

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

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

2014

Երևան

Երևան

Yerevan

Հիմնադրվել 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. ԶԱԲԱՐՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս Է. Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Ս. Ա. ՀԱՍԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ. Ս. ՍԵՊՐԱԿՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՎԱՄՅԱՆ (պատ. 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, 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 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)

Խմբագրության 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.ame>*e-mail:* rnas@sci.am

©НАН РА. Президиум. 2014

©Издательство “Гитутюн”
НАН РА. 2014

ԲՈՎԱՆՂԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ռ. Ֆ. Շամոյան, Օ. Ռ. Միլիչ – Ճշգրիտ թեորեմներ խիստ պսևդոուուցիկ տիրույթների մեջ անալիտիկ տարածությունների հետքերի մասին 91

Գ. Ա. Կարագույան, Կ. Ռ. Մուրադյան – Կրկնակի Ֆուրիեի շարքերի եռանկյուն և սեկտորիալ գումարների տարամիտության մասին 97

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ռ. Մ. Կիրակոսյան – Առաձգական ամրակցված հենարանով հեծանի ծռման ոչ դասական խնդիրը 101

ԷԼԵԿՏՐԱԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ս. Ավետիսյան, Ա. Ա. Քամայան – Սահքի էլեկտրաառաձգական ազդանշանի տարածումը *6mm* պիեզոդիէլեկտրիկ անհամասեռ շերտում 108

ՖԻԶԻԿԱ

Ջ. Հ. Գրիգորյան – Խառնուրդային վիճակները կիսասանվերջ սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային կետում 116

ԿԵՆՍԱՖԻԶԻԿԱ

Ջ. Ա. Գրիգորյան, Ե. Շ. Մամասախլիսով, Ա. Թ. Կարապետյան – ԴՆԹ-պարունակող պոլիմերային բաղադրիչներում օրիենտացիոն կարգը. հալման էֆեկտը 123

ՔԻՄԻԱ

Կ. Ս. Մարգարյան – Էթինիլտետրազոլի էլեկտրաքիմիական պոլիմերում տարբեր էլեկտրոդների վրա 131

ԿԵՆՍԱՔԻՄԻԱ

Ա. Ա. Միսոնյան, Ռ. Ա. Միսոնյան, Ա. Ս. Մարգարյան – ԱԵՖ-ֆոսֆոհիդրոլազի ակտիվության փոփոխությունները սպիտակ առնետների տարբեր օրգանների միտոքոնդրիումներում SkQ1 հակաօքսիդանտի ներգործությամբ, պենտիլենտետրազոլով մակածված էպիլեպսանման ցնցումների դեպքում 136

Տ. Ս. Խաչատրյան – N-տեղակալված- α , β -դեհիդրոամինաթթուների քոլինի եթերների գերցածր չափաբաժինների ազդեցությունը առնետների վրա ենթակլինիկական հիփոթիրեոզի պայմաններում 143

ՄԱՆՐԷԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Գ. Քերյան, Ե. Ա. Միսոնյան, Ի. Լ. Բազուկյան, Ա. Հ. Թռչունյան – Հայկական կաթնամթերք մածունից անջատված լակտոբացիլների նոր շտամների աճի և հակաբակտերիական ակտիվության ճնշումը ԷԴՏԱ-ի ցածր կոնցենտրացիաներով. համեմատական հետազոտություն գրամ-դրական և գրամ-բացասական բակտերիաների նկատմամբ 149

Է. Գ. Աֆրիկյան, Մ. Ա. Կինոսյան, Ա. Կ. Օկասով, Ն. Լ. Ղազանյան – Միջատների բնածին միկրոֆլորայի յուրահատկությունը 156

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ք. Վ. Ղազարյան, Լ. Գ. Միսոնյան, Ռ. Գ. Չիբուխյան – Միզուղու մեկուսացրած ծայրային հատվածների և միզապարկի ինքնաբուխ էլեկտրական ակտիվության ինքնավարությունը 164

ԲԱՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ա. Մահալյան – Մարաբ Մծուրնացին Աբյուդենուսի և Խորենացու միջև՝ ընդ 171

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

Р. Ф. Шамоян, О. Р. Милич – Точные теоремы о следах аналитических пространств в строго псевдовыпуклых областях 91

Г. А. Карагулян, К. Р. Мурадян – О расходимости треугольных и секторных сумм двойных рядов Фурье 97

МЕХАНИКА

Р. М. Киракосян – Неклассическая задача изгиба ортотропной балки с упруго-защемленной опорой 101

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

А. С. Аветисян, А. А. Камалян – О распространении электроупругого сдвигового сигнала в неоднородном пьезодиэлектрическом слое класса 6mm 108

ФИЗИКА

З. Г. Григорян – Примесные состояния в полусферической квантовой точке с полубесконечным ограничивающим потенциалом 116

БИОФИЗИКА

З. А. Григорян, Е. Ш. Мамасакхисов, А. Т. Карапетян – Ориентационный порядок в ДНК-содержащих полимерных композитах: эффект плавления 123

ХИМИЯ

К. С. Маргарян – Электрохимическая полимеризация этинитетразола на различных электродах 131

БИОХИМИЯ

А. А. Симонян, Р. А. Симонян, А. С. Маргарян – Изменение активности АТФ-фосфогидролазы в митохондриях органов белых крыс под влиянием фактора антиоксидантного действия SkQ1 при эпилептиформных припадках, индуцированных пентилентетразолом 136

Т. С. Хачатрян - Воздействие сверхмалых доз холиновых эфиров N-замещённых- α , β -дегидроаминокислот на субклинический гипотиреоз у крыс 143

МИКРОБИОЛОГИЯ

А. Г. Керян, Е. А. Симонян, И. Л. Базукян, А. А. Трчунян – Подавление роста и антибактериальной активности новых штаммов лактобацилл, изолированных из армянского молочного продукта мацун ЭДТА в низких концентрациях: сравнительное исследование с грам-положительными и грам-отрицательными бактериями 149

Э. К. Африкян, М. А. Киносян, А. К. Окасов, Н. Л. Казанчян – Специфика энтомогенной микробиоты насекомых 156

ФИЗИОЛОГИЯ

К. В. Казарян, Л. Г. Симонян, Р. Г. Чибухчян – Автономность спонтанной электрической активности в изолированных конечных областях мочеочника и в мочевом пузыре 164

ФИЛОЛОГИЯ

А. А. Саакян – Мараб Мцурнаци: посредник между Абиденосом и Хоренаци?... 171

C O N T E N T S

MATHEMATICS

<i>R. F. Shamoyan, O. R. Mihić</i> – Sharp Theorems on Traces in Analytic Spaces in Bounded Strictly Pseudoconvex Domains	91
---	----

<i>G. A. Karagulyan, K. R. Muradyan</i> – On the Divergence of Triangular and Sectorial Sums of Double Fourier Series	97
---	----

MECHANICS

<i>R. M. Kirakosyan</i> – Non-Classical Problem of a Bend Orthotropic Beams with the Elastic Clamped Support	101
--	-----

ELECTROELASTICITY THEORY

<i>A. S. Avetisyan, A. A. Kamalyan</i> – On Propagation of Electroelastic Shear Wave in 6mm Class Piezodielectric Inhomogeneous Layer.....	108
--	-----

PHYSICS

<i>Z. H. Grigoryan</i> – Impurity States in Semi-Spherical Quantum Dots with Semifinite Confinement Potential	116
---	-----

BIOPHYSICS

<i>Z. A. Grigoryan, Y. Sh. Mamasakhlisov, A. T. Karapetian</i> – Orientation Order in DNA-Containing Polymer Composites: The Melting Effect.....	123
--	-----

CHEMISTRY

<i>K. S. Margaryan</i> – Electrochemical Polymerization of Etyniltetrazole on Different Electrodes	131
--	-----

BIOCHEMISTRY

<i>A. A. Simonyan, R. A. Simonyan, A. S. Margaryan</i> – Changes in the Activity of ATP-Phosphohydrolase in Mitochondria of Different Organs of White Rats under the Influence of Antioxidant Factor SkQ1 at Pentylenetetrazol-Induced Epileptiform Convulsions	136
---	-----

<i>T. S. Khachatryan</i> - Influence of Ultra-Low Doses of Choline Ester of N-Substituted α , β Dehydroaminoacids on Subclinical Hypothyroidism in Rats	143
--	-----

MICROBIOLOGY

<i>A. G. Keryan, Y. A. Simonyan, I. L. Bazukyan, A. H. Trchoumian</i> – Inhibition of Growth and Antimicrobial Activity of New Lactobacilli Strains Isolated from Armenian Dairy Product Matsoun with EDTA in Low Concentrations: Comparative Study with Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria.....	149
--	-----

<i>E. G. Afrikian, M. A. Kinosyan, A. K. Okasov, N. L. Ghazanchyan</i> – Specificity of Entomogenic Insect Microbiota.....	156
--	-----

PHYSIOLOGY

<i>K. V. Kazaryan, L. G. Simonyan, R. G. Chibukhchyan</i> – Autonomy of Spontaneous Electrical Activity in Isolated Areas of Bladder Extreme Zones and Ureter	164
---	-----

PHILOLOGY

<i>A. A. Sahakyan</i> - Marab Mtsurnatsi: An Intermediary between Abydenus and Khorenatsi?	171
--	-----

R. F. Shamoyan¹, O. R. Mihić²

Sharp Theorems on Traces in Analytic Spaces in Bounded Strictly Pseudoconvex Domains

(Submitted by academician A. B. Nersessian 25/ XI 2013)

Keywords: *Trace estimates, strictly pseudoconvex domains, analytic functions, Bergman-type spaces.*

1.Introduction and preliminaries. Let Ω be bounded strongly pseudoconvex domain in $\mathbb{C}^n$. By δ we denote a positive function - the Euclidean distance from the boundary of Ω , that is $\delta(z) = d(z, \Omega_1)$, where Ω_1 is the boundary of domain Ω . Let further $H(\Omega)$ denote the space of all holomorphic functions on Ω endowed as usual with the topology of uniform convergence on compact subsets. $V(z)$ will be the Lebesgue measure on domain Ω . $K(z, w)$ or $K_{n+1}(z, w)$ will be the Bergman kernel of order $n+1$ of Ω (see [2], [4]). For positive α the Bergman kernel of order α will be denoted by $K_\alpha(z, w)$ (see [2], [4]). For given $r \in (0, 1)$ and $z_0 \in \Omega$, we shall denote by $B_\Omega(z_0, r)$ the Kobayashi ball of center z_0 and the radius $\frac{1}{2} \log \frac{1+r}{1-r}$. We refer the reader [2] for definitions, basic properties and applications to geometric function theory of the Kobayashi distance and for definition and basic properties of Bergman kernel. We will need several results for our proofs about Kobayashi balls for which we refer the reader to [1], [2]. In particular we constantly use among other things the fact that $V(B_\Omega(z, r))$ is equivalent to $\delta^{n+1}(z)$, $r \in (0, 1)$.

We denote n products of such domains by Ω^n , the space of all analytic function on this new product domain which are analytic by each variable

¹ 2000 Mathematics Subject Classification. Primary 42B15, Secondary 42B30.

First author was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant 13-01-97508.

² Supported by MNTR Serbia, Project 174017.

separately will be denoted by $H(\Omega^n)$. In this paper we will be interested on properties of certain analytic subspaces of $H(\Omega^n)$. Note it is known from general theory that the product of final number of strongly pseudoconvex domains is a pseudoconvex domain and hence obviously only specific problems in such case can be interesting and can be considered and solved in this setting. Probably for the first time products of strongly (or strictly) pseudoconvex domains and various properties of analytic functions on them were considered in [11]. On the other hand various other type extension theorems in such domains in $\mathbb{C}^n$ were studied and proved by many authors (see [3], [4], [5], [7], and various references there). Our results will add a new page to this list of known results. Let

$$A_\tau^\infty(\Omega) = \left\{ F \in H(\Omega) : \|F\|_{A_\tau^\infty} = \sup_{z \in \Omega} |F(z)| \delta^\tau(z) < \infty \right\}, \quad (1)$$

(see [2], [9] and references there). It can be checked that this is a Banach space.

For $1 < p < +\infty$ and $\nu \in \mathbb{R}$ and $\nu_j > -1$ we denote by $A_\nu^p(\Omega)$ the weighted Bergman space consisting of analytic functions f in Ω such that

$$\|F\|_{A_\nu^p}^p = \left(\int_\Omega |F(z)|^p dV_\nu(z) \right) < \infty.$$

Here we used the notation $dV_\nu(w) = \delta^\nu dV(w)$. Below we use also the following notations $w = u + iv \in \Omega$ and also $z = x + iy \in \Omega$. This space is a Banach space. Replacing above simply A by L we will get, as usual, the corresponding larger spaces of all measurable functions in the same domain with the same norm (see [1], [2]).

To define related two Bergman-type spaces $A_\nu^p(\Omega)$ and $A_\tau^\infty(\Omega^n)$ (ν and τ can be also vectors) in m -products of tube domains Ω^n we follow standard procedure which is well-known in the case of unit disk and unit ball (see [10], [12], [13], [14], [16]). Namely we consider analytic separately by each variable F functions $F = F(z_1, \dots, z_m)$, where each variable belongs to tube Ω . It can be shown that these are also Banach spaces. Replacing above simply A by L we will get as usual the corresponding larger space of all measurable functions in products of bounded strictly pseudoconvex domains with smooth boundary with the same norm. The (weighted) Bergman projection P_ν is the orthogonal projection from the Hilbert space $L_\nu^2(\Omega)$ onto its closed subspace $A_\nu^2(\Omega)$ and it is given by the following integral formula (see, for example, [2], [4], [9]).

$$P_\nu f(z) = C_\nu \int_\Omega K_{\nu+n+1}(z, w) f(w) dV_\nu(w), \quad (2)$$

where $K_{\nu+n+1}(z, w)$ is the Bergman reproducing kernel for $A_\nu^2(\Omega)$ (see [1], [2]), where $dV_\nu(w) = \delta^\nu dV(w)$, $\nu > -1$.

For any analytic function from $A_\nu^2(\Omega)$ the following integral formula is valid (see also [2], [4])

$$f(z) = C_\nu \int_{\Omega} K_{\nu+n+1}(z, w) f(w) dV_\nu(w). \quad (3)$$

The existence of suitable covering of domain D (r -lattice) based on Kobayashi balls is crucial for results of this note. Let D be a bounded domain and $r > 0$. An r -lattice in D is a sequence (a_k) , $(a_k) \in D$, so that each point $z \in D$ belongs to at least one ball $B_D(a_k, r)$, and there exists $m > 0$ such that any point in D belongs to at most m balls of the form $B_D(a_k, r)$, where $R = \frac{1}{2}(1+r)$.

There is such a r -lattice in each bounded strictly pseudoconvex domain with smooth boundary [2]. In this case sometimes below we say simply that the f function allows the Bergman representation via Bergman kernel with ν index. Note that these assertions have direct copies in simpler cases of analytic function spaces in unit disk, polydisk, unit ball, upperhalfspace C_+ and in spaces of harmonic functions in the unit ball or upperhalfspace of the Euclidean space R^n . These classical facts are well-known and can be found, for example, in [6], [9], [16] and in some items from references there.

We will need for our proofs the following important fact on integral representations (see [4], [9]). For all $1 \leq p < \infty$, $\nu > -1$ and for all f functions from A_ν^p the Bergman representation formula with $\alpha + n + 1$ index or with the Bergman kernel $K_{\alpha+n+1}(z, w)$ is valid, for all α , $\alpha > \alpha_0$, for certain fixed α_0 , [2], [4], [9]. Let $\alpha > -1$ then for all $\nu > \nu_0$ for certain fixed ν_0 and all f functions $f \in A_\alpha^\infty$ the integral representations of Bergman with Bergman kernel $K_{\nu+n+1}(z, w)$ (with $\nu + n + 1$ index) is valid. We note also that (see [2], [4], [9])

$$|f(z)| \delta^{\frac{n+1+\nu}{p}}(z) \leq c_{p,\nu} \|f\|_{A_\nu^p}, \quad z \in \Omega. \quad (4)$$

All the mentioned results together with properties of the Whitney decomposition (r -lattice) of bounded strictly pseudoconvex domains with smooth boundary based on Kobayashi balls in C^n . [1], [2], [9] are used heavily during all proofs of our assertions.

2. On sharp estimates for traces in analytic function spaces in bounded strictly pseudoconvex domains in C^n . **Theorem 1.** *Let $f \in A_\nu^p(\Omega^n)$, $1 \leq p < \infty$, $\nu_j > -1$, $j = 1, \dots, m$. Then $f(z, \dots, z) \in A_s^p$, where $s = (\sum_{j=1}^m \nu_j) + (n+1)(m-1)$. And the reverse is also true. For each g function $g \in A_s^p(\Omega)$ there is an F function $F(z, \dots, z) = g(z)$, $F \in A_\nu^p(\Omega^n)$. Let in addition*

$$T_\beta f(z_1, \dots, z_m) = C_\beta \int_{\Omega} f(w) \prod_{j=1}^m |K_{\beta+n+1}^t(z_j, w)| dV_\beta(w),$$

$m=1$, $z_j \in \Omega$, $j=1, \dots, m$. Then the following assertion holds for all β , $\beta > \beta_0$ for certain positive β_0 . The T_β Bergman type integral operator (expanded Bergman projection) maps $A_s^p(\Omega)$ to $A_v^p(\Omega^n)$, $v = (v_1, \dots, v_m)$. Let $1 \leq p < \infty$, $F \in H(\Omega^n)$. Then $F(z, \dots, z) \in A_s^p$ if $F \in A_v^p$ with related estimate for norms.

We remark that in particular case of unit ball in $\mathbb{C}^n$ this theorem can be found in [12], [15] and in the case of the unit disk in various papers (see, for example, [8], [16] and various references there). A complete analogue of this theorem is true also for the case $p = \infty$.

Theorem 2. Let $f \in A_v^\infty(\Omega^n)$, $v \in \mathbb{R}^n$, $v_j > 0$, for all $j=1, \dots, m$. Then $f(z, \dots, z) \in A_s^\infty$, where $s = \sum_{j=1}^m v_j$. And the reverse is also true. For each g function $g \in A_s^\infty(\Omega)$ there is an F function, $F(z, \dots, z) = g(z)$, $F \in A_v^\infty(\Omega^n)$. Let in addition

$$T_\beta f(z_1, \dots, z_m) = C_\beta \int_\Omega f(w) \prod_{j=1}^m |K_{\beta+n+1}^t(z_j, w)| dV_\beta(w),$$

$m=1$, $z_j \in \Omega$, $j=1, \dots, m$. Then the following assertion holds for all β , $\beta > \beta_0$, for certain positive β_0 . The T_β Bergman-type integral operator (expanded Bergman projection) maps $A_s^\infty(\Omega)$ to $A_v^\infty(\Omega^n)$, $v = (v_1, \dots, v_m)$.

To define the next space based on Kobayashi balls we remind the reader that there exists a family of Kobayashi balls $B_\Omega(a_k, r)$ which forms an r -lattice in bounded strictly pseudoconvex domain Ω (see [1], [2], [4]). We denote by $B_\Omega^m(z, r)$ m -products of such Kobayashi $B_\Omega(z, r)$ balls in $\mathbb{C}^m$, where $z \in \Omega$. By $M_{v, \tau}^p(\Omega^n)$ we denote all f analytic functions in Ω^n so that

$$\int_{B_\Omega^m(Z, r)} |f(z_1, \dots, z_m)|^p \prod_{j=1}^m \delta^{s_j}(z_j) dz_j$$

belongs to $L_{\tau_1, \dots, \tau_m}^1(\Omega^n)$, where $s_j > -1$ for all $j=1, \dots, m$, $1 \leq p < \infty$, $\tau_j > -1$, for all $j=1, \dots, m$. Note in polyball complete analogues of these classes were considered in [13] and the complete description of Traces of these spaces were also given. We obtain below a complete extension of that result to the case of bounded strictly pseudonconvex domains with smooth boundary.

Theorem 3. Let $1 \leq p < \infty$, $f \in M_{v, \tau}^p(\Omega^n)$. Then $f(z, \dots, z)$ belongs to $A_s^p(\Omega)$, $1 \leq p < \infty$, $s = \sum_{j=1}^m (v_j + \tau_j) + (n+1)(2m-1)$. For every f function $f \in A_s^p$ there is an F function $F \in M_{v, \tau}^p$, so that $F(z, \dots, z) = f(z)$. Let in addition

$$T_{\beta} f(z_1, \dots, z_m) = C_{\beta} \int_{\Omega} f(w) \prod_{j=1}^m |K_{\beta+n+1}^t(z_j, w)| dV_{\beta}(w),$$

$m \geq 1$, $z_j \in \Omega$, $j = 1, \dots, m$. Then the following assertion holds for all β , $\beta > \beta_0$ for certain positive β_0 . The T_{β} Bergman-type integral operator (expanded Bergman projection) maps $A_s^p(\Omega)$ to $M_{\nu, \tau}^p(\Omega^n)$, $\nu = (\nu_1, \dots, \nu_m)$, $\tau = (\tau_1, \dots, \tau_n)$.

All proofs are based on vital estimates which were obtained recently in [1], [2]. Complete analogues of all our assertions in disk, polyball can be found in [12], [13], [14], [16].

Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia
e-mail: rshamoyan@gmail.com
 Fakultet organizacionih nauka, Jove Ilića 154, Belgrade, Serbia
e-mail: oliveradj@fon.rs

R. F. Shamoyan, O. R. Mihić

Sharp Theorems on Traces in Analytic Spaces in Bounded Strictly Pseudoconvex Domains

New sharp estimates of traces in Bergman-type spaces of analytic functions in bounded strictly pseudoconvex domains are obtained. These are, as far as we know, for the first time results of this type which are valid for any bounded strictly pseudoconvex domains.

Р. Ф. Шамоян, О. Р. Милич

Точные теоремы о следах аналитических пространств в строго псевдовыпуклых областях

Получены новые точные оценки для следов пространств типа Бергмана аналитических функций в ограниченных строго псевдовыпуклых областях. Насколько нам известно, это первые результаты такого типа для псевдовыпуклых областей с гладкими границами.

Ռ. Ֆ. Շամոյան, Օ. Ռ. Միլիչ

Ճշգրիտ թեորեմներ խիստ պսևդոուղուցիկ տիրույթների մեջ անալիտիկ տարածությունների հետքերի մասին

Ստացված են նոր ճշգրիտ գնահատականներ Բերգմանի տիպի անալիտիկ ֆունկցիաների տարածությունների համար խիստ պսևդոուղուցիկ սահմանափակ տիրույթների համար: Որքան մեզ հայտնի է, դրանք այդ տեսակի առաջին

արդյունքներն են ողորկ եզրերով պսևդոօւռուցիկ սահմանափակ տիրույթների համար:

References

1. *Abate M., Saracco A.* Carleson measure and uniformly discrete sequences in strongly pseudconvex domains: Proc. London Math. Society, 2012.
2. *Abate M., Saracco A., Raissy J.* Toeplitz operators and Carleson measures in strongly pseudoconvex domains, arxiv 1202.118v1.
3. *Adachi K.* - Pacif. Journal of Math. 1984. V. 110. P. 9-19.
4. *Beatrous F.* - Michigan Math. Journal. 1985. V. 32. N 3. P. 361-380.
5. *Beatrous F.* - Math. Z. 1986. V. 191. N 1. P. 91-116.
6. *Duren P., Schuster A.* Bergman spaces, Mathematical Surveys and Monographs. V. 100, AMS, RI. 2004. 234 p.
7. *Henkin G.* - Izv USSR. Math. 1972. V. 6. P. 536-563.
8. *Jevtić M., Pavlović M., Shamoyan R.* - Publ. Math. Debrecen. 2009. V. 74. P. 1-14.
9. *Ortega J., Fabrega J.* Mixed norm spaces and interpolation. Studia Mathematica. 1994. V. 109. N 3. P. 233-254.
10. *Rudin W.* Function theory in polydisk. Benjamin, New York. 1969. 188 p.
11. *Sakai A., Jimbo T.* - Complex variables-theory and applications. 1987. V. 8. P. 3-4.
12. *Shamoyan R. F., Mihić O.* - Applicable Analysis and Discrete Mathematics. 2009. V. 3. P. 42-48.
13. *Shamoyan R. F., Mihić O.* - Revista Notas de Matematicas. 2008. V. 4. N. 1. P. 1-23.
14. *Shamoyan R. F., Mihić O.* - Journal of Function Spaces and Applications. 2010.
15. *Shamoyan R. F., Mihić O.* - Czechoslovak Mathematical Journal. 2010. V. 60. N 2. P. 351-370.
16. *Shamoian F. A., Djrbashian A.* Topics in the theory of A_{α}^p spaces. Teubner Texte zur Math. Leipzig. 1988.

МАТЕМАТИКА

УДК 517.55

Г. А. Карагулян, К. Р. Мурадян

О расходимости треугольных и секторных сумм
 двойных рядов Фурье

(Представлено академиком Г. Г. Геворкяном 4/IV 2014)

Ключевые слова: двойные ряды Фурье, треугольные суммы, расходимость почти всюду.

Карлесон [1] доказал, что частичные суммы тригонометрического ряда Фурье любой функции $f \in L^2(T)$ сходятся почти всюду (п.в.). Усовершенствовав метод Карлесона, Хант [2], Шелин [3] и Антонов [4] установили, что свойство сходимости п.в. рядов Фурье сохраняется и в более широких классах функций. Аналогичные задачи исследованы также для кратных рядов Фурье. Если функция $f \in L^1(T^2)$ имеет двойной ряд Фурье

$$f(x, y) \sim \sum_{n, m=-\infty}^{+\infty} c_{nm} e^{i(nx+my)}$$

и $G \subset \mathbb{R}^2$ есть некоторая область, то обозначим

$$S_G(x, y, f) = \sum_{(n, m) \in G} c_{nm} e^{i(nx+my)}.$$

Пусть $P \subset \mathbb{R}^2$ есть произвольная открытая многоугольная область, содержащая начало координат, и пусть $\lambda P = \{(\lambda x, \lambda y) : (x, y) \in P\}$, $\lambda > 0$. Фефферман [5] доказал, что частичные суммы $S_{\lambda P}(x, y, f)$ любой функции $f \in L^p(T^2)$, $p > 1$, сходятся п.в. при $\lambda \rightarrow \infty$. В случае когда P прямоугольник, Шелин [3] доказал аналогичное для более широкого класса функций $L(\log L)^3 \log \log L$, а если P – квадрат, то свойство сходимости п.в. сохраняется также в $L(\log L)^2 \log \log L$. Уточнив второй результат Шелина, в работе [4] Антонов установил сходимость п.в. квадратных сумм рядов Фурье в классе $L(\log L)^2 \log \log \log L$. Тевзадзе [6] показал, что для любой последовательности прямоугольников $R_1 \subset R_2 \subset R_3 \subset \dots$, стороны которых параллельны осям координат и $\bigcup_k R_k = \mathbb{R}^2$, частичные суммы $S_{R_k}(x, y, f)$ любой функции $f \in L^2(T^2)$ сходятся п.в. Заметим, что во всех упомянутых ре-

зультатах последовательности частичных сумм зависят от одного параметра, а в их доказательствах используются теорема Карлесона или другие одномерные результаты.

Иными свойствами обладают частичные суммы

$$S_{NM}(x, y, f) = \sum_{|n| \leq N, m \leq M} c_{nm} e^{i(nx+my)}, \quad (1)$$

где областями суммирования являются произвольные прямоугольники, стороны которых параллельны осям координат. Фефферман [7] построил пример непрерывной функции $f \in C(T^2)$, для которой суммы (1) расходятся всюду при $N, M \rightarrow \infty$.

Отметим, что в вышеприведенных теоремах сходимости двойных рядов Фурье рассматриваются многоугольники, стороны которых параллельны фиксированным направлениям. Оказывается, что это тоже является важным обстоятельством в этих теоремах. Цель настоящей работы – установить, что при незначительной свободе направлений сторон суммирующих многоугольных областей получится расходимость п. в. Мы рассматриваем области следующих видов:

$$\Delta(a, b) = \{(u, v) \in \mathbb{R}^2 : a|u| + b|v| \leq 1\}, a, b > 0, \quad (2)$$

$$V(\alpha, \beta) = \{(u, v) \in \mathbb{R}^2 : |x| = r \cos \theta, |y| = r \sin \theta, r \geq 0, \alpha \leq \theta \leq \beta\}, \quad (3)$$

$$0 \leq \alpha < \beta \leq \pi/2.$$

Если Δ есть некоторая область вида (2), с параметрами (a, b) , то обозначим

$$\rho(\Delta) = \frac{\max\{a, b\}}{\min\{a, b\}}.$$

Для произвольной пары (a, b) это есть ромб, а если $a = b$ или, что то же самое, $\rho(\Delta) = 1$, то получается квадрат. Отметим, что двойной ряд Фурье (1) можно записывать в вещественной форме (по синусам и косинусам). Тогда суммы двойного ряда Фурье (1) по областям (2) превращаются в треугольные в вещественном случае. Поэтому эти суммы называются треугольными. Аналогично, суммы по областям (3) назовем секторными. Если $G \subset \mathbb{R}^2$ есть некоторая область, то обозначим $G^+ = \{(x, y) \in G : x, y \geq 0\}$. Последовательность областей $G_k, k = 1, 2, \dots$, назовем полной, если $\bigcup_k G_k = \mathbb{R}^2$. Следующая теорема является следствием вышеупомянутого общего результата Феффермана [5], и, как отмечается в той же работе, она в то же время эквивалентна общей теореме.

Теорема А (Фефферман). Если $\Delta_k, k = 1, 2, \dots$, есть полная возрастающая последовательность квадратных областей вида (2) ($\rho(\Delta_k) = 1$), то для любой функции $f \in L^p(T^2)$, $p > 1$, имеет место

$$\lim_{k \rightarrow \infty} S_{\Delta_k}(x, y, f) = f(x, y) \text{ п. в. на } T^2. \quad (4)$$

Установлены следующие теоремы. Первая из них показывает, что для произвольных областей вида (2) теорема А неверна. Более того, имеет место

Теорема 1. Существуют функция $f \in \bigcap_{p \geq 1} L^p(T^2)$ и полная возрастающая последовательность областей $\Delta_k, k=1, 2, \dots$, вида (2) такие, что $\rho(\Delta_k) \rightarrow 1$ и имеет место соотношение

$$\limsup_{k \rightarrow \infty} |S_{\Delta_k}(x, y, f)| = \infty \text{ п.в. на } T^2.$$

Условие $\rho(\Delta_k) \rightarrow 1$ означает, что в бесконечности ромбы Δ_k "превращаются" в квадраты. Теорема 1 показывает, что все равно этого недостаточно для сохранения свойства сходимости (4). Теорема аналогичного характера имеет место также для секторных сумм.

Теорема 2. Для любой возрастающей последовательности секторных областей $V_k, k=1, 2, \dots$, существует функция $f \in \bigcap_{p \geq 1} L^p(T^2)$ такая, что

$$\limsup_{k \rightarrow \infty} |S_{V_k}(x, y, f)| = \infty \text{ п.в. на } T^2.$$

В доказательствах теорем используется техника из работы [8]. Основным ключом в доказательствах является следующая лемма.

Основная лемма. Пусть $p > 2$ и $V_n, n=1, 2, \dots, m$, есть произвольная последовательность секторов. Тогда существуют двойные тригонометрические полиномы $T_n, n=1, 2, \dots, m$, такие, что

$$T_n(x, y) = \sum_{(t,s) \in D_n} c_{ts} e^{i(tx+sy)}, \quad D_n \subset V_n^+,$$

$$\left\| \sum_{n=1}^m T_n(x, y) \right\|_p \leq c_1,$$

$$\left| \left\{ (x, y) \in T^2 : \max_{1 \leq l \leq m} \left| \sum_{n=1}^l T_n(x, y) \right| > c_3 \sqrt{\frac{\log m}{p}} \right\} \right| > c_2,$$

где c_i – абсолютные постоянные.

Институт математики НАН РА
e-mails: g.karagulyan@yahoo.com,
karenmuradyan1988@mail.ru

Г. А. Карагулян, К. Р. Мурадян

О расходимости треугольных и секторных сумм двойных рядов Фурье

Рассматриваются некоторые вопросы расходимости треугольных и секторных частичных сумм двойных тригонометрических рядов Фурье. В частности, строится пример функции из $f \in \bigcap_{p \geq 1} L^p(T^2)$, треугольные частичные суммы двойного ряда Фурье которой расходятся почти всюду.

G. A. Karagulyan, K. R. Muradyan

**On the Divergence of Triangular and Sectorial Sums
of Double Fourier Series**

Some problems of divergence of triangular and sectorial sums of double trigonometric Fourier series are considered. In particular, we construct an example of function $f \in \bigcap_{p \geq 1} L^p(T^2)$, which double Fourier series triangular partial sums diverge almost everywhere.

Գ. Ա. Կարագուլյան, Կ. Ռ. Մուրադյան

**Կրկնակի Ֆուրիեի շարքերի եռանկյուն և սեկտորիալ գումարների
տարամիտության մասին**

Դիտարկվում են կրկնակի եռանկյունաչափական Ֆուրիեի շարքերի տարամիտության որոշ խնդիրներ: Մասնավորապես կառուցվում է $\bigcap_{p \geq 1} L^p(T^2)$ դասին պատկանող մի ֆունկցիա, որի կրկնակի Ֆուրիեի շարքի եռանկյուն մասնակի գումարները տարամիտում են համարյա ամենուրեք:

Литература

1. Carleson L. – Acta Math. 1966. V. 116. P. 135-137.
2. Hunt A. – In: Proc. Conf. Southern Inninois Univ. Edvardsville. 1968. P. 235-255.
3. Sjölin P. – Arkiv för Mat. 1971. V. 9. P. 65–90.
4. Antonov N. Yu. – East Journal on Approximation. 1996. V. 2. N 2. P. 187-196.
5. Fefferman Ch. – Bull. Amer. Math. Soc. 1971. V. 77. N 5. P. 744-745.
6. Тевзадзе Н. Р. – Собр. сох. АН ГССР. 1970. Т. 58. N 2. С. 277-279.
7. Fefferman Ch. – Bull. Amer. Math. Soc. 1971. V. 77. N 2. P. 191-195.
8. Karagulyan G. A. – Proc. Amer. Math. Soc. 2007. V. 135. N 10. 3133-3141.

УДК 539.3

Р. М. Киракосян

Неклассическая задача изгиба ортотропной балки с упруго-защемленной опорой

(Представлено академиком С. А. Амбарцумяном 21/XI 2013)

Ключевые слова: упруго-защемленная опора, уточненная теория, поперечный сдвиг, ортотропная балка.

Рассматривается упруго-защемленная опора общего типа, из которой как частные случаи получаются все типы опор балки, включая и случай свободного конца. В рамках уточненной теории С. А. Амбарцумяна [1] решается задача изгиба ортотропной балки прямоугольного постоянного поперечного сечения при действии равномерно распределенной нагрузки. Считается, что один конец балки упруго защемлен, а другой лежит на классической шарнирной подвижной опоре. Получаются аналитически замкнутые выражения прогиба, поперечной силы и изгибающего момента балки. Рассматриваются два частных случая.

1. В правой системе декартовых координат x, y, z рассмотрим упруго-защемленную опору общего типа (рис. 1).

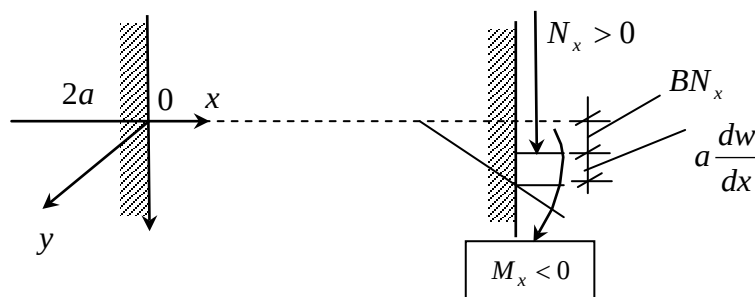


Рис. 1.

Краевая часть балки вставлена в упруго-деформированный массив. Длина этой части составляет $2a$, что достаточно мало относительно длины балки. Из-за малой длины будем считать, что вставленная часть балки подобно абсолютно твердому элементу может поступательно перемещаться и

вращаться как одно целое. Поэтому в ее пределах значение dw/dx будем считать постоянным.

Для простоты положим, что балка испытает деформирование только поперечного изгиба. Тогда в опорном сечении балки возникнут только поперечная сила N_x и изгибающий момент M_x . Не нарушая общности, положим, что в принятой системе координат $N_x > 0, M_x < 0$ (рис. 1).

Под действием момента поперечной силы относительно середины вставленной части aN_x и момента M_x ось балки в опорном сечении $x = 0$ будет вращаться на некоторый угол. Этот угол, а следовательно, и его тангенс dw/dx зависят от вращающих моментов. Считая, что величина dw/dx прямо пропорциональна сумме этих моментов и в принятой правой системе координат $dw/dx > 0$ при отрицательном моменте, можно написать

$$\left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=0} = D(aN_x - M_x). \quad (1.1)$$

Здесь D – постоянная, обратная жесткости упруго-зашемленной опоры на вращение.

Прогиб балки в опорном сечении $x = 0$ состоит из двух частей. Одна из них возникает от вращения вставленной части балки, а другая – от ее поступательного вертикального перемещения от действия поперечной силы $N_x (x = 0)$. По аналогии с гипотезой Фусса–Винклера можно считать, что вторая часть опорного прогиба прямо пропорциональна поперечной силе N_x . В итоге для $w(x=0)$ получим

$$w|_{x=0} = a \left. \frac{dw}{dx} \right|_{x=0} + BN_x|_{x=0}. \quad (1.2)$$

Здесь B – постоянная, обратная жесткости упруго-зашемленной опоры на прогиб.

Таким образом, условия упруго-зашемленной опоры будут:

$$\text{при } x = 0 \quad w = a \frac{dw}{dx} + BN_x, \quad \frac{dw}{dx} = D(aN_x - M_x). \quad (1.3)$$

Несколько слов об экспериментальном определении характеристик B и D . Надо изготовить опытный образец опоры общего типа натуральных размеров и вместо балки сделать выступ ничтожно малой длины. К сечению $x = 0$ надо приложить только некоторую вертикальную силу P достаточно большой величины и измерить значения прогиба w и угла вращения dw/dx . Постоянные B и D определятся по формулам

$$B = \frac{1}{P} \left(w - a \frac{dw}{dx} \right), \quad D = \frac{1}{aP} \cdot \frac{dw}{dx}. \quad (1.4)$$

В случае же, когда торец $x = 0$ склеен или сварен с упругим массивом ($a = 0$), к сечению $x = 0$ надо по очереди приложить силу P и момент M . Измерив значения w и dw/dx , B и D можно определить формулами

$$B = \frac{w}{P}, \quad D = -\frac{1}{M} \frac{dw}{dx}. \quad (1.5)$$

Постоянные B и D в системе СИ имеют размерность

$$[B] = M \cdot H^{-1}, \quad [D] = (H \cdot M)^{-1}. \quad (1.6)$$

Из условий (1.3) можно получить условия всех типов опор. Приведем несколько примеров:

I) условия абсолютно жестко защемленной опоры:

$$B = 0, \quad D = 0; \quad (1.7)$$

II) условия классической шарнирной опоры:

$$a = 0, \quad B = 0, \quad D = \infty; \quad (1.8)$$

III) условия классической шарнирной опоры на упругом основании:

$$a = 0, \quad B > 0, \quad D = \infty; \quad (1.9)$$

IV) условия упругой шарнирной опоры на жестком основании:

$$a = 0, \quad B = 0, \quad 0 < D < \infty \quad (1.10)$$

и т.д.

2. Рассмотрим ортотропную балку с прямоугольным постоянным поперечным сечением $b \times h$. Балка находится под действием равномерно распределенной поперечной нагрузки интенсивности q . Левый край балки $x = 0$ имеет упруго-защемленную опору общего типа, а ее правый край $x = l$ опирается на классическую шарнирную подвижную опору (рис. 2).

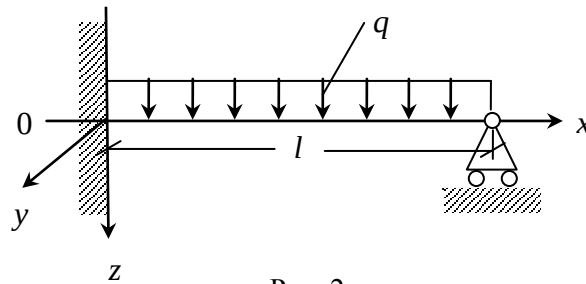


Рис. 2.

Изгибающий момент M_x и перерезывающая сила N_x в рамках уточненной теории С. А. Амбарцумяна [1], учитывающей влияние деформаций поперечных сдвигов, имеют вид

$$M_x = -EJ \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{h^2 \chi}{10} \cdot J \cdot \frac{d\varphi}{dx}, \quad (2.1)$$

$$N_x = J\varphi, \quad (\chi = a_{55}E). \quad (2.2)$$

Здесь E – модуль Юнга материала балки по направлению оси Ox , φ – искомая функция, определяющая перерезывающую силу, a_{55} – упругая постоянная, связывающая деформацию поперечного сдвига и касательного напряжения балки в плоскости yOz . Через J обозначен момент инерции поперечного сечения балки относительно его центральной оси Oy

$$J = \frac{bh^3}{12}. \quad (2.3)$$

Дифференциальные уравнения равновесия балки имеют вид [1]

$$\frac{dM_x}{dx} = N_x, \quad \frac{dN_x}{dx} = -q. \quad (2.4)$$

С учетом (2.1) и (2.2) из (2.4) получим

$$\begin{aligned} E \frac{d^3 w}{dx^3} - \frac{h^2 \chi}{10} \frac{d^2 \varphi}{dx^2} + \varphi &= 0, \\ \frac{d\varphi}{dx} &= -\frac{q}{J}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Решение этой системы будет

$$\varphi = -\frac{q}{J}x - \frac{C_1}{J}, \quad (N_x = -qx - C_1), \quad (2.6)$$

$$EJw = q \frac{x^4}{24} + C_1 \frac{x^3}{6} + C_2 \frac{x^2}{2} + C_3 x + C_4. \quad (2.7)$$

Через C_i обозначены постоянные интегрирования, которые определяются из краевых условий:

$$\begin{aligned} \text{при } x=0 \quad w &= a \frac{dw}{dx} + BN_x, \quad \frac{dw}{dx} = D(aN_x - M_x), \\ \text{при } x=l \quad w &= 0, \quad M_x = 0. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Удовлетворив этим условиям, с учетом (2.6) и (2.7) относительно постоянных C_i получим систему уравнений

$$\begin{cases} BEJ \cdot C_1 - aC_3 + C_4 = 0, \\ aDEJ \cdot C_1 - DEJC_2 + C_3 = \frac{EJDh^2 \chi}{10} \cdot q, \\ 4l^3 C_1 + 12l^2 C_2 + 24lC_3 + 24C_4 = -ql^4, \\ lC_1 + C_2 = -\frac{ql^2}{2} - \frac{h^2 \chi}{10} \cdot q. \end{cases} \quad (2.9)$$

Решая (2.9), получим

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{ql^2}{40H} \left[25l^2 + 60EJD(l+a) + 6h^2 \chi \right], \\ C_2 &= \frac{q}{40H} \left\{ 5l^5 - 60EJl^2 \left[B + aD(l+a) \right] + 2h^2 \chi l^3 - 12EJh^2 \chi \left[B + D(l+a)^2 \right] \right\}, \\ C_3 &= \frac{qEJl^2 D}{40H} \left[5l^2 (l+5a) - 60EJB + 6h^2 \chi (l+a) \right], \\ C_4 &= \frac{qEJl^2}{40H} \left\{ 5l^2 \left[5B + aD(l+5a) \right] + 60EJDBl + 6h^2 \chi \left[B + aD(l+a) \right] \right\}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

Через H обозначено выражение

$$H = l^3 + 3EJ \left[B + D(l+a)^2 \right]. \quad (2.11)$$

Отметим, что члены с множителем χ учитывают влияние деформации поперечного сдвига.

Подставляя (2.10) в (2.1), (2.2), (2.6) и (2.7), после некоторых видоизменений для N_x , M_x и w получим

$$N_x = \frac{q}{40M} \left[5l^3(5l-8x) + 60EJD(l+a)(l^2-2lx-2ax) - 120EJBx + 6h^2\chi l^2 \right], \quad (2.12)$$

$$M_x = \frac{q}{40H} \left\{ 5l^3(5lx-l^2-4x^2) + 60EJB(l^2-x^2) + 60EJD \left[l^2x(l-x) + a(l+a)(l^2-x^2) \right] - 6h^2\chi l^2(l-x) \right\}, \quad (2.13)$$

$$W = \frac{q}{240EJH} \left\{ 5l^3x^2(3l^2-5lx+2x^2) + 30EJD \left[l^2x(l^3-2lx^2+x^3) + al(2x^4-2lx^3-6l^2x^2+5l^3x+l^4) + a^2(5l^4-6l^2x^2+x^4) \right] + 30EJB(5l^4-6l^2x^2+x^4) + 360E^2J^2DBl^2(l-x) + 6h^2\chi l^2x^2(l-x) + 36EJh^2\chi B(l^2-x^2) + 36EJh^2\chi D(l+a)(l^2x-lx^2+al^2-ax^2) \right\}. \quad (2.14)$$

Рассмотрим частные случаи.

I. Вместо упруго-защемленной опоры имеется классическая жестко защемленная опора. В этом случае

$$B = 0, \quad D = 0, \quad H = l^3. \quad (2.15)$$

С учетом (2.15) из (2.12)÷(2.14) получим

$$N_x = \frac{q}{40l} \left[5l(5l-8x) + 6h^2\chi \right], \quad (2.16)$$

$$M_x = -\frac{q}{40l} \left[5l(l^2-5lx+4x^2) + 6h^2\chi(l-x) \right], \quad (2.17)$$

$$w = \frac{qx^2}{240EJl} \left[5l(3l^2-5lx+2x^2) + 6h^2\chi(l-x) \right]. \quad (2.18)$$

Из этих выражений видно, что учет поперечного сдвига влияет на значения всех расчетных величин балки.

II. Вместо упруго-защемленной опоры имеется классическая шарнирная опора. Тогда

$$a = B = 0, \quad D = \infty, \quad H = 3EJl^2. \quad (2.19)$$

С учетом (2.19) из (2.12)÷(2.14) получим

$$N_x = \frac{q}{2}(l-2x), \quad (2.20)$$

$$M_x = \frac{qx}{2}(l-x), \quad (2.21)$$

$$w = \frac{qx}{120EJ} \left[5(l^3-2lx^2+x^3) + 6h^2\chi(l-x) \right]. \quad (2.22)$$

В отличие от случая I учет поперечного сдвига в данном случае влияет только на значение прогиба балки, что является следствием статической определимости задачи.

Аналогичным образом из (2.12)÷(2.14) можно получить решения и остальных частных случаев.

В заключение отметим, что идею упруго-защемленной опоры можно распространить как на более сложные виды деформирования балки, так и на анизотропные пластинки и оболочки постоянной и переменной толщины [2]÷[4].

Институт механики НАН РА

Р. М. Киракосян

Неклассическая задача изгиба ортотропной балки с упруго-защемленной опорой

Рассматривается упруго-защемленная опора, из которой как частный случай получаются все типы опор, включая и случай свободного конца. В рамках уточненной теории С. А. Амбарцумяна решается задача изгиба ортотропной балки прямоугольного постоянного поперечного сечения при действии равномерно распределенной поперечной нагрузки. Считается, что один конец балки упруго зашпелен, а другой лежит на классической шарнирной подвижной опоре. Получаются аналитически замкнутые выражения прогиба, поперечной силы и изгибающего момента балки. Рассматриваются два частных случая.

Ռ. Մ. Կիրակոսյան

Առաձգական ամրակցված հենարանով հեձանի ծոման ոչ դասական խնդիրը

Դիտարկվում է առաձգական ամրակցման հենարան, որից, որպես մասնավոր դեպքեր, ստացվում են բոլոր տիպի հենարանները, ներառյալ նաև ազատ եզրը: Ճշգրտված [1] տեսության շրջանակներում լուծվում է ուղղանկյուն հաստատուն կտրվածքով օրթոտրոպ հեձանի ծոման խնդիրը հավասարաչափ բաշխված բեռի ազդեցության դեպքում ընդունվում է, որ հեձանի մի ծայրն առաձգական ամրակցված է, իսկ մյուսը հենված է դասական հողակապային հենարանին: Ստացվում են հեձանի ճկվածքի, լայնական ուժի և ծռող մոմենտի անալիտիկ փակ արտահայտությունները: Դիտարկվում են երկու մասնավոր դեպքեր:

R. M. Kirakosyