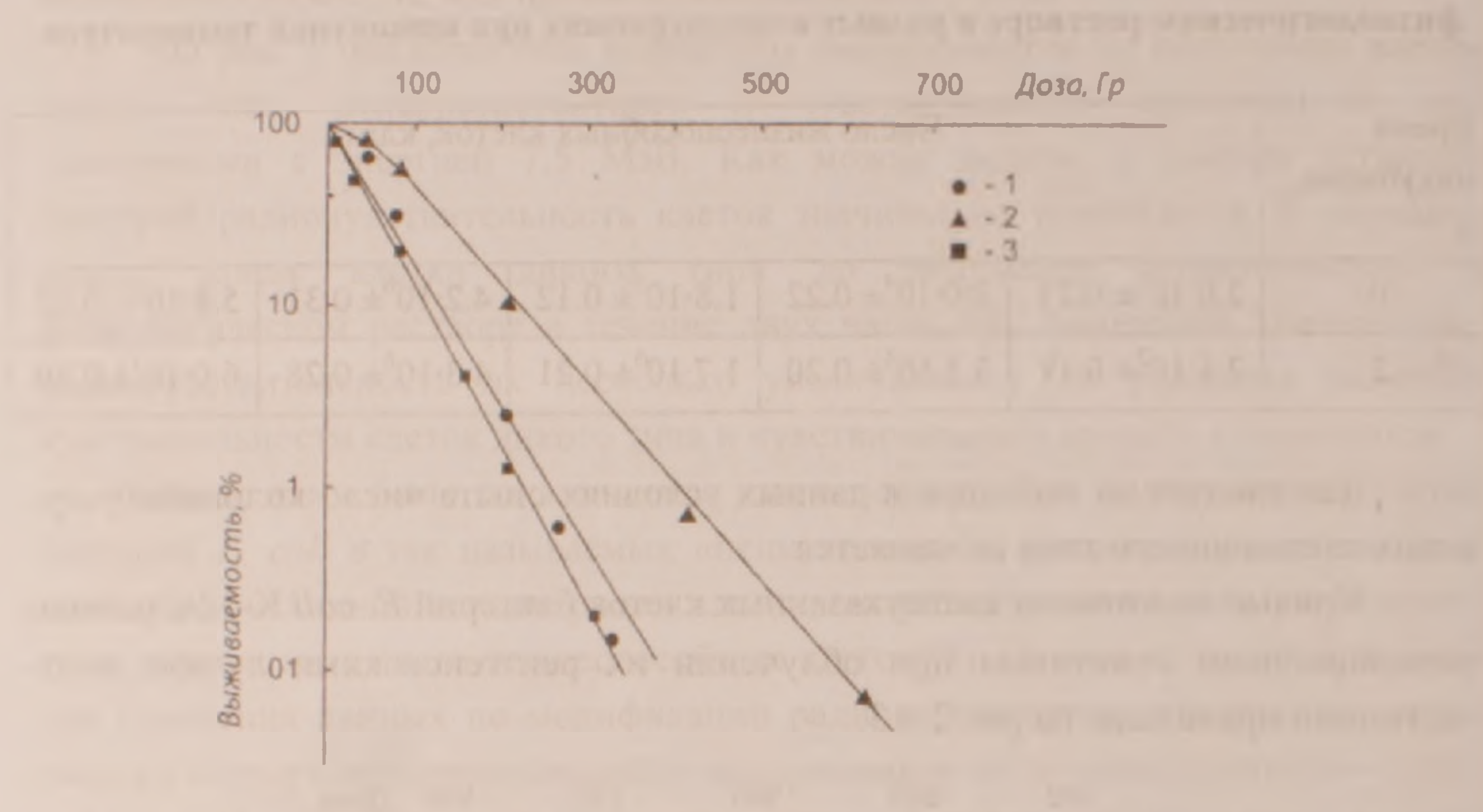


Рис. 3. Кривые выживания клеток бактерий *E. coli* K-12 штаммов АВ 1157 (1), BL 1114 (2), АВ 2463 (3), облученных α -частицами. По оси абсцисс – доза облучения, Гр, по оси ординат – выживаемость, %.

Таблица 2

Значения D_0 кривых выживания клеток бактерий *E. coli* K-12, облученных ионизирующими излучениями разного типа.

Штамм	Вид ионизирующего излучения	Мощность дозы, Гр/мин	ЛПЭ, кэВ/мкм	D_0 , Гр
АВ 1157	Электроны	25	0.3	40 ± 2.1
	Рентгеновское излучение	30	2.5	44 ± 1.5
	Альфа-частицы	22	110	52.5 ± 0.9
BL 1114	Электроны	25	0.3	100 ± 6.2
	Рентгеновское излучение	30	2.5	115 ± 5.6
	Альфа-частицы	22	110	77.7 ± 6.3
АВ 2463	Электроны	25	0.3	12 ± 1.0
	Рентгеновское излучение	30	2.5	15.8 ± 1.0
	Альфа-частицы	22	110	50.4 ± 2.5

Известно, что решающую роль в летальном действии излучений на клетки играют однонитевые (ОН) и двунитевые (ДН) разрывы ДНК. Различают два типа

ДР ДНК: прямые двунитевые разрывы (ПДР) и энзиматические двойные разрывы (ЭДР), возникающие из перекрывающихся брешей при расчистке повреждений ДНК в результате действия репарационных ферментов. Реализация как одного ЭДР, так и ПДР ДНК в геноме клеток *E. coli* K-12 дикого типа и суперрезистентного мутанта приводит к летальному исходу. Выход ЭДР ДНК генетически детерминирован и определяется балансом нуклеазной и полимеразной активности репарационных ферментов. Большая устойчивость клеток суперрезистентного мутанта к излучениям с низкими значениями ЛПЭ объясняется лучшей координацией работы репарационных ферментов, приводящей к уменьшению выхода ЭДР ДНК. Низкая радиостойчивость чувствительного мутанта связана с тем, что для клеток данного штамма губительна реализация не только ДР, но, преимущественно, и ОР ДНК. С возрастанием ЛПЭ излучений выход ЭДР падает, а ПДР резко увеличивается и становится преобладающим в суммарном выходе ЭДР и ПДР: в диапазоне значений величины ЛПЭ ~ 150-200 кэВ/мкм практически все ДР являются ПДР ДНК.

Таким образом, поскольку выход ЭДР ДНК с возрастанием ЛПЭ снижается пропорционально уменьшению выхода ОР, то уменьшаются и различия радиочувствительности изогенных мутантов *E. coli* K-12, обусловленные генетическим дефектом в системе репарации клеток одного мутанта (AB 2463), либо, наоборот, эффективной работой восстановительных систем клеток другого мутанта (BL 1114).

Авторы выражают глубокую благодарность М.Л. Петросяну и Л.А. Габриэлянцу за предоставление возможности, обеспечение условий и техническое содействие в проведении экспериментов на микротроне МК-7,5, а также В.Н. Вербенко за предоставление штаммов *E. coli*.

Ереванский физический институт

Ц. М. Авакян, Н. И. Мкртчян, Н. В. Симомян, Г. Э. Хачатрян

Биологическое действие электронов с энергией 7.5 МэВ на клетки бактерий *E. coli* K-12 разного репарационного генотипа

Представлены результаты исследований биологической эффективности ускоренных электронов с энергией 7.5 МэВ по их летальному действию на клетки бактерий *Escherichia coli* K-12 разного репарационного генотипа. Полученные результаты обсуждаются с позиций существующих представлений о роли баланса работы репарационных ферментов в определении различий радиочувствительности клеток изученных штаммов бактерий к действию ионизирующих излучений разного качества.

Յ. Մ. Ավագյան, Ն. Ի. Մկրտչյան, Ն. Վ. Սիմոնյան, Գ. Է. Խաչատրյան

Տարբեր վերականգնողական գենոտիպ ունեցող *E. coli* K-12 մանրէների բջիջների վրա 7.5 ՄէՎ էներգիայով էլեկտրոնների կենսաբանական ազդեցության ուսումնասիրությունը

Ներկայացված են 7.5 ՄէՎ էներգիայով արագացված էլեկտրոնների փնջերի կենսաբանական ազդեցության հետազոտությունների արդյունքները՝ ըստ տարբեր վերականգնողական գենոտիպ ունեցող *Escherichia coli* K12 մանրէների բջիջների վրա փնջերի լետալ ազդեցության: Ստացված տվյալները քննարկվում են տարբեր որակի իոնիզացնող ճառագայթման նկատմամբ մանրէների տարբեր շտամերի բջիջների ռադիոզգայունության որոշման խնդրում վերականգնողական ֆերմենտների աշխատանքի հաշվեկշռի դերի մասին գոյություն ունեցող պատկերացումների տեսանկյունից:

Ts. M. Avakyan, N. I. Mkrtchyan, N. V. Simonyan, G. E. Khachatryan

The Research of Biological Action of the Electrons with the Energy of 7.5 MeV on the Cells of *E. coli* K-12 Bacteria Having Different Reparation Genotype

The results of the investigation of the biological efficiency of accelerated electrons with the energy of 7.5 MeV on their lethal action on the cells of *Escherichia coli* K-12 bacteria with the different reparation genotype are presented. The received results are discussed from the position of existing representations regarding the role of the balance of work of reparation enzymes in definition of distinctions in radiosensitivity of studied cells strains of bacteria to the action of an ionising radiation of different quality.

Литературы

1. Петров В М В кн.: Проблемы биохимии, радиационной и космической биологии. Москва-Дубна. 2002. С. 111-125.
2. Красавин Е А Проблемы ОБЭ и репарация ДНК. М. Энергоатомиздат. 1991. 193 с.
3. Красавин Е А., Козубек С. Мутагенное действие излучений с разной ЛПЭ. М. Энергоатомиздат. 1991. 193 с.
4. Красавин Е.А., Амиртаев К.Г., Козубек С., Токарева Б., Симонян Н.В., Джинполадян Н.Л., Степанян Л.Г., Череватенко А.П. - Сообщения Объединенного института ядерных исследований. 1985. P19-85-721.
5. Absorbed Dose Determination in Photon and Electron Beams. An International Code of Practice. TRS No.277, Second Edition. IAEA. Vienna. 1997.
6. Симонян Н В. - Радиобиология. 1975. Т. 15. Вып. 2. С. 247-251.

БИОХИМИЯ

УДК 615.277.3, 543.852.6

П. А. Казарян^{1,2}, Т. Р. Паносян¹, А. С. Саакян¹, Т. В. Кочикян²

Состояние ион-транспортных ферментных систем при саркоме-180 и
после применения ВАС-167 – производного 4-бутанолидов

(Представлено академиком К. Г. Карагезяном 15/II 2011)

Ключевые слова: саркома-180, противоопухолевая терапия, производные 4-бутанолидов

Адекватный подбор высокочувствительных к химиотерапии злокачественных опухолей цитостатиков часто затруднен из-за высокой токсичности и избирательности действия этих препаратов. Вместе с тем установлено, что одним из структурно-функциональных локусов, вовлекаемых в механизмы канцерогенеза различной этиологии, является клеточная мембрана [1-4]. В связи с этим характер липид-белковых соотношений в биомембранах может отражать способность клетки реагировать на происходящие в организме при злокачественном росте и в динамике химиотерапии новообразований.

Цель настоящей работы состояла в выяснении некоторых патогенетических механизмов развития опухолевого процесса при саркоме-180 путем исследования активности ряда интегральных транспортных белков (Na/K- и Mg-АТФаз) в эритроцитах и лимфоцитах крови и клетках ткани селезенки.

Материал и методы. Эксперименты выполнены на 56 беспородных мышах массой 22-25 г. Формирование модели солидной опухоли проводилось путем перевивки опухолевого штамма саркома-180.

Саркома-180 (S-180) – экспериментальная опухоль веретенноклеточного происхождения, полученная в результате введения диметилбензантрацена в подкожную клетчатку животных в 1957 г. Е.Е. Погосянц (Институт тонкой органической химии АН АрмССР).

Штамм S-180 пассивировался на мышах в возрасте 3 месяцев. Экспериментальную опухоль саркомы брали на 14-й день ее развития. Перевивка

начиналась с дачи наркоза мышам-донору, затем подкожная опухоль вылущивалась для измельчения. Кусочки опухолевой ткани диаметром 1 мм (инокулум) с 0.5 - 1 мл раствора Хенкса (без фенолового красного) вводились мышам-реципиенту.

Производное 4-бутанолидов — ВАС-167 вводили внутривентрально через 48 ч после перевивки в течение 6 дней непрерывно, однократно в виде водного раствора (из расчета 0.2 мг/кг массы животного). Терапевтический эффект оценивали по степени ингибирования роста опухоли в процентах к контролю.

Экспериментальные животные были распределены следующим образом. Первая группа — интактная (20 мышей). Животные не подвергались никаким воздействиям, содержались в стандартных условиях. Вторая группа — саркома (18 мышей). Животным была привита опухоль S-180, срок развития которой на момент перевивки составил 14 суток. Животные не подвергались никаким воздействиям и содержались в стандартных условиях до наступления смерти. Третья группа — лечение (18 мышей). Животным была привита опухоль S-180, срок развития которой на момент перевивки составил 14 суток. Животным вводили препарат в течение 3 дней однократно.

Животных декапитировали под эфирным наркозом, производили забор крови. В исследованиях использовали мембраны эритроцитов и лимфоцитов крови и гомогенаты ткани селезенки, полученные общепринятыми методами дифференциального центрифугирования.

Активность фосфолипазы A_2 определяли по модифицированному методу П. А. Казаряна [5], активность АТФазы — по модифицированному методу Фиске и Суббарроу [4], основанному на регистрации прироста неорганического фосфора в среде в ходе АТФазной реакции. Среда определения Na^+ , K^+ -АТФазы, помимо необходимых катионов, содержала 0.1 мМ уабаина. Реакцию начинали добавлением в пробы раствора АТФ нужной концентрации, прекращали с помощью 5 % раствора ТХУ.

Активность Na^+ , K^+ -АТФазы изучали по разности между общей АТФазной активностью и активностью Mg^{2+} -зависимой АТФазы. Активность ферментов выражали в мкг неорганического фосфора на 1 мг белка. Оптическую плотность измеряли на СФ-46 при длине волны 700 нм.

Статистическую обработку данных проводили с учетом критерия достоверности по Фишеру — Стьюденту.

Результаты и обсуждение. В условиях эксперимента при оценке противоопухолевой активности по степени ингибирования роста опухоли (в % к контролю) установлено, что ВАС-167 при внутривентральном введении приводит к угнетению роста опухоли на 35-40%. Исходя из того, что важнейшим свойством мембран, в том числе и иммунокомпетентных клеток,

является обеспечение избирательной проницаемости ионов и различных веществ, а также из роли АТФазной системы в обеспечении активного транспорта через плазматические мембраны, представляло интерес изучение активности Na/K- и Mg-АТФаз, важнейших регуляторов клеточного метаболизма.

Согласно полученным данным, при саркоме-180 наблюдаются существенные изменения активности липидзависимых и мембраносвязанных АТФаз как в эритроцитах и лимфоцитах крови, так и в ткани селезенки (рис. 1-3). При этом в мембранах эритроцитов крови (рис.1) установлено статистически достоверное ($p < 0.01$) снижение Na/K-АТФазной активности с одновременным почти двукратным снижением активности Mg-АТФазы.

После введения препарата ВАС-167 в эритроцитах крови активность Na/K-АТФазы приближается к норме, деятельность Mg-АТФазы усиливается, однако не доходит до уровня контрольных величин.

Примечательно, что изменения деятельности АТФаз в мембранах лимфоцитов и клеток ткани селезенки более выражены ($p < 0.001$) по сравнению с таковыми в эритроцитах крови (рис.2, 3). При этом активность Na/K-АТФазы в лимфоцитарных мембранах подавляется почти в два раза, а в мембранах клеток ткани селезенки — на 70% по сравнению с контрольными данными.

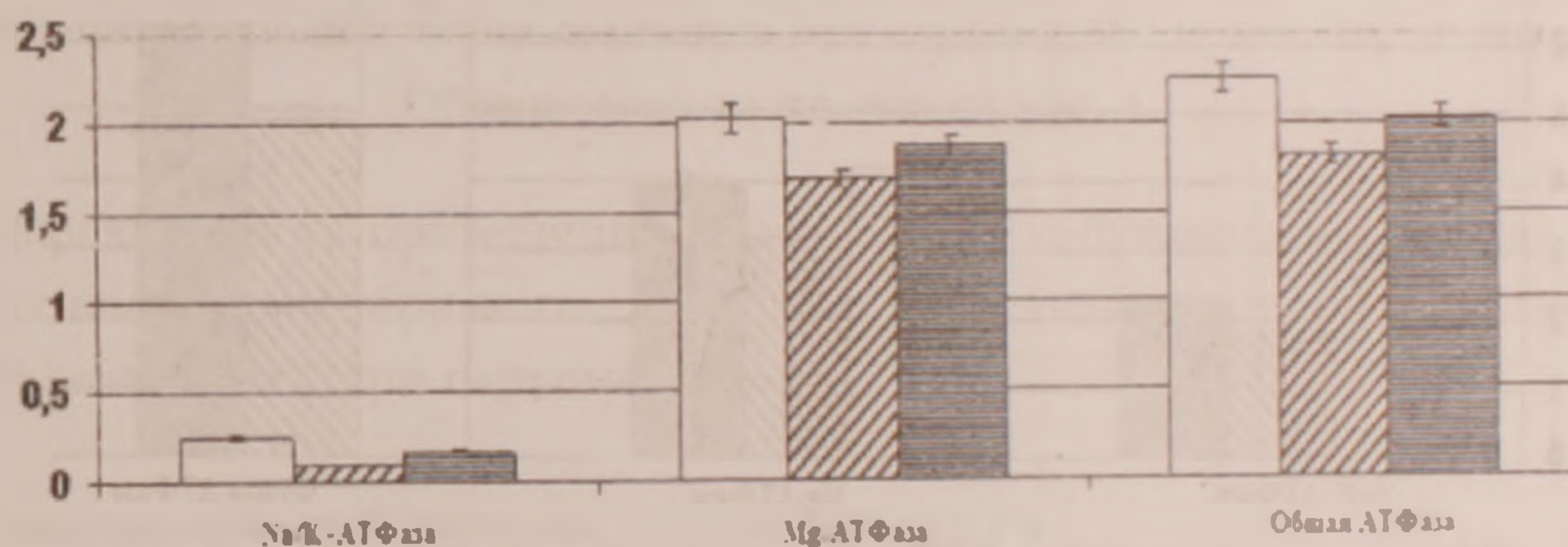


Рис. 1. Изменение активности АТФаз в мембранах эритроцитов крови при саркоме-180 (в мкг Фн/мг белка). Белые столбики — контроль, косая штриховка — саркома, горизонтальная штриховка — лечение.

В условиях патологии деятельность Mg-АТФазы и общей АТФазной активности заметно ингибируется, что указывает на вовлечение лимфоцитов и селезенки в процессы злокачественной трансформации.

Внутрибрюшинное введение ВАС-167 приводит к активации мембранотранспортных энзимов до уровня контрольных величин, что безусловно свидетельствует о возможной интенсификации иммунной и компенсаторно-приспособительной реакций организма под действием этого биологически активного соединения.

По современным представлениям [4-7] изменение активности АТФаз главным образом связано с модификацией липидных компонентов биомембран, нарушением липид-липидных и липид-белковых взаимодействий, изменением физико-химических свойств мембранных структур клеток. Физиологическая роль липидной фазы мембранных структур заключается в создании микроокружения, обеспечивающего конформационную стабильность мембраносвязанных белков-ферментов, в том числе и АТФаз.

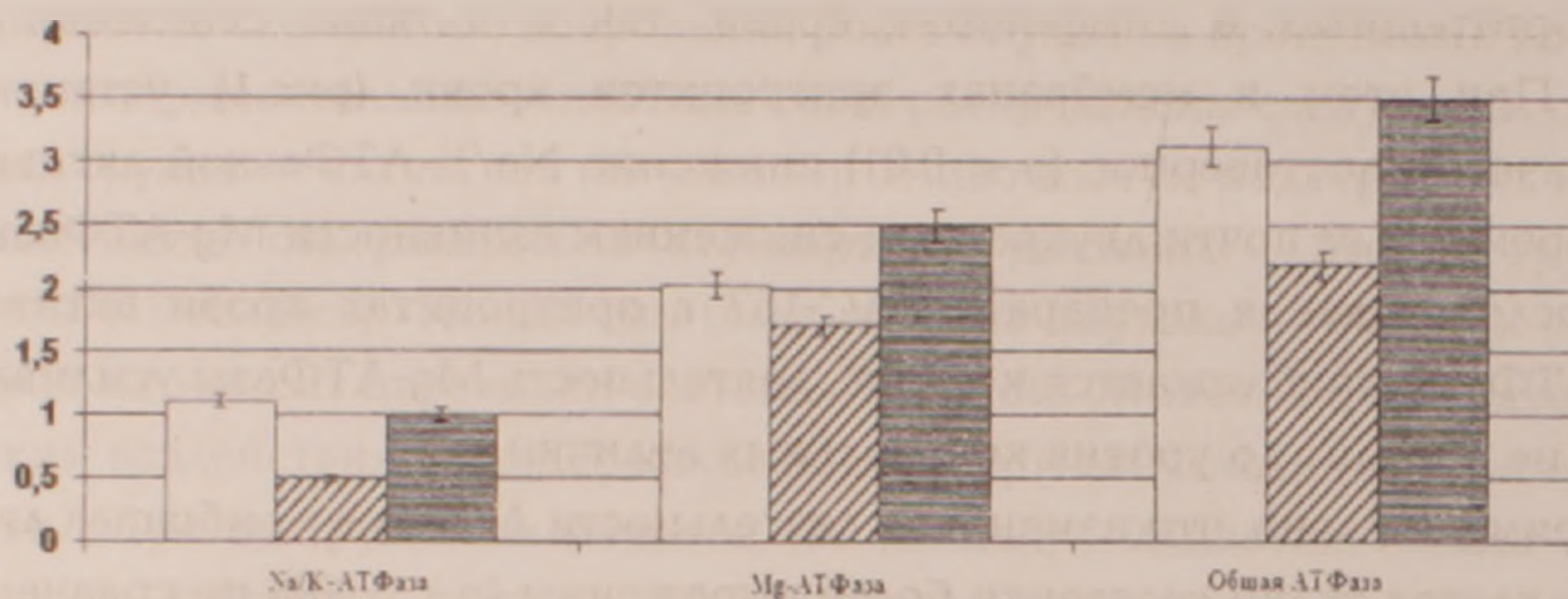


Рис. 2. Изменение активности АТФаз в мембранах лимфоцитов крови при саркоме-180 (в мкг Фн/мг белка). Обозначения те же, что на рис. 1.

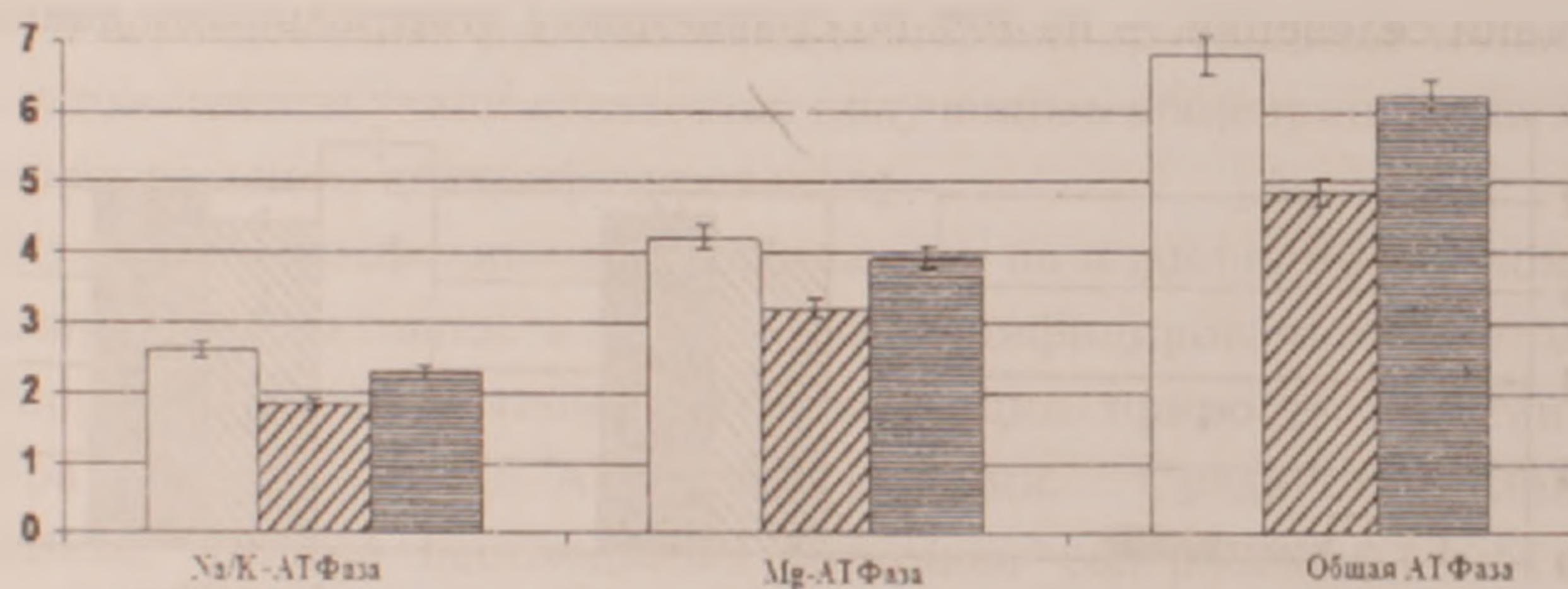


Рис. 3. Изменение активности АТФаз в мембранах клеток ткани селезенки при саркоме-180 (в мкг Фн/мг белка). Обозначения те же, что на рис. 1.

Были проведены также наблюдения за изменениями активности процессов деградации фосфатидов-глицеридов биомембран путем исследования деятельности фосфолипазы A_2 в мембранах эритроцитов и лимфоцитов крови при изучаемых состояниях организма.

Установлено, что экспериментальная саркома-180 характеризуется статистически достоверным ($p < 0.001$) повышением активности фосфолипазы A_2 как в мембранах эритроцитов и лимфоцитов крови, так и в мембранах клеток ткани селезенки подопытных животных (рис.4). Применение ВАС-167 приводит к существенному подавлению деятельности фермента и приближению его значения к уровню контрольных величин, что указывает на положительное воздействие препарата на процессы липолиза.

Таким образом, саркома-180 характеризуется нарушением деятельности мембраносвязанных ферментов и изменением качественного и количественного состава ФЛ биомембран [4]. Наблюдающиеся при этом изменения липид-липидных и липид-белковых взаимоотношений сопровождаются существенными изменениями со стороны важнейших функций мембранных образований, включая транспортные и мессенджерные процессы, рецепцию эндогенных метаболически активных соединений, механизмы клеточных контактов. Это, в свою очередь, может явиться серьезной предпосылкой для нарушения функционального состояния при саркоме-180.

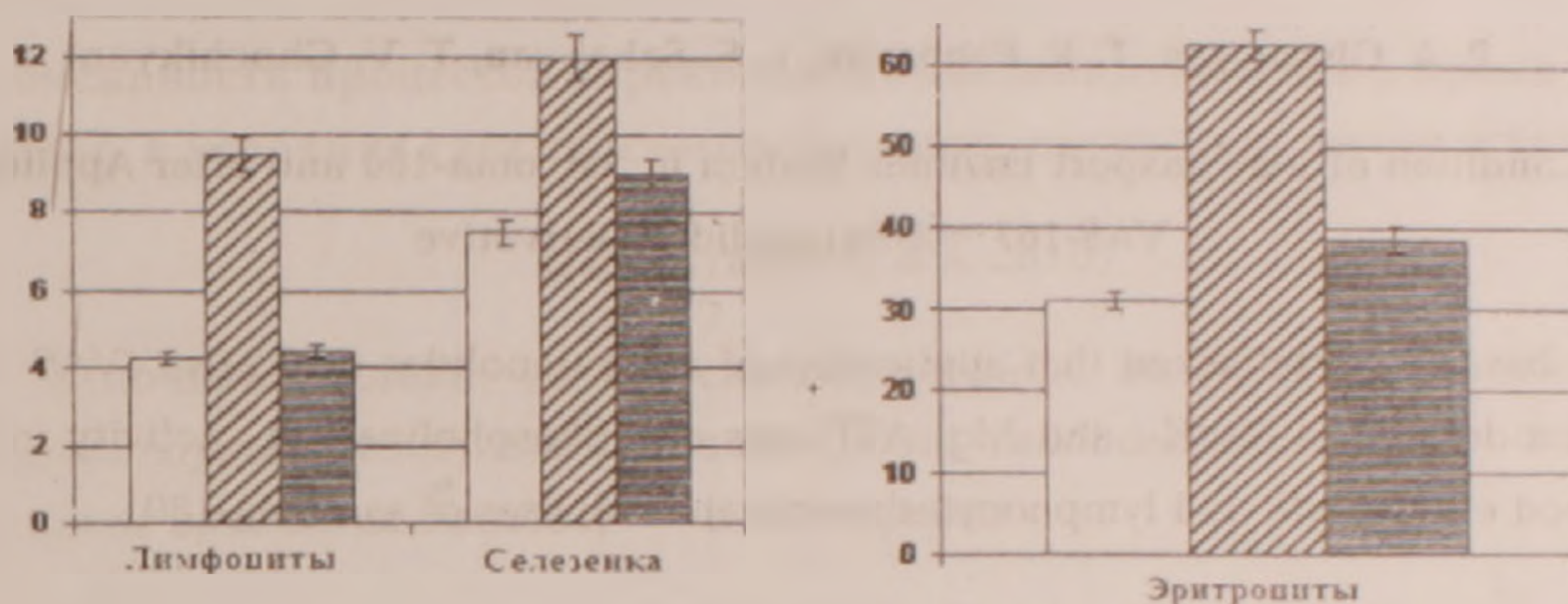


Рис. 4 Изменение активности фосфолипазы А₂ в мембранах эритроцитов и лимфоцитов крови и ткани селезенки при саркоме-180 (в мкг Фн/мг белка)

Обозначения те же, что на рис. 1.

Эффективность применения производного 4-бутанолидов – ВАС-167 в условиях нашего эксперимента, возможно, свидетельствует о его противоопухолевой активности при саркоме-180.

¹ Гематологический центр им. Р.О.Еоляна МЗ РА

² Ереванский государственный университет

П. А. Казарян, Т. Р. Паносян, А. С. Саакян, Т. В. Кочикян

Состояние ион-транспортных ферментных систем при саркоме-180 и после применения ВАС-167 – производного 4-бутанолидов

Установлено, что применение производного 4-бутанолида - ВАС-167 приводит к нормализации активности Na/K-, Mg-АТФаз и фосфолипазы А₂ как в мембранах эритроцитов и лимфоцитов, так и мембранах клеток печени.

Պ. Ա. Ղազարյան, Տ. Ռ. Փանոսյան, Լ. Ս. Սահակյան, Տ. Վ. Ղոչիկյան

Իոնոփոխադրիչ ֆերմենտային համակարգի վիճակը սարկոմա-180-ի ժամանակ եւ
4-բութանոլիդների ածանցյալ՝ ՎԱՍ-167-ի օգտագործումից հետո

Բազահայտված է, որ 4-բութանոլիդների ածանցյալ՝ ՎԱՍ-167-ի օգտագործումը կանոնավորում է արյան էրիթրոցիտների եւ լիմֆոցիտների թաղանթներում, ինչպես նաեւ փայծաղի բջջային թաղանթներում, Na/K-, Mg- АТФ-ազների եւ ֆոսֆոլիպազա Ա₂-ի ակտիվությունը:

P. A. Ghazaryan, T. R. Panosyan, L. S. Sahakyan, T. V. Ghochikyan

The Condition of Iontransport Enzymes System in Sarcoma-180 and after Application
VAS-167 – 4-Butanolides Derivative

It has been established that application of a 4-butanolides derivative (VAS-167) results in a definite of Na/K-, and Mg- ATP-ases and phospholipase A₂ activity in spleen and blood erythrocyte and lymphocytes membranes mouses of sarcoma-180.

Литература

1. Аветисян А.А., Токмаджян Г.Г. - Хим журн. Армении. 1992. N 3-4. Т. 46 С. 219-236.
2. Владимиров Ю.А. - Соревский образовательный журнал. 2000. N6(12) С. 13-19
3. Гончарова Т.А. Влияние озонированного физиологического раствора на функциональное состояние печени крыс в норме и с саркомой-45. Автореф. канд. дис. Нижний Новгород. 1997
4. Ghazaryan P.A., Panosyan T.R., Ghochikyan T.V. et.al. - Blood. 2010. N1(10) P. 25.
5. Казарян П.А., Антонян Ф.Х. Способ определения активности воспалительного процесса при периодической болезни. Авторское свидетельство СССР N4705102/30-14/081292. 1992
6. Нагурадзе Н.И., Грекулова А.Н., Ковтарадзе В.Г. - Бюл. эксперим. биол. и мед. 1993. Т. 125. N 2. С. 135
7. Захарова Н.Б., Рубин В.И. - Лабораторное дело. 1980. 12. С. 735-738

УДК 547.582.3+612.1+599.323.4

Академик К. Г. Карагезян¹, Г. А. Овеян², Г. А. Геворкян², А. Г. Овеян¹

Интенсивность процессов перекисного окисления липидов в крови белых крыс в условиях ганглиосимпатэктомии, ваготомии, соларэктомии

(Представлено 8/X 2010)

Ключевые слова: ганглиосимпатэктомия, ваготомия, солярэктомия, эритроцитарные мембраны, плазма крови, свободнорадикальное окисление, перекисное окисления липидов, α -токоферол

Общеизвестно, что структурная организация и функциональная активность мембранных субклеточных и клеточных элементов зависят также от интенсивности процессов свободнорадикального окисления (СРО), в частности перекисного окисления липидов (ПОЛ). При различных функциональных и патологических состояниях организма наблюдаются изменения в скорости обменяемости липидов, приводящие к количественным сдвигам и перераспределению отдельных представителей, а также пертурбациям в интенсивности течения процессов СРО липидов на уровне мембран как клеточных, так и субклеточных образований [1-3]. В этом плане особый интерес приобретает изучение молекулярно-клеточных механизмов адаптационно-трофического действия вегетативной нервной системы (ВНС) и ее периферических отделов, а также их регуляторной роли в процессах СРО различных органов и тканей, в том числе и крови, как не только внутренней среды организма, но и обязательного фактора поддержки гомеостатических показателей различных органов и систем. Особо важными являются изменения в крови как отражение изменений на клеточно-субклеточном уровне при различных патологических и экстремальных состояниях организма.

Целью настоящего исследования является изучение изменений интенсивности процессов СРО липидов в эритроцитарных мембранах (ЭМ) и плазме крови при односторонней ганглиосимпатэктомии (ГСЭ; удаление правого верхнего шейного симпатического ганглия), двусторонней полдиафрагмальной ваготомии, солярэктомии (удаление солнечного сплетения)

и сочетании двух последних на седьмые сутки после проведенных вмешательств.

Исследования проводились на 100 беспородных крысах-самцах массой 180-200 г. Удаление ганглия (с констатацией синдрома Клода Бернара – Горнера), поддиафрагмальную ваготомию, солитарэктомия и их сочетание производили под легким эфирным наркозом. Крыс декапитировали через 7 суток под легким эфирным наркозом. ЭМ выделяли по методу Лимбера [4], интенсивность ПОЛ определяли по методу Владимирова и Арчакова [5], в основе которого лежит реакция взаимодействия МДА с тиобарбитуровой кислотой. Свободный α -токоферол (α -Т) определяли по методу Дугана [6], диеновые конъюгаты (ДК) и МДА-модифицированные белки – по методу Владимирова и Арчакова [5], ацилгидроперекиси (АГП) – по методу Гаврилова и др. [7], МДА – по методу Йошиоки и др. [8], среднемолекулярные пептиды (СМП) – по методу Владыко и др. [9], а их содержание – спектрофотометрически при 254 нм [9], активность супероксиддисмутазы (СОД) – по методу Нишикими и др. [10], суммарную пероксидазную активность (СПА) – по методу Покровского [11], общий холестерин – по методу Сентебовой [12]. Полученные данные были обработаны по методу Стьюдента и программе SPSS 12.0.

Таблица 1

Изменение интенсивности процессов ПОЛ (в нМ малонового диальдегида/мг белка) эритроцитарных мембран белых крыс при односторонней ганглиосимпатэктомии (абсолютные количества $M \pm m$, % разницы от контроля (К), $n=8$)

Показатели	К	Ганглиосимпатэктомия	% разницы от К
Аскорбат-зависимое перекисление	2.23 ± 0.14	$3.15 \pm 0.20^{**}$	+41.3
NADPH- зависимое перекисление	3.27 ± 0.21	$4.32 \pm 0.29^{***}$	+32.1
МДА-модифицированные белки	0.05 ± 0.01	$0.07 \pm 0.01^*$	+40.0
Диеновые конъюгаты	3.93 ± 0.035	$5.32 \pm 0.40^{****}$	+35.4
α -Токоферол	7.51 ± 0.35	$5.25 \pm 0.33^{**}$	-30.1

Показатели достоверности: *- $p < 0.001$, **- $p < 0.01$, ***- $p < 0.02$, ****- $p < 0.05$.

Результаты проведенных исследований, отраженные в табл. 1, демонстрируют значительное повышение интенсивности как неферментативного – аскорбат-зависимого (АЗП, на 41.3%), так и ферментативного – NADPH-зависимого (НЗП, на 32.1%) ПОЛ в ЭМ при односторонней ГСЭ.

Изменение интенсивности процессов ПОЛ (в нМ малонового диальдегида/мг белка) эритроцитарных мембран белых крыс при двусторонней ваготомии, солярэктомии и их сочетании (абсолютные количества $M \pm m$, % разницы от контроля (К), n=8)

Показатели	Контроль (К)	Ваготомия	% раз- ницы от К	Солярэкто- мия	% раз- ницы от К	Сочетание	% раз- ницы от К
Аскорбат- зависимое переокисление	2.34±0.26	2.96±0.028*	+26.5	3.22±0.27*	+37.6	3.47±0.042*	+48.2
NADPH- зависимое переокисление	3.50±0.19	4.74±0.09*	+35.4	4.43±0.10**	+36.5	4.86±0.09*	+35.9
МДА-модифици- рованные белки	0.053±0.004	0.075±0.005**	+41.5	0.07±0.005****	+32.1	0.079±0.005**	+49.2
Диеновые конъюгаты	3.86±0.092	4.45±0.10**	+15.3	4.88±0.09*	+26.4	5.01±0.073*	+29.8
Ацилгидропере- киси	1.55±0.037	2.04±0.04*	+31.6	1.91±0.04*	+23.2	2.14±0.038*	+38.0
α-Токоферол	7.54±0.10	5.22±0.048*	-30.8	5.43±0.05*	-28.9	4.87±0.049*	-35.4

Показатели достоверности: *-p<0,001, ** - p<0,01, ***-p<0,02, ****-p<0,05

Вследствие усиления процессов СРО в ЭМ содержание МДА-модифицированных белков возрастает на 40.0%, количество диеновых конъюгатов (ДК) на 35.4%, в то время как содержание α -Т уменьшается на 30.1%.

При ваготомии, солярэктомии и их сочетании (табл. 2) в ЭМ АЗП возрастает на 26.5, 36.5 и 48.2% соответственно по сравнению с контролем, а НЗП – на 35.4, 36.5 и 35.9% соответственно. Эти данные свидетельствуют о повышении интенсивности процессов СРО липидов, сопровождающихся выходом значительных концентраций липидных перекисей, что может привести к ярко проявляющимся конформационным и кооперативным изменениям мембранных протеинов, а следовательно, и мембран в целом [1.13], с вымыванием более гидрофильных ацилгидроперекисей (АГП) из гидрофобного окружения мембранных структур. Концентрация АГП при ваготомии, солярэктомии и их сочетании увеличилась на 31.6, 23.2 и 38.0% соответственно, подтверждая вышеуказанное предположение. В то же время при изучаемых экстремальных состояниях содержание МДА-модифицированных белков возрастает на 41.5, 32.1 и 49.2% соответственно, количество ДК – на 15.3, 26.4 и 29.8% соответственно, в то время как содержание α -Т уменьшается на 30.8, 28.9 и 35.4% соответственно. Возможно, эти изменения могут стать основой повреждения ЭМ, поскольку нарушения во взаимоотношениях ПОЛ – антиоксидантная система способствуют структурной реорганизации ЭМ, свидетельствуя об альтерации компенсаторно-приспособительных возможностей мембранных структур. Это коррелирует с данными исследований особенностей изменений интенсивности течения процессов СРО в плазме крови.

Так, при односторонней ГСЭ (табл. 3) заметное возрастание содержания фоновых липидных перекисей (ФЛП, на 36.5%), МДА-модифицированных белков (на 26.2%) и ДК (на 31.2%) сопровождается одновременно проявляющимся чувствительным уменьшением содержания α -Т (на 26.1%).

Эти данные свидетельствуют о заметной интенсификации процессов ПОЛ. При ваготомии, солярэктомии и их сочетании в плазме крови (табл.4) также заметно возрастает содержание ФЛП (на 24.8, 38.3 и 39.6% соответственно), МДА-модифицированных белков (на 28.1, 21.1 и 43.0% соответственно) и ДК (на 20.6, 26.1 и 37.2% соответственно). Это повышение связано с активацией деструктивных процессов, деградацией мембраносвязанных фосфолипидов и активированием на этом фоне интенсивности течения реакций СРО липидов [14]. Немаловажно также и значительное уменьшение содержания α -Т (на 24.3, 18.7 и 31.9% соответственно при ваготомии, солярэктомии и их сочетании). Уменьшение

уровня α -Т в ЭМ и плазме крови чревато серьезными нарушениями физико-химических свойств мембран клеточных образований и их физиологической активности, нарушениями процессов транспорта O_2 , ионного обмена, а также расстройствами в метаболизме липопротеидов плазмы, процессов адгезии и агрегации эритроцитов, тромбоцитов. С другой стороны, это снижение приводит к увеличению содержания АГП (на 27.6, 19.0 и 33.0% соответственно), благодаря α -Т, вымывающему их из каркаса окисленных продуктов.

Таблица 3

Изменение интенсивности процессов ПОЛ (в нМ малонового диальдегида/мг белка), содержания МДА-модифицированных белков, диеновых конъюгатов, α -токоферола, среднемoleкулярных пептидов, общего холестерина в плазме крови белых крыс при односторонней ганглиосимпатэктомии (абсолютные количества $M \pm m$, % разницы от контроля (К), n=8)

Показатели	Контроль (К)	Ганглиосимпатэктомия	% разницы от К
Фоновые липидные перекиси	5.751 ± 0.47	$7.850 \pm 0.60^{****}$	+36.5
МДА-модифицированные белки	0.730 ± 0.06	0.921 ± 0.08	+26.2
Диеновые конъюгаты	4.201 ± 0.27	$5.510 \pm 0.32^{***}$	+31.2
α -Токоферол	1.420 ± 0.09	$1.050 \pm 0.08^{***}$	-26.1
Среднемoleкулярные пептиды	0.150 ± 0.01	$0.191 \pm 0.01^{****}$	+27.3
Общий холестерин	1.43 ± 0.08	$1.750 \pm 0.09^{****}$	+22.4

Показатели достоверности: *- $p < 0.001$, **- $p < 0.01$, ***- $p < 0.02$, ****- $p < 0.05$.

В результате снижения антиоксидантной активности имеет место подавление суммарной пероксидазы (на 10.4, 18.3 и 23.4% соответственно) и СОД (на 21.0, 16.5 и 19.2% соответственно). Эти изменения указывают не только на проявление дисгармонии во взаимоотношении ПОЛ – антиоксидантная система, но и на подавление антирадикальной защиты. Такие расстройства в процессах СРО в ЭМ и плазме крови свидетельствуют о выраженных структурно-функциональных нарушениях при ГСЭ, ваготомии, соларэктомии и сочетании двух последних.

Особый интерес представляет увеличение содержания среднемoleкулярных пептидов при ГСЭ (на 27.3%), ваготомии, соларэктомии и их сочетании (на 49.7, 34.3 и 40.6% соответственно), являющихся субстратами эндогенной

Таблица 4

Изменение интенсивности процессов ПОЛ (в нМ малонового диальдегида/мг белка), содержания МДА-модифицированных белков, дисновых конъюгатов, α -токоферола, среднемолекулярных пептидов, общего холестерина, суммарной пероксидазной активности, активности СОД в плазме крови белых крыс при односторонней ганглиосимпатэктомии (абсолютные количества $M \pm m$, % разницы от контроля (К), $n=8$)

Показатели	Контроль (К)	Ваготомия	% разницы от К	Солярэктомия	% разницы от К	Сочетание	% разницы от К
Фоновые липидные перекиси	5.80 ± 0.038	$7.24 \pm 0.037^*$	+24.8	$7.72 \pm 0.047^*$	+38.3	$8.10 \pm 0.052^*$	+39.6
МДА-модифицированные белки	0.71 ± 0.042	$0.91 \pm 0.047^{***}$	+28.1	$0.86 \pm 0.03^{***}$	+21.1	$1.02 \pm 0.032^*$	+43.0
Дисновые конъюгаты	4.32 ± 0.036	$5.21 \pm 0.034^*$	+20.6	$5.45 \pm 0.037^*$	+26.1	$5.93 \pm 0.039^*$	+37.2
Ацилгидроперекиси	2.21 ± 0.04	$2.82 \pm 0.033^*$	+27.6	$2.63 \pm 0.048^*$	+19.0	$2.94 \pm 0.016^*$	+33.0
Суммарная пероксидазная активность	11.42 ± 0.076	$10.23 \pm 0.054^*$	-10.4	$9.33 \pm 0.06^*$	-18.3	$8.75 \pm 0.064^*$	-23.4
Супероксиддисмутаза	33.80 ± 0.06	$26.70 \pm 0.084^*$	-21.0	$28.20 \pm 0.078^*$	-16.5	$27.30 \pm 0.100^*$	-19.2
α -Токоферол	1.44 ± 0.036	$1.09 \pm 0.032^*$	-24.3	$1.17 \pm 0.036^*$	-18.7	$0.98 \pm 0.034^*$	-31.9
Среднемолекулярные пептиды	0.143 ± 0.006	$0.214 \pm 0.0068^*$	+49.7	$0.192 \pm 0.0044^*$	+34.3	$0.201 \pm 0.0048^*$	+40.6
Общий холестерин	1.51 ± 0.063	$1.76 \pm 0.055^{***}$	+16.6	$1.67 \pm 0.053^{****}$	+10.6	$1.92 \pm 0.053^{**}$	+27.2

Примечание: показатели достоверности * - $p < 0,001$, ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,02$, **** - $p < 0,05$.

интоксикации при различных патологических состояниях и наделенных антиоксидантными свойствами [15], а также общего холестерина (на 22.4, 16.6, 10.6 и 27.2% соответственно), обладающего тормозящим действием на окисление быстроокисляющихся липидов в реакциях СРО, что свидетельствует о возможных компенсаторных пертурбациях в крови при изучаемых экстремальных состояниях.

Результаты проведенных исследований еще раз подтверждают биологическую концепцию Л.А.Орбели об адапционно-трофическом действии ВНС и ее периферических отделов на структурные единицы живой материи.

Выражаем благодарность М.А. Бадалян за активное участие в проведенных исследованиях.

¹ Научно-технологический центр органической и фармацевтической химии НАН РА

² Институт биохимии им. Г. Х. Бунятына НАН РА

³ Ереванский государственный медицинский университет им. М. Гераци

Академик К. Г. Карагезян, Г. А. Овсеп, Г. А. Геворкян, А. Г. Овсеп

Интенсивность процессов перекисного окисления липидов в крови белых крыс в условиях ганглиосимпатэктомии, ваготомии, солярэктомии

Показаны выраженные изменения интенсивности процессов СРО липидов в эритроцитарных мембранах и в плазме крови белых крыс в условиях ганглиосимпатэктомии, ваготомии, солярэктомии и при их сочетании, свидетельствующие о серьезных расстройствах во взаимоотношении перекисного окисления липидов – антиоксидантной системы и состоянии антирадикальной защиты изучаемых биологических структур.

Ակադեմիկոս Կ. Գ. Ղարազյոզյան, Գ. Ա. Հովեյան, Գ. Ա. Գեւորգյան,
Ա. Գ. Հովեյան

Սպիտակ առնետների արյան լիպիդային գերօքսիդացման պրոցեսների
ինտենսիվությունը գանգլիոսիմպատոմիայի, վագոտոմիայի,
սուլարեկտոմիայի պայմաններում

Ցույց են տրված սպիտակ առնետների էրիթրոցիտային թաղանթների եւ
արյան պլազմայի լիպիդների ազատռադիկալային օքսիդացման պրոցեսների

ինտենսիվության արտահայտված փոփոխությունները գանգլիոսիմպաթետիկայի, վագոտոմիայի, սոլարեկտոմիայի եւ դրանց գուգակցման պայմաններում վկայելով նշված կենսաբանական կառույցներում լիպիդային գերօքսիդացում – հակաօքսիդանտային համակարգի հարաբերակցության եւ հակաօքսիդակալային պաշտպանության վիճակի լուրջ խաթարումների մասին:

Academician K. G. Karageuzyan, G. A. Hoveyan, G. A. Kevorkian, A. G. Hoveyan

Intensity of Lipid Peroxidation Processes in Blood of White Rats under Conditions of Gangliosympathectomy, Vagotomy, Solarectomy

The considerable changes in intensity of lipids free radical oxidation processes in white rats erythrocyte membranes and blood plasma are shown under the conditions of gangliosympathectomy, vagotomy, solarectomy and their combination, testifying serious disturbances in interrelations of lipid peroxidation – antioxidant system and antiradical defense status of investigated biological structures.

Литература

1. Бурликова Е.Б., Храпова Н.Г. – Успехи химии. 1985. Т. 4. N9. С. 1540-1558.
2. Владимиров Ю.А., Азизова О.А., Деев А.И., Козлов А.В. –Итоги науки и техники. М. ВИНТИ. 1991. Т. 29. С. 126-130.
3. Амирян Л.А., Овоян Г.А., Бороян Р.Г. –Сборник научных трудов ЕрГМУ. 2000. С. 390-392.
4. Limber G.R., Davie R.F., Baker A.M.S. –Blood. 1970. V.36. N2. P. 111-118.
5. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. В кн.: Перекисное окисление липидов биологических мембран. М. Наука. 1972. 252 с.
6. Duggan D.E. –Arch. Biochem. Biophys. 1959. V.184. P. 116-120.
7. Гаврилов Б.Б., Мишкорудная М.И. –Лабораторное дело. 1983. N3. С. 33-35.
8. Yoshioka T., Kawada K., Shimada T., Mori M. –Amer. J. Obstet. and Gynecol. 1979. V.135. N3. P. 372-376.
9. Владыко А.С., Левицкий Э.П., Поддубная Л.П., Габриелян Н.И. –Анестезиол и реаниматол. 1987. N2. С. 37-40.
10. Nishikimi M., Rao N.A., Jagi K. –Biochem. Biophys. Res. Commun. 1972. V.64. P. 949-956.

11. *Покровский А.А.* –Биохим. методы исследования в клинике. М. Медицина. 1969. С. 349-355.
12. *Сентебова Н.А.* –Лабораторное дело. 1977. №6. С. 375-380.
13. *Карагезян К.Г., Овсян Г.А., Мартиросян А.Г. и др.* –Ученые записки ЕрГУ Ереван. 1999. №2. С. 79-83.
14. *Карагезян М.К., Овссян Л.М., Карагезян К.Г. и др.* –ДАН СССР. 1995.Т.41. №3. С. 408-411.
15. *Галактионов С.Г., Цейтин В.М., Леонова В.И. и др.* –Биоорган. химия 1984 №1. С. 5-17

Академик С. В. Григорян, А. З. Адамян, Г. А. Минасян

О поисковом значении литогеохимических ореолов химических
элементов месторождений и проявлений углеводородов

(Представлено 23/III/2011)

Ключевые слова: *вторичный ореол, аномалия, ореолы выноса и привноса, эталонное месторождение*

Как известно, в основе геохимических методов поисков как минеральных, так и углеводородных месторождений лежит принцип аналогии, когда интерпретация и оценка выявленных в результате различных типов поисковых работ геохимических аномалий производятся путем сравнения их с геохимическими особенностями известных в регионе поисковых работ месторождений. Для более надежной оценки геохимических аномалий в качестве геохимических критериев используются особенности известных (эталонных) месторождений, установленные специальным двух- или трехмерным (если имеются доступные для геохимического опробования буровые скважины, а для рудных месторождений и подземные горные выработки) геохимическим моделированием [1,2].

В условиях Армении из-за отсутствия нефтегазовых месторождений поисковые работы на углеводородные месторождения существенно затруднены, особенно при геохимических поисках, когда выявленные геохимические аномалии не с чем сравнивать: отсутствуют надежные критерии отличия многочисленных рассеянных в пространстве аномалий от таковых, представляющих собой ореолы залежей промышленного значения. В подобных случаях (отсутствии в районе поисковых работ эталонных для геохимического моделирования месторождений), как показывает опыт геохимических поисков последних лет, могут быть использованы результаты геохимического моделирования других месторождений мира. В этом случае, естественно, могут быть использованы только так называемые «универсальные» закономерности состава и строения геохимических ореолов, поскольку локальные особенности

ореолов, определяемые конкретными геологическими условиями, в рассматриваемом случае не могут быть надежными.

Обобщение опыта геохимического моделирования месторождений полезных ископаемых и практического использования выявленных критериев показывает, что к универсальным особенностям геохимических ореолов месторождений полезных ископаемых относятся элементный состав, а также горизонтальная и вертикальная геохимическая зональность литогеохимических ореолов месторождений [3,4].

Локальными являются морфологические особенности ореолов, а также их размеры. Литогеохимические ореолы нефтегазовых залежей, в отличие от минеральных месторождений, менее изучены и по существу не используются при поисках углеводородных месторождений.

Изучение особенностей литогеохимических ореолов известных нефтегазовых месторождений авторами настоящего исследования было начато в 2006 г. при содействии иранской компании "Парс Кани". В результате проведенных работ выполнено литогеохимическое моделирование иранского углеводородного месторождения Тандже Биджар. Выбор этот не случаен. Тандже Биджар является ближайшим к территории Армении углеводородным месторождением Ирана (расположено примерно в 800 км от южной границы Армении).

На описываемом месторождении газовая залежь расположена в меловых отложениях Сарвакской формации. Литогеохимическое моделирование заключалось в опробовании почвенного покрова на площади месторождения по сети 0.5x1.0 км. Было отобрано 705 проб, в которых методом эмиссионного спектрального приближенно-количественного анализа определялись содержания более 30 микрокомпонентов. Из числа этих элементов наиболее надежные результаты были получены для двадцати, чувствительность которых на анализ оказалась достаточной: Cu, Pb, Zn, Ag, Mo, Ba, B, P, V, Mn, Sc, Y, Sn, La, Zr, Ti, Ni, Co, Cr, Li.

Известно, что над залежами углеводородов обычно наблюдаются минеральные новообразования. В терригенных надпродуктивных отложениях широко развиты хлоритизация, серпентинизация, каолинизация, монтмориллонитизация, а также локализация сульфидных новообразований: пирита, халькопирита, сфалерита, киновари. При этом прямая генетическая связь процессов вторичного минералообразования с залежами углеводородов подтверждена практически по всем нефтегазоносным регионам. Несмотря на это литогеохимические ореолы микроэлементов до сих пор не получили практического применения при поисках и разведке нефтегазовых месторождений из-за: 1) слабой контрастности литогеохимических ореолов; 2) недооценки специалистами нефтяного профиля индикаторных возможностей

химических элементов; 3) недостаточного использования достижений в смежных областях, в частности, в прикладной геохимии, при поисках рудных месторождений.

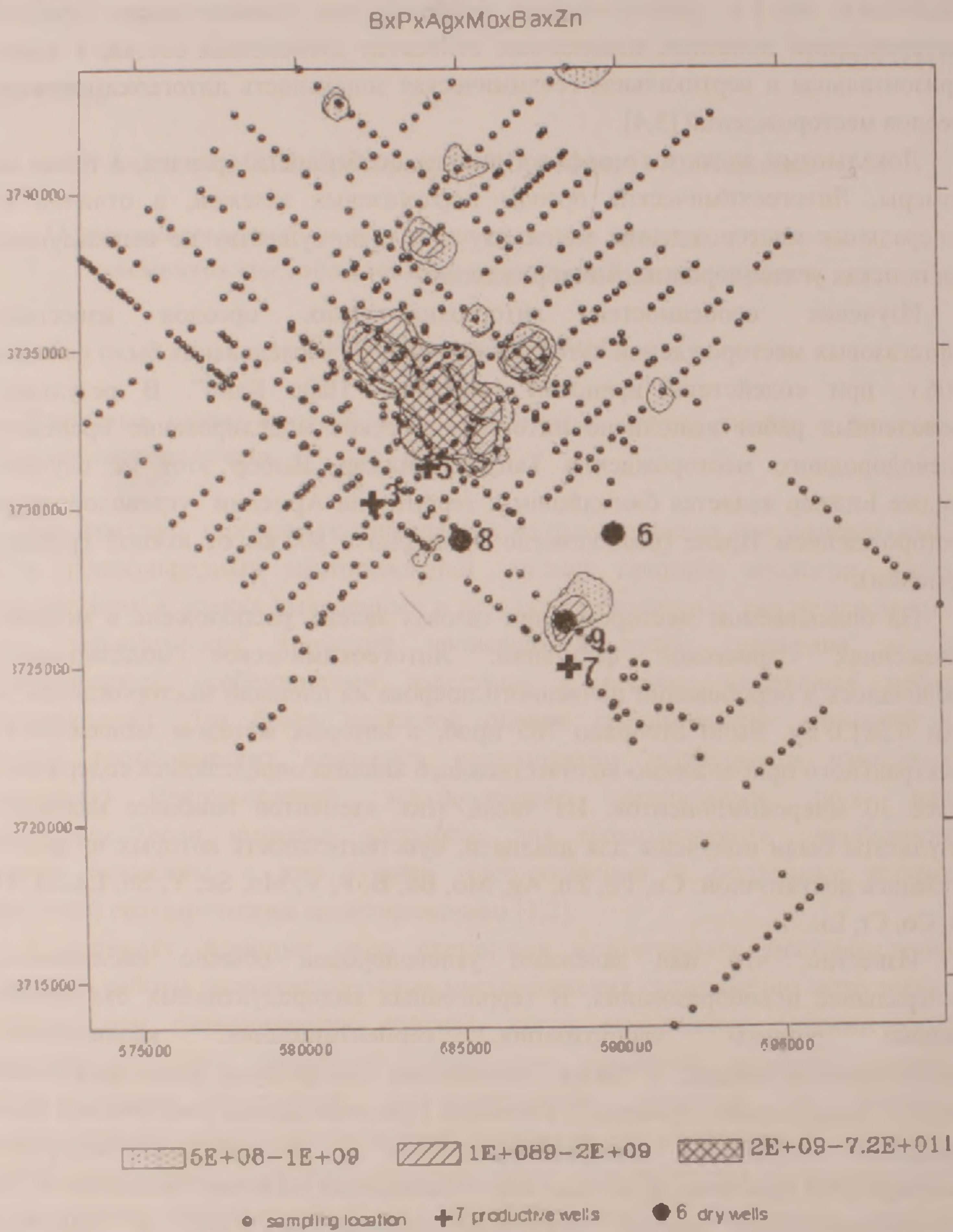


Рис. 1.

Имея в виду упомянутую выше низкую контрастность литогеохимических ореолов микроэлементов нефтегазовых месторождений, при обработке результатов литогеохимического опробования применялась разработанная авторами мультипликативная методика усиления слабоконтрастных геохимических аномалий [5].

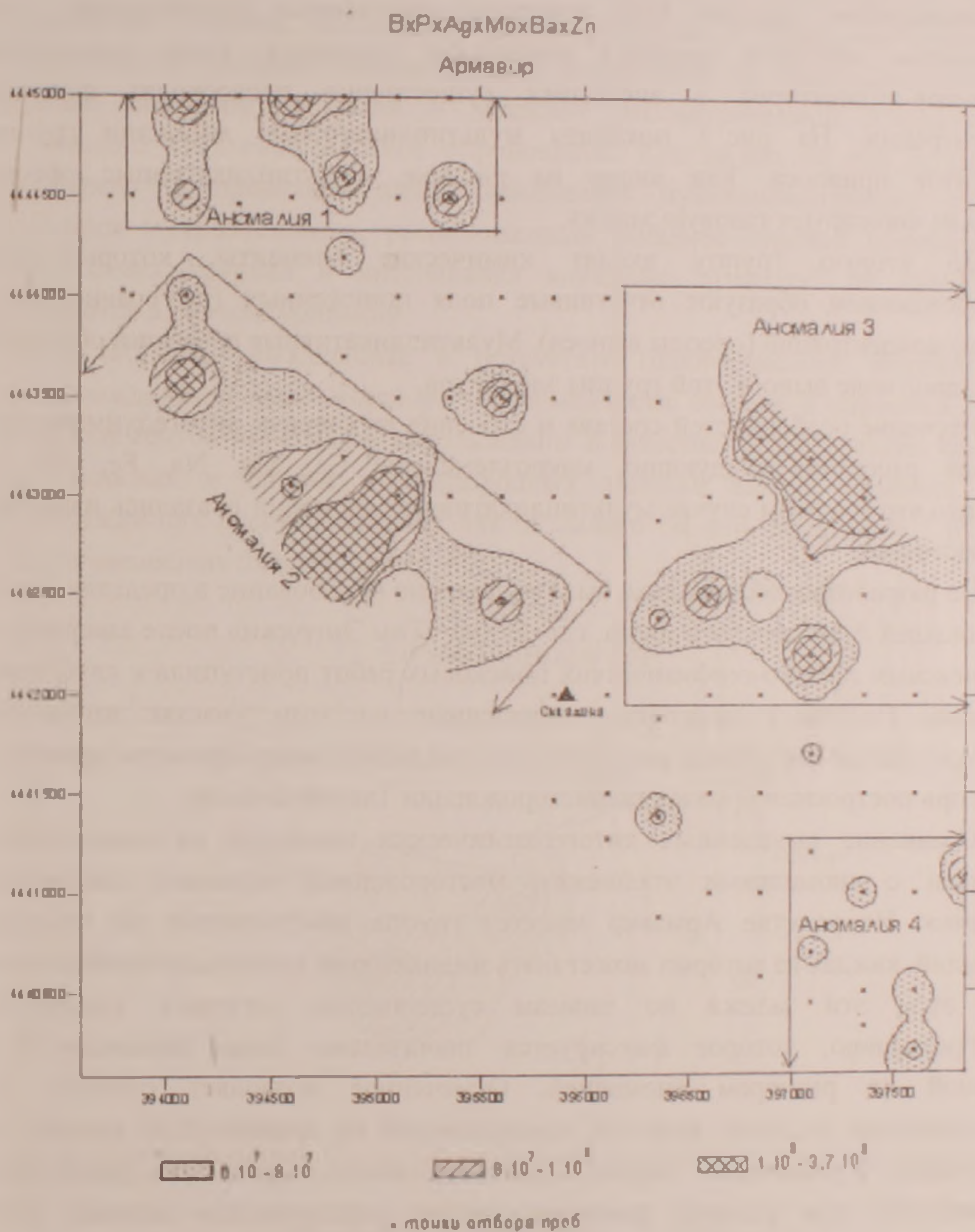


Рис. 2. Вторичные мультипликативные ореолы привноса микроэлементов на участке Армавир.

В результате обработки данных почвенного опробования над месторождением выявлены литогеохимические аномалии всех перечисленных выше двадцати химических элементов.

По особенностям аномалий отчетливо выделяются следующие группы элементов.

В первую группу входят химические элементы, которые над месторождением образуют поля отчетливо повышенных концентраций – так называемые аномалии привноса химических элементов, когда содержания элементов-индикаторов в аномалиях существенно превосходят фоновые концентрации. На рис. 1 показаны мультипликативные аномалии группы элементов привноса. Как видно на рисунке, мультипликативные ореолы локально фиксируют газовую залежь.

Во вторую группу входят химические элементы, которые над месторождением образуют отчетливые поля пониженных (по сравнению с фоном) концентраций (ореолы выноса). Мультипликативные аномалии образуют отчетливое поле выноса этой группы элементов.

Изучение особенностей состава и строения вторичных литогеохимических ореолов рассеяния следующих макроэлементов: Ca, Mg, Na, Fe, Al, Si, показало, что и в этом случае мультипликативные аномалии оказались наиболее контрастными.

По разработанной методике было выполнено опробование в пределах одной из площадей Армавирского марза, где фирма «Тим Энерджи» после завершения комплексных геолого-геофизических поисковых работ приступила к глубокому бурению. На рис. 2 приведены выявленные на этом участке вторичные мультипликативные ореолы рассеяния того же набора микроэлементов привноса, что и при построении ореолов на месторождении Гандже Биджар.

Сравнение выявленных литогеохимических аномалий на описываемой площади с аномалиями эталонного месторождения выявляет следующие различия. На участке Армавир имеется группа разбросанных по площади аномалий, каждая из которых может быть индикатором самостоятельной залежи. При этом эти залежи по запасам существенно уступают эталонному месторождению, которое фиксируется значительно более интенсивной и крупной по размерам аномалией. Отмеченное позволяет считать, что исследованная площадь является перспективной на сравнительно мелкие (по сравнению с эталоном) залежи углеводородного сырья. Это заключение справедливо при условии равенства глубин расположения залежей обеих сравниваемых площадей (~1 км для эталонного месторождения). Естественно, что при большей глубине залежи могут быть более крупными. На основе изложенного было сделано заключение, что бурение скважины с предусмотренными координатами (рис. 2) не приведет к положительным

результатам, поскольку устья скважин находятся за пределами аномалий. Бурение скважины глубиной 12 км положительных результатов не дало, подтвердив тем самым обоснованность отрицательного литогеохимического прогноза.

В качестве другой площади для оценки надежности разработанной литогеохимической методики поисков месторождений углеводородов выбрана Гарнийская площадь, где недавно была пробурена глубокая скважина (более 4 км) Азат-1, которая положительных результатов не дала. Для выяснения причин подобной ситуации в пределах рассматриваемой площади было выполнено литогеохимическое опробование. Как видно на рис. 3, скважина пробурена за пределами литогеохимических мультипликативных аномалий привноса микроэлементов, расположенных западнее буровой скважины; при этом самая крупная и интенсивная аномалия “открыта” на юго-запад и нуждается в доо контурировании.

Таким образом, выявленные в результате геохимического моделирования месторождения Тандже Биджар, закономерности состава и строения орсолов микроэлементов могут быть использованы в качестве геохимических критериев при поисках и оценке углеводородных залежей как в пределах района исследованного месторождения, так и далеко за его пределами в других нефтегазоносных бассейнах.

Гарни
ВхРхАгхМохВахZnxVxMn

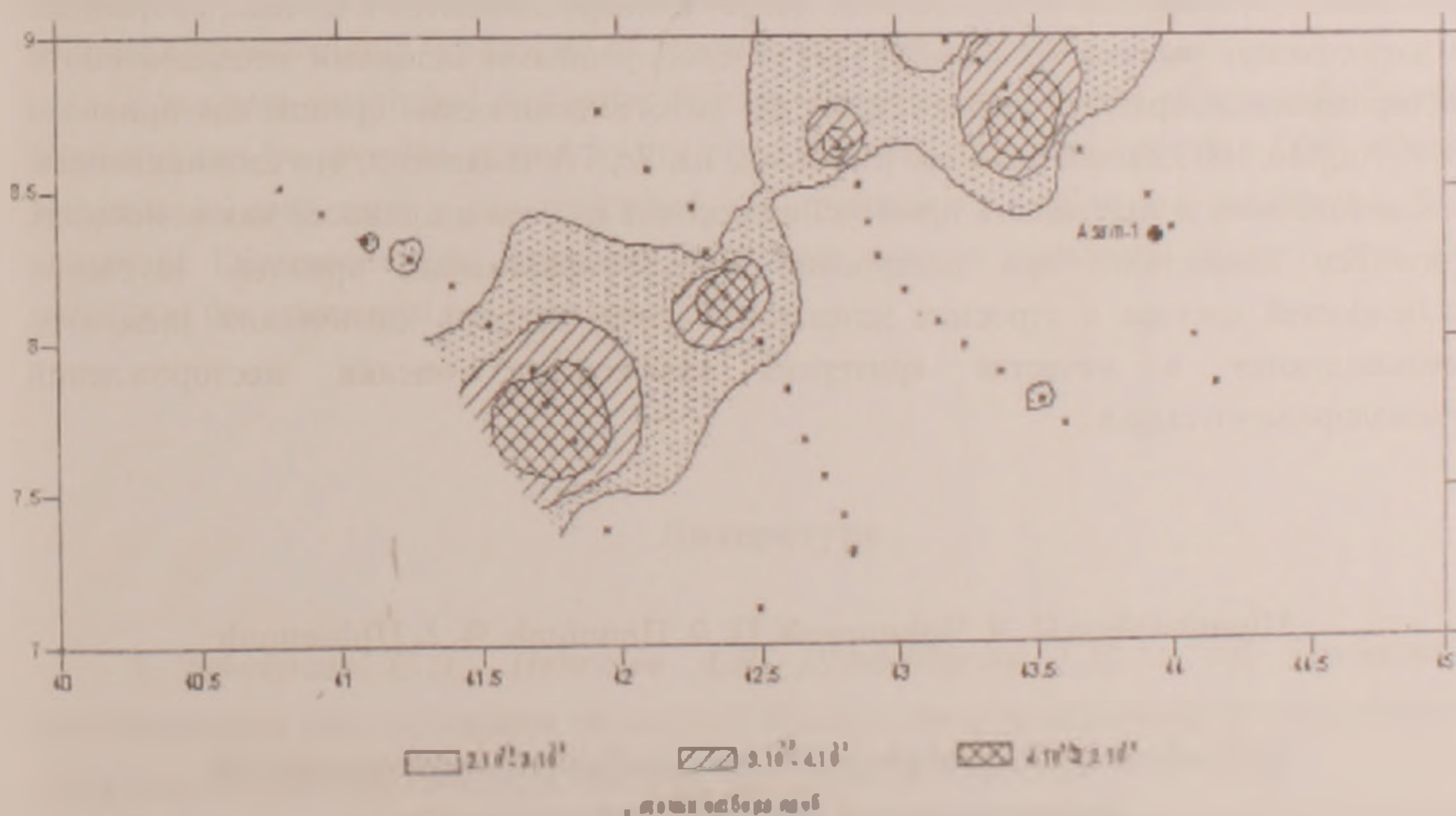


Рис. 3. Мультипликативные ореолы привноса микроэлементов на площади скв. Азат-1.

Выявление контрастных ореолов макро- и микрокомпонентов на месторождениях углеводородов открывает большие возможности для их применения при поисках нефтегазовых накоплений, поскольку эти ореолы, в отличие от газовых (атмогеохимический метод), менее подвержены гипергенным изменениям и по этой причине являются более надежными индикаторами локализованных на глубине нефтегазовых залежей.

Рассмотренная методика наряду с высокой надежностью обладает еще одним немаловажным преимуществом – она требует значительно меньших затрат, чем традиционные комплексные современные методики поисков нефти и газа.

Ереванский государственный университет

Академик С. В. Григорян, А. З. Адамян, Г. А. Минасян

О поисковом значении литогеохимических ореолов химических элементов месторождений и проявлений углеводородов

В результате изучения особенностей распределения более 30 химических элементов вокруг ряда известных месторождений и проявлений нефти и газа было установлено, что группы определенных макро- и микроэлементов в почвах, собранных из автохтонных рыхлых отложений над углеводородными залежами исследованного месторождения, образуют слабоконтрастные литогеохимические ореолы как привноса (B, P, Ag, Mo, Ba, Zn), так и выноса (Sc, Y, Sn, La, Zr, Ti). Выявлено, что интенсивность, а следовательно, и надежность применения ореолов выноса и привноса как поисковых критериев возрастают при построении мультипликативных ореолов. Изучение особенностей состава и строения литогеохимических ореолов химических элементов рекомендуются в качестве критериев поисков и оценки месторождений углеводородного сырья.

Ակադեմիկոս Ս. Վ. Գրիգորյան, Ա. Զ. Ադամյան, Գ. Հ. Մինասյան

Քիմիական էլեմենտների լիթոերկրաքիմիական եզրապսակների
երկրաբանատրոնոդական նշանակությունը

Մի շարք հայտնի հանքավայրերի գազի և նավթի երևակումների շուրջ 30-ից ավելի քիմիական էլեմենտների բաշխման առանձնահատկությունների ուսումնասի-

րության արդյունքում հաստատվել է, որ ուսումնասիրվող ածխաջրածնային հանքայնացումների հանքավայրերի վրա տեղադրված ավտոխտոն փուխր նստվածքներից վերցված հողերում որոշակի մակրո- և միկրոտարրերի խմբերն առաջացնում են թույլ ցայտուն լիթոերկրաքիմիական եզրապսակներ՝ ինչպես ներկրման (B, P, Ag, Mo, Ba, Zn), այնպես էլ դուրսկրման (Sc, Y, Sn, La, Zr, Ti): Հայտնաբերված է, որ ներկրման և դուրսկրման եզրապսակների կիրառման ինտենսիվությունը և հետևապես հուսալիությունը (որպես որոնման չափանիշների) աճում են մուլտիպլիկատիվ եզրապսակների կառուցման դեպքում: Քիմիական տարրերի լիթոերկրաքիմիական եզրապսակների կազմի և կառուցվածքի առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունը խորհուրդ է տրվում կիրառել որպես ածխաջրածնային հումքի հանքավայրերի որոնման և գնահատման չափանիշ:

Academician S. V. Grigoryan, A. Z. Adamyan, G. H. Minasyan

Lithogeochemical Halos of Minor Elements as a Guide to Hydrocarbon Deposits

The article contains the description of the lithogeochemical halos of the wide range of minor chemical elements developed above oil and gaz deposits. These halos are zones surrounding hydrocarbon deposits which are enriched (B, P, Ag, Mo, Ba, Zn) or depleted (Sc, Y, Sn, La, Zr, Ti) in several chemical elements as a result of the introduction or redistribution of these elements during the process of deposits formation.

It has been established that better defined lithogeochemical halos (larger and of greater intensity) can be revealed around hydrocarbon deposits when the contents of the indicator elements in each sample are multiplied and multiplicative halos are constructed. Such composite lithogeochemical anomalies have been used in assessment of two areas. The validity of the assessment has been confirmed.

Литература

1. Зубайраев С.Л., Петухов А.В. Дорогокупец Т.И. и др. Временные методические рекомендации по литогеохимическим исследованиям при поисках месторождений нефти и газа. М. Изд. ВНИИЯГГ. 1984. 60 с.
2. Григорян С.В., Соловов А.П., Кузин М.Ф. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. М. Недра. 1983. 192 с.
3. Григорян С.В., Овчинников Л.Н. В кн: Открытия в СССР. 1979. М. Изд. ЦНИИПИ. 1980. С. 27-29.

4. Григорян С.В., Копин Е.М. В кн: Научные открытия в РФ. М., С.-Пб. Изд. "Международной Академии авторов научных открытий и изобретений". 2000. С. 26.

5. Григорян С.В. Рудничная геохимия. М. Недра. 1992. 396 с.

Ա. Ա. Սահակյան

Մծուրք մայրաքաղաքը և պատմիչ Մարաբ Մծուրնացին

(Ներկայացված է ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ.Հ. Աբրահամյանի կողմից 22/XI 2011)

Առանցքային բառեր՝ Արշակունյան Հայք, առաջին մայրաքաղաք, Սանատրուկ թագավոր, Վաղարշ Երկրորդ, առաջին պատմագիրը Հայոց

Մծուրքը Մեծ Հայքի մայրաքաղաքներից է Տաքունի գավառում: Այն եղել է Հայոց Արշակունիների առաջին նստավայրը I դարի II կեսից մինչև Վաղարշ թագավորի նոր մայրաքաղաքը՝ Վաղարշապատը, II դ. վերջին: I դարում, երբ թե՛ ավերված լինելու պատճառով, թե՛ անվտանգության նկատառումներով Արտաշատը չէր կարող խաղալ նախկին դերը, պարթև Արշակունիները հայկական գահանիստ քաղաք պետք է ընտրեին հնարավորինս իրենց տերությանը մոտիկ՝ Հայքի հարավային սահմանին: Մծուրք (Մսուր) անունը աքքադերեն նշանակում է սահմանային, սահմանից անդին ([1], էջ 157), այսինքն՝ հարավցիների տեսանկյունից՝ միջագետքյան սահմանից դուրս՝ այն կողմ, տվյալ դեպքում՝ Հայաստանում: Հետագայում, երբ հայոց գահը դառնում է տեղական Արշակունիների ժառանգությունը, վերջիններս հայկական քաղաքական շահի թելադրմամբ մայրաքաղաքը վերադարձնում են Արարատյան դաշտ՝ Վաղարշապատ, Արտաշատ, Դվին, նորից Վաղարշապատ և այլն: Ցավոք, մայրաքաղաք Մծուրնը հանիրավի անտեսվել է տեղեկատվական բնույթի գրականության մեջ՝ համարվելով Սանատրուկի արքայանիստ քաղաք կամ նրա նստավայրերից մեկը (տե՛ս [2], հ. 7, էջ 638 (Մծուրն); հ. 10, էջ 176 (Սանատրուկ)): 3. Մարկվարտն ու Հ. Մանանդյանը Արշակունիներին են վերագրել նրա հիմնադրումը, իսկ Պ. Անանյանն ու Գ. Աբգարյանը Մծուրնը համարել են մայրաքաղաք:

Այնուամենայնիվ, պետք է ի մի բերել բոլոր դիտարկումները և նորովի կարևորել Փավստոս Բուզանդի, Մովսես Խորենացու և Սեբեոսի տվյալները:

Միայն Փավստոսը գիտի, որ Մծուրքը տարբեր է Մծբնից և, իբր, շինված է Սանատրուկ արքայի կողմից Եփրատի (Արածանի) և նրա ձախ վտակի (Մեղրագետ) գետախառնուրդում (Փավստոս Բուզանդ, IV, գլ. ԺԴ): Հավանաբար լքվել ու անբնակ է դարձել արդեն IV-V դդ. ընթացքում՝ 363 թ. Շապուհի ավերիչ արշավանքի հետևանքով, ինչպես նկատել են Հ. Մանանդյանը և Պ. Անանյանը: Մովսես Խորենացին և Սեբեոսն այդ քաղաքը չգիտեն և նրա անունը շփոթում են Մծբնի հետ: Այն, ինչ հայտնի էր Մծուրքի մասին, Մ. Խորենացին վերագրել է Մծբնին: Այսինքն, ըստ Մ. Խորենացու, Մծուրքի փոխարեն առաջին մայրաքաղաքը Արշակունիների օրոք եղել է Մծբինը, Մծուրքի երկրաշարժը եղել է Մծբին քաղաքում, և նրա վերաշինողն էլ դարձել է Սանատրուկը (Մ. Խ., II, գլ. ԼԶ) և ոչ թե հիմնադիրը, ինչպես գրում է Փավստոսը: Չէ՞ որ քաղաքը վաղուց կար և մայրաքաղաք հռչակվեց առաջին Արշակունի թագավոր Տրյատի կողմից: Խորենացին ստիպված է երկու օտար քաղաք հռչակել Հայոց մայրաքաղաք. նախ Մծբինը՝ Վաղարշակի օրոք, ապա Եդեսիան՝ Աբգարի օրոք, որից հետո մայրաքաղաքը տեսնում ենք Հայաստանում՝ Սանատրուկի օրոք: Բայց առանց անունը տալու, որովհետև Խորենացին գրում է. «Յետ մահուանն Աբգարու բաժանի թագաւորութիւնն Հայոց յերկուս. Քանգի Անանուն որդի նորա կապեաց թագ՝ թագաւորել յԵդեսիա, և քեռորդի նորա Սանատրուկ ի Հայս» (Մովսես Խորենացի, II, ԼԴ): Հետագա շարադրանքից է երևում, որ մայրաքաղաքը մնում է նախկինը՝ Արմավիրը (Մովսես Խորենացի, II, ԼԹ), որին էլ հաջորդում է Երվանդաշատը, որից հետո խոսվում է Արտաշատի հիմնադրման մասին:

Իրականում, եթե բազմազգ Եդեսիան, որպես Հայոց մայրաքաղաք և Աբգար արքայի նստավայր, ծրագրային էր Մ. Խորենացու համար, որովհետև առաջին քրիստոնյա արքա Աբգարը իշխում էր, ըստ նրա, Հայաստանում, հետևաբար այնտեղ էր նաև մայրաքաղաքը, ապա Մծբինը, որպես Հայոց մայրաքաղաք, ծրագրային արժեք չունի և հատկապես շփոթելու արդյունք է: Հայագիտության մեջ արդեն ընդունված փաստ է, թե ինչպես է զրչության ընթացքում Մծուրնը շփոթվել Մծբնի հետ ([3], էջ 147-153, ինչպես նաև ծան. 9, 52), իսկ Ն. Ակինյանի և այլ բանասերների կարծիքները տե՛ս ([4], էջ 194, ծան. 9, էջ 203-204, ծան. 52): Եթե Մ. Խորենացին իմանար, որ Մծուրնը Վաղարշակի նստավայրն է, միևնույն է, Աբգարին պիտի գտնեինք իր

տեղում՝ Եդեսիայում, որից հետո Սանատրուկը գահը պիտի նորից վերադարձներ Մծուրն, ինչից ոչ մի հայեցակարգային փոփոխություն չէր լինի։ Ավելին, պատմահայրը ստիպված չէր լինի հորինել երկու Մծբնապատում՝ հիմնվելով միայն անունների ստուգաբանման հայտնի ժողովրդական մեթոդի վրա։ Առաջինն այն է, որ Վաղարշակ արքայի պատվիրակն ասորի է, դրա համար էլ կոչվում է Մար (=Տեր) Աբաս, որը վաղուց կործանված Նինվեի չեղած արխիվից գտնում է Ալեքսանդր Մսկեդոնացու պատվերով քաղդեերենից հունարենի թարգմանված մատյան, որից քաղում է հայկական նյութերը և երկու լեզվով՝ հունարեն ու ասորերեն, ներկայացնում է Վաղարշակի ուշադրությանը, որն էլ որոշ բաներ արձանագրել է տալիս։ Փաստորեն ստացվում է, որ Հայոց նախնական պատմության քաղագրողը մծբնացի ասորի է, դրա համար էլ պատմահայրը նախընտրել է նրան կոչել ոչ թե փիլիսոփա, ինչպես Սեբեոսը, այլ Կատինա, որը հեշտորեն առաջ է եկել Կատիպա (= դպիր, գրագիր) բառի աղավաղման արդյունքում, ինչպես նշել է Պ. Անանեանը ([5], էջ 50-51)։ Էլ չասած, որ Մար Աբաս անունը բացակայում է ասորական անվանացանկերում, դրա համար էլ Մ. Խորենացու «Պատմության» ձեռագրերի զգալի մասում գրիչներն այն մոտեցրել են իրական ասորական Մարիբասին։ Այդ անվամբ հայտնի է նաև VI դարի ասորական մի «Ժամանակագրության» հեղինակ [6]։

Մյուս մծբնապատումը, որ ենթադրում է Մ. Խորենացին, բխում է Մծբին անվան հայկական գրչական ու արտասանական մի տարբերակից՝ Մծուին, որն էլ, հավանաբար, Խորենացու կողմից դարձյալ ժողովրդական ստուգաբանական եղանակով բացատրվել է հայերենի հիման վրա։ Մրծուին<Մրծուեն, որ նշանակում է մեկ բեկոր, դրամածվեն։ Այդպես հին և միջնադարյան Հայաստանում կարող էր կոչվել մետաղադրամից հատված տասնորդական մասը։ Ահա, հավանաբար, այս իմաստը համադրելով Մծբին քաղաքի մի անդրու հետ, որի ձեռքին ի ցույց էր դրված մեկ դրամ, պատմահայրը համարել է, որ արձանագործը պատկերել է Սանատրուկ արքային, որն իր ողջ գանձարանն իբր ծախսել է երկրաշարժից ավերված Մծբինը վերաշինելու համար, և իրեն մնացել է միայն մի ծվեն, որից էլ ենթադրվում է, որ առաջացել է քաղաքի անվանումը՝ Մրծուին։ Իրականում, Սանատրուկը վերաշինել է Մծուրն քաղաքը Տարոնում։ Ի դեպ, քանի առիթը ներկայացել է, արժե նշել նաև մի ստուգաբանական լեզենդ, որ օգտագործել է Մ. Խորենացին Սանատրուկ անունը բացատրելիս՝ իբր Սանոտի տված։

Սանատրուկի դայակ Սանոտը, որ Բյուրատ Բագրատունու քույրն է և Խոսրեն Արծրունու կինը, երեխայի հետ ընկնում է ձնաքթի մեջ և երեք օր ու գիշեր, ձյան մեջ թաղված, նրան պահում իր ստինքների տաքությամբ, մինչև ձնածածկույթի տակից նրանց դուրս է բերում «...կենդանի իմն նորահրաշ սպիտակ յաստուծոցն առաքեալ» (Մ. Խ., II, ԼԶ): Լույս աշխարհ ելնելու հրաշքն առնչվում է Սանատրուկ անվան գիտական ստուգաբանությանն՝ ըստ իրանագետ Ա. Փերիխանյանի (Sanat-ruk = բարձրացող լույս, այլև՝ լուսաբեր, կամ էլ, առասպելի տեսակետից հավանական է՝ ծագող առավոտ՝ որպես աստվածներից մեկի մականուն) ([7], էջ 81-82): Որքան էլ պատմահայրը Սանատրուկի անձը գրեթե խճճել է առասպելական ու մտացածին սյուժեների մեջ՝ փորձելով նրա գործերն արհեստական ձևով կապել Մծբնի հետ, իսկ անունը ստուգաբանել հայերեն, միննույն է, պատմական Սանատրուկը մեկընդմիջտ կապված է Մծուրնի վերաշինման, ինչպես վկայում է Փավստոսը, և վաղ քրիստոնյաների հալածանքների հետ, ինչպես վկայում է Սանդուխտի վկայաբանությունը՝ նախ և առաջ հերոսուհու անվամբ, որ նշանակում է Սանի (Սանատրուկի) դուստր: Երկու վկայություններն էլ՝ Մծուրն մայրաքաղաքը և Սանդուխտ կույսը, Սանատրուկին ապահովապես տեղադրում են I դ. վերջերին: Այդ է պատճառը, որ պատմահայրը նրան հաջորդ է կարգել I դ. քրիստոնյա Աբգար արքային՝ դարձնելով նրան հակոտնյա և քրիստոնեության հալածիչ: Սրանով անուղղակի ձևով հավաստվում է, որ I դ. վերջերին հայոց մայրաքաղաք Մծուրնում եղել է քրիստոնյա համայնք: Անուղղակի ենք ասում, որովհետև այն, ինչ ասվում է Մծբնի մասին, հայագիտության մեջ ընդունված կարծիքի համաձայն, վերագրելի է Մծուրնին:

Մ. Խոսրենացու Մծբինը երբևէ Մծուրնի հետ չէր առնչակցվի հայագետների կողմից, եթե Սեբեոսի «Պատմության» մեջ չպահպանվեր «Նախնական Պատմության» հեղինակի անվան մյուս տարբերակը՝ Մարաբա փիլիսոփա Մծուրնացի, որից պարզ է դառնում, որ Խոսրենացու Մար Աբասը ոչ թե Մծբնացի, այլ Մծուրնացի է: Ճիշտ է, Սեբեոսը ևս շփոթում է երկու քաղաքները, բայց կա մի վկայություն, որ օգնում է տարբերակել Մծուրքը Մծբինից. «Յայնմ ժամանակի թագաւորեցոյց Արշակ զորդի իւր զԱրշակ Փոքր կոչեցեալ ի վերայ աշխարհիս Հայոց ի Մծբին քաղաքի» (Սեբ., էջ 53): Սրան հաջորդում է հայոց սահմանների թվարկումը, որից հետո Արշակը փոքր Արշակին ուղարկում է «ի Մրժանայ ընդ յարևմուտս...» (էջ 54), որ կարծես հուշում է, թե Արշակ Փոքրի նստավայր Մծբինը իրականում եղել է

Մծուրնը: Իսկ ահա քիչ հետո, հայոց և պարթևաց արքայացանկը ներկայացնելու ժամանակ, Սեբեոսը գրում է. «Արդ թագաւորէ Արշակն Փոքր կոչեցեալ յամի հարիւրերորդի քսան և իններորդի թագաւորութեան Արշակայ՝ հաւր իւրոյ ի վերայ Հայաստան երկրի ի Մրծուին քաղաքի...» (Սեբ., էջ 54): Այս վկայությունը ևս հաստատում է, որ թեկուզ Սեբեոսը չի գիտակցել, բայց նրա աղբյուրի հեղինակը՝ Մարաբր, շատ լավ տարբերակել է երկու քաղաքները: Եթե այդպես է, հարց է ծագում, թե ինչու առաջին թագավորի անունը նույն աղբյուրի երկու տարբերակներում տարբեր է. ըստ Մ. Խորենացու՝ Մար Աբայի՝ Հայքում թագավորում է Արշակ Պարթևի կրտսեր եղբայր Վաղարշակը, ըստ Սեբեոսի՝ Մարաբայի՝ Արշակ Պարթևի որդի Արշակ Փոքրը: Խնդիրը հետաքրքրական է նաև այնու, որ VI դ. հույն պատմիչ Պրոկոպիոս Կեսարացին, վկայակոչելով իր աղբյուրն իբրև «Հայոց Պատմություն», ըստ Ադոնցի, նկատի ունենալով Փավստոս Բուզանդին, գրում է, որ Հայքում Արշակունի առաջին թագավորը պարթևների արքայի եղբայր Արշակն էր: Ստացվում է, որ Պրոկոպիոսը, ուրույն տեղեկություն ունենալով, երկուսին էլ մասամբ նման է. մեկին՝ անունով, մյուսին՝ արենակցության բնույթով ([8], էջ 280): Ինչու է այդպես: Արդյո՞ք այն պատճառով, որ Մարաբ Մծուրնացու և նման հին աղբյուրներում Արշակ անունը գործածված է իբրև թագավորական տիտղոս՝ ընդունված վաղ Արշակունիների արքունիքում՝ իբրև մի ավելի հին ավանդույթից եկող տոհմական ժառանգություն: Հարցը որոշակի դրական պատասխան կարող է ստանալ, եթե հաշվի առնենք Մ. Խորենացու կողմից Վաղարշակին տրված ծագումը:

Այդ դեպքում օրինաչափ կլինե՞ր երկու և ավելի Արշակներին տարբերակել ըստ արենակցության աստիճանի կամ ըստ ավագության կարգի: Որտեղի՞ց այն հայտնվեց պատմահոր մտքում, չէ՞ որ երկու աղբյուր անվանում են Արշակ (Սեբեոս, Պրոկոպիոս): Բացատրության բանալին դարձյալ թաքնված է հորինովի Մծբնապատումի մեջ: Ըստ պատմահոր տրամաբանության՝ եթե մայրաքաղաքը Մծբինն է, Նինվե գործուղվողը ասորի դպիր Մար Աբասն է, ապա պատվիրատու արքան առաջին Արշակունին է Հայքում: Որպես այդպիսին, բնական է, որ նա կամենա իմանալ երկրի նախկին տերերի պատմությունը, ճանաչի այդ երկրի իշխանների նախնյաց գործերը: Ահա, առաջինը «Պատմություն» պատվիրողի ֆունկցիան. ըստ Խորենացու, հատուկ է առաջինը զսահակալողին. հետևաբար, եթե հայտնի է պատվիրատու արքայի անունը,

ուրեմն հայտնի է նաև առաջին գահակալի անունը: Հավանաբար «Հայոց նախնական պատմության» հեղինակ Մարաբ Մծուրնացու հիշատակարանային տեղեկության մեջ նշվում էր, որ իր գործի պատվիրատու-ստացողը Հայոց Վաղարշ թագավորն է, որը մինչև նոր մայրաքաղաք հիմնելը նստում էր Մծուրնում II դ. վերջերին: Սա այն Վաղարշն էր, որի օրոք հայոց գահը հռչակվեց տեղի Արշակունիների ժառանգություն, ուստի և օրինաչափորեն ծնվեց սեփական երկրի պատմությունն ունենալու պահանջ:

Արժե նշել, որ Վաղարշակին Խորենացու կողմից վերագրվում է ևս մի արարք, որ պատկանում է պատմական Վաղարշին: Դա հայոց գահը տեղական Արշակունիների ժառանգություն հռչակելն էր: Մ. Խորենացին գրում է. «Եւ քանզի բազում ունէր (Վաղարշակը – Ա. Ս.) ուստերս, պատշաճ վարկաւ ոչ ամենեցուն առ իւր կալ ի Մծբին (կարդա՛ Մծուրք – Ա. Ս.) վասն որոյ առաքէ զնոսա բնակել ի գաւառն Հաշտենից և ի ձորն նորին սահմանակալ, որ է արտաքոյ Տարոնոյ... Եւ միայն գառաջին որդին իւր... պահէ առ իւր... և զնորին ուստր... Եւ եղև այս յայնմ յետէ և առ յապայ օրէնք ի մէջ Արշակունեաց՝ միոյ որդւոյ բնակել ընդ արքայի՝ փոխանորդ լինել թագաւորութեանն...» (Մ. Խ., II, գլ. C): Այստեղ ուշադրության արժանի է հատկապէս այն փաստը, որ ոչ թագաժառանգներին հատկացված տարածքը համարում է «արտաքոյ Տարոնոյ»: Ի՞նչ կապ ունի Տարոնը, եթե Մծբին քաղաքանվան փոխարեն չնկատենք Մծուրնը, որը գտնվում էր այն ժամանակ ոստանիկ համարվող Տարոնում:

Փաստորեն, թե՛ Խորենացին, թե՛ Սեբեոսը, Մծուրքի փոխարեն մայրաքաղաք համարելով Մծբինը, հակասության մեջ են ընկնում, երբ Մծբնի փոխարեն երբեմն նշում են Մծուրնը: Սեբեոսի դեպքում այդ ինքնահակասման օրինակը պարզ է և բերված է վերևում, իսկ Խորենացու դեպքում ինքնահակասման օրինակ գտնում ենք գահաժառանգի բնակեցման կարգում նշված «արտաքոյ Տարոնոյ» արտահայտության մեջ, որովհետև այդտեղ թաքնված է Մծուրքի հետքը: Որտեղից հիշյալ պատմիչների մոտ հայտնվեցին իրական Մծուրնի հետքերը: Սեբեոսի մոտ՝ Փալսատոս Բուզանդից, Խորենացու մոտ՝ թե՛ Փալսատոսից, թե՛ Մարաբ Մծուրնացուց:

Կարծում ենք, որ պատմահոր գիրքը ոչ թե կտուժի, այլ կշահի, եթե նրանում եղած «Մծբինը» կարդանք «Մծուրք», բացի մի քանի դեպքերից, որոնք վերաբերում են իսկական Մծբին քաղաքին, օրինակ, Հակոբ Մծբնացի.

պարսից կամ հունաց գորքերի կայանատեղ (Մ. Խ., II, գլ. 2Թ, III, գլ. Է, ԿԷ),
Եդեսիա տարվող Մծբնի կուտքեր (II, ԻԵ):

Այսպիսով, Վաղարշակ անունը համարելով Մ. Խորենացու
տրամաբանության պտուղ, դրա հետ համադրելով Հայքի առաջին
Արշակունի թագավոր Տրդատի պատմական անունը, կմնա ընդունել, որ
Սեբեոսի և Պրոկոպիոսի «Արշակը» տիտղոսային ծագում ունի: Իսկ թե որն է
ավելի նախընտրելի, որդի՞, թե՞ կրտսեր եղբայր, կարելի է ասել երկրորդը՝
հաշվի առնելով, որ իրական պատմական Տրդատի արյունակցությունը և
Խորենացու, Պրոկոպիոսի տվյալները վկայում են հոգուտ եղբոր:
Զմոռանանք, որ միջպետական պաշտոնական հարաբերությունների մեջ
կախյալ երկրի թագավորը սյուզերենին դիմում էր իբրև ավագ եղբոր կամ
հոր, բայց արդեն անկախ արյունակցությունից:

Դառնալով Մծուրքին՝ ասենք, որ պատմական այդ քաղաքի հիշատակը
մնացել է ոչ միայն նրա նշանավոր քաղաքացու անվան մեջ ու Փափստոս
Բուզանդի IV դարության ԺԴ գլխում, այլև ժողովրդական վիպական
ավանդույթում՝ իբրև «Սասնա Շռերի» տեղագրությունից հայտնի Մըսըր
քաղաք, Մըսրա Մելիքի նստավայր: Մըծուր>Մըսըր անցումը կարելի է
ենթադրել արաբական տիրապետության շրջանում՝ որպես օտար
ազդեցության արդյունք: Ինչպես Մծբին<Նիսիբին, Մուծածիր<Մուսասիր և
այլն: Իրոք, մի կողմից էպոսին հատուկ է նեղ տեղային աշխարհագրություն
պատմական անուններով, որքան էլ էպիկական գեղարվեստական
տարածությունը ներառի անորոշ ու հեռու վայրեր, որոնք ժողովրդական
վեպի պոետիկայում ունեն այլ ֆունկցիա: Էպոսագետները, անտեսելով
Մծուրք-Մըսըր նույնությունը, զուր ջանքեր են թափել Մըսըր քաղաքը
հեռավոր ափերում տեղադրելու (Մոսուլ, Մըսր=Եգիպտոս), փոխանակ այն
տեսնելու հենց Սասունի հարևանությամբ, որի հետ սահմանային կետ է
նշվում Բաթմանա կամուրջը (տե՛ս [9], էջ 520): Միանշանակ երևում է, որ
էպոսի ձևավորման փուլում Սասնա հարևանությամբ եղած Մըսրա Մելիքի
երկիրը բնակեցված էր արաբական ցեղերով, դրա համար էլ հակադրվել են
երբեմնի հայաբնակ երկու գավառներ՝ Սասուն և Մծուրք (=Մըսըր): Էական
պետք է համարել նաև այն փաստը, որ հակառակորդ երկիրը կոչվում է նրա
կենտրոնի՝ Մըսըր քաղաքի անունով, մի բան, որ նույնպես առնչվում է
Մծուրքի երբեմնի ունեցած փառքի հետ:

Այսօր այդ փառքը փլատակների տակից կարող է հառնել, եթե
Փափստոսի նշած վայրում կատարվեն հնագիտական պեղումներ, և եթե նրա

միակ հայտնի քաղաքացու՝ Մարաբի անձն ու գործը կարևորվեն ըստ իրական արժանիքների և ոչ թե ըստ կասկածամիտ հայազետների, ովքեր նրա մասին իրենց պատկերացումները ձևավորել են Խորենացու հանդեպ ունեցած վերաբերմունքի համաձայն:

...

Արդ, ո՞վ է Մարաբա փիլիսոփա Մծուրնացին կամ Մար Աբաս Կատինա Մծբնացին: Սեբեոսի մոտ նա հիշատակվում է մեկ անգամ, այն էլ հիշատակարանային նախաբանում: Մեջբերումը կատարվում է ըստ մեր վերակազմության. «Անդ նայելով ի մատենան Մարաբայ փիլիսոփայի Մծուրնացոյ, զոր իմ գտեալ ի Միջագետս ի նորին աշակերտացն կամեցայ ձեզ գրուցակարգել զամս (և զաւուրս հինգ)՝ թագաւորացն Հայոց և Պարթևաց, զոր [ոմն ի նոցանէ] եգիտ դրոշմեալ ի վերայ արձանի ի Մծբին քաղաքի, յապարանսն Սանատրուկ արքայի, հանդէպ դրան արքունական տաճարին, ծածկեալ յաւերածի արքունական կայենիցն: Քանզի զսիւնս տաճարին այնորիկ խնդրեալ ի դուռն արքային Պարսից և բացեալ զաւերածն վասն սեանցն՝ աստ դիպան արձանագրին՝ դրոշմեալ ի վերայ վիմի յունարեն դպրութեամբ, քանզի այս ունէր վերնագիրն այսպէս. «Ես՝ Ագաթանգեղոս գրիչ...» և այլն: Մատյանի հեղինակի անունը Սեբեոսը կիրառել է սեռական հոլովով, որի ուղղականը պետք է լինի Մարաբ փիլիսոփա Մծուրնացի: Ստ. Մալխասյանը Սեբեոսի Պատմության հրատարակությունն օժտել է գլխակարգումով, որտեղ I գլխի բովանդակությունը ներկայացրել է համառոտ բնութագրերով, որոնցից երկրորդը վերնագրել է այսպէս. «Մատենան Մարաբայ փիլիսոփայի Մծուրնացոյ»: Ստ. Մալխասյանը քանի որ հեղինակի անվան ուղիղ ձև է համարել Մարաբայ, ոչ թե Մարաբ, հետազոտողները մեխանիկորեն շարունակել են այդպէս էլ անվանել՝ չնկատելով, որ Սեբեոսի մոտ ծավալուն հատկացուցչի բոլոր երեք անդամներն էլ առնված են հոլովական համաձայնությամբ: Այսինքն, եթե անվան ուղիղ ձևը լինէր Մարաբայ, ապա եռանդամ հատկացուցիչը կլիներ՝ Մարաբայի փիլիսոփայի Մծուրնացոյ:

Այժմ քննենք Մ. Խորենացու վկայությունները, որոնք թվով յոթն են, թեկուզ մեկը վերնագրային է:

* Գրչական հավելում ըստ հիշատակարանի I պարբերության, որ կարելի է որակել իբրև մեխանիկական կրկնություն:

1. «Եւ գտեալ զոմն ասորի Մար Աբաս Կատինայ, այր ուշիմ և վարժ քաղղեացի և յոյն գրով, զոր յդէ առ եղբայրն իւր Արշակ Մեծ արժանի ընծայիւք, բանալ նմա զղիւանն արքունի» (Մ. Խ., I, գլ. Ը):

2. «Եւ ընկալեալ Արշակայ Մեծի զգիրն ի ձեռաց Մար Աբայն Կատինայ՝ մեծաւ լրջմտութեամբ հրամայէ առաջի առնել նմա զղիւանն արքունի որ ի Նինուէ» (Մ. Խ., I, գլ. Թ):

3. «Յայսմ մատենէ Մար Աբաս Կատինայ զմերոյ ազգիս միայն հանեալ զպատմութիւն հաւաստի՝ բերէ առ Վաղարշակ արքայ ի Մծբին յոյն և ասորի գրով: Զոր առեալ... Վաղարշակայ... դնէ յարքունիսն ի պահեստի... և զմասն ինչ յարձանի հրամայէ դրոշմել» (Մ. Խ., I, գլ. Թ):

4. «Բայց թեպէտ և ոչ ի բուն մատեանսն, սակայն որպէս Մար Աբաս Կատինայ պատմէ՝ ի փոքունց ոմանց և յաննշանից արանց, ի գուսանականէն այս գտանի ժողովեալ ի դիւանի արքունեաց» (Մ. Խ., I, գլ. ԺԴ):

5. «Այլ հաւաստի մեզ թուեցաւ որ ի Մար Աբայն Կատինայն է քննութիւն քաղղեական մատենից քան զայսոսիկ, քանզի ոճով իմն ասէ և զպատճառս պատերազմին յայտնէ» (Մ. Խ., I, գլ. ԺԸ):

6. «Աստանոր սպառին բանք ծերունւոյն Մար Աբայ Կատինայ» (Մ. Խ., II, գլ. Թ):

7. «Եթէ ուստի եզիտ զպատմութիւնն զկնի մատենիցն Մար Աբայ Կատինայ» (Մ. Խ., II գլ. Ժ):

Համեմատելիս հեշտ է նկատել, որ հատուկ անունը, երբ առնվում է ուղիղ ձևով՝ ուղղական կամ հայցական հոլովներով, ստանում է հունական – աս վերջավորությունը (N 1, 3, 4), իսկ երբ առնվում է սեռական հոլովով, հունական վերջավորությունը բացակայում է, և հատկացուցչային կապակցության միայն 2-րդ և 3-րդ անդամներն են հոլովով համաձայնեցվում (N 2, 5, 6, 7): Մինչդեռ սպասելի էր, որ սեռական ձևը լինէր Մարայ Աբայ Կատինայ: Մար ձևը, ուղիղ կիրառվելով, ասես հուշում է, որ այն Խորենացու աղբյուրում եղել է «Աբայ» անվանը միացած, ինչպես Սեբեոսի մոտ՝ Մարաբայ: Դրանով իսկ հաստատվում է, որ պատմահայրն ինքն է Մարաբ անունը վերլուծաբար մասնատել՝ ցույց տալու, որ դա ասորերեն Մար (Տեր) բառն է: Բայց եթե ընդունենք, որ Խորենացին դեռևս V դ. գրանցել է հոլովական անհամաձայնության դեպք, որպիսին կարող էր լինել, օր.՝ որոշիչը դրվեր ուղղականաձև, իսկ որոշյալը՝ սեռականաձև, ապա նման դեպքում սեռական հոլովից պետք է օրինաչափորեն ստանանք

ուղղականը, տվյալ դեպքում «Աբայ»-ից ենթադրվող միակ ուղիղ ձևն է Աբ, որը թեկուզ հեռանում է հայտնի «Աբա» բառից, բայց նույնպես հիշեցնում է «հայր» իմաստը: Եվ ստացվում է Տեր հայր, որ հատուկ անուն չէր կարող դիտվել: Բացառվում է նաև Աբաս անունը, որը գործածական է դարձել արաբական դարաշրջանում: Իրականում, ինչպես արդեն մեջքերվեց, Մարաբի անունով Խորենացուն հասած «Նախնական պատմությունը» եղել է հունարենով, որի հետքերը երևում են թե՛ Մարաբաս, փիլիսոփա բառերից և թե՛ այլ բնագրային նշաններից (օր. Կադմոս, Տիտան, Հաբեթոսթե և այլն): Ասորական հետքը գալիս է Մ. Խորենացու կողմից Մծբինը Մծուրնի հետ շփոթելուց, չնայած արևելագետ Ն. Մաոն էլ սեմական հետքեր է նկատել Մարաբայի սեբեոսյան տարբերակում ([10], էջ 289-290, 299): Վերջինիս ի պատասխան Ն. Ադոնցը գրում է. «Խոսում են Մարաբայի գրքի ասորական ծագման մասին: Այդ կարծիքը, ներշնչված փիլիսոփայի ասորական անունով, քիչ է համոզիչ: Այն աստվածաշնչային գծերը, որոնք մատնանշվում են, վաղուց են դադարել սոսկ ասորական գրականության ստացվածքը լինելուց: Եթե Մարաբասը կամ Կադմոսը ասորական անուններ են, բայց և այնպես նրանք հունականացված են» ([8], էջ 289):

Այսպիսով, հունական վերջավորությունն առանձնացնելուց հետո, երբ պարզվում է, որ հիմքում ասորերեն բառ հնարավոր չէ, մնում է անունը համարել հայկական, իսկ ավելի խորքում՝ իրանական. Մարաբ<Մերաբ<Մեհրաբ անցումներով (հմմտ. [11], հ. Բ, էջ 212 (Ձոհրաբ=կարմրաջուր, կարմրափայլ), հ. Գ, էջ 313 (Մեհրաբ=արև+ջուր, արևափայլ)): Այսինքն՝ պարզվեց, որ Խորենացու և Սեբեոսի ընդհանուր աղբյուրում եղել է նույն անունով դպիր նույն անձը՝ Մծուրնացի գրագիր Մարաբը: Սա եղել է, հավանաբար, արքունական դպիր, միջազգային լեզուների գիտակ և ստացել է հայոց նախնական պատմությունը գրելու պատվեր Մծուրնի արքունիքից, երբ թագավոր էր Վաղարշ II-ը:

Մատենադարան, Մ.Մաշտոցի անվան հին ձեռագրերի ինստիտուտ

Ա. Ա. Սահակյան

Մծուրք մայրաքաղաքը և պատմիչ Մարաբ Մծուրնացին

Մծուրքը արշակունյան Հայաստանի առաջին մայրաքաղաքն էր (Տարոնի գավառ) I դարի II կեսից մինչև II դարի վերջերը: Այն, ինչ գրում է Խորենացին

Մծբին մայրաքաղաքի մասին, պետք է վերագրել Մծուրնին: Մծուրնացի է առաջին «Հայոց պատմության» հեղինակ Մարաբը, ով իր երկը շարադրել է արքունիքի պատվերով Վաղարշ II-ի օրոք: Մծուրքի հիշատակը պահպանել են ոչ միայն Փավստոսն ու Սեբեոսը, այլև «Սասնա ծռեր» էպոսը՝ Սասունի հարևան քաղաքի և հակահերոսի անվանումներում (Մըսըր, Մըսրա Մելիք):

А. А. Саакян

Столица Мцурн и историограф Мараб Мцурнийский

Мцурк Таронской области являлся первой столицей аршакидской Армении со второй половины I в. до конца II в. Сведения о столице Мцбин, зафиксированные Хоренаци, следует отнести к Мцурну. Жителем Мцурна был Мараб, автор первой «Армянской истории», который создал свой труд по заказу царского двора при правлении Вагарша II. Мцурк упоминается не только у Павстоса и Себеоса, но и в эпосе «Сасна Црер»: в названии соседнего с Сасуном города Мсер и имени антигероя Мсра Мелика.

A. A. Sahakyan

The Capital of Mtsourk and Historiographer Marab Mtsournatsi

Mtsourk (the province of Taron) used to be the first capital of the Arshacid Armenia from the second half of the first century to the end of the second century. The information about the capital of Mtsbin (Nisibin) given by Movses Khorenatsi should be ascribed to Mtsourk. Marab, the author of the first book on the "History of Armenia", was of Mtsourk descent. He got the order to write this work from the court in the reign of Vagharsh II. Mtsourk is not only mentioned by Pavstos and Sebeos but also in the epic "Sasna Crer" ("The Daredevils of Sasoun") – in the names of Məsər, the town in the neighbourhood of Sasoun, and Məsra Melik, the hero's antagonist.

Գրականություն

1. *Մկրտչյան Н. Семитские языки и армянский. Ереван. 2005.*
2. Հայկական Սով. Հանրագիտարան (ՀՍՀ), հ. 7, Եր., 1981; հ. 10, Եր., 1984:
3. *Աբգարյան Գ., «Սեբեոսի Պատմությունը» և Անանունի առեղծվածը, Եր., 1965:*
4. *Պատմութիւն Սեբեոսի, աշխատասիրությամբ Գ. Աբգարյանի, Եր., 1979:*
5. *Անանեան Պ., Սեբեոսի Պատմութեան գրքի մասին քանի մը լուսաբանութիւններ, Վենետիկ, Ս. Ղազար, 1972:*
6. *Թովհէան Յ., Սարիքաս, Արարատ, 1903, էջ 526-534.*

7. *Периханян А. Г.* Материалы к этимологическому словарю древнеармянского языка, часть I. Ереван. 1993.

8. *Աղոնց Ն.*, «Հայոց նախնական պատմությունը» Սեբեոսի երկում և նրա աղբյուրները Մովսես Խորենացու և Փավստոս Բուզանդի երկասիրությունների: Երկեր, հ. Բ, Եր., 2006:

9. «Սասնա ծռեր» (Ընտիր պատումներ), Աշխատասիր. և ողու. թարգմ. Կ. Մելիք-Օհանջանյանի. Եր., 2008:

10. *Март Н.* О начальной истории Армении Анонима (К вопросу об источниках истории Моисея Хоренского) - «Византийский временник», 1894. Т. I. Вып. 2. С. 263-306.

11. *Աճառյան Հր.*, Հայոց անձնանունների բառարան, հ. Բ, Եր., 1944; հ. Գ, Եր. 1946: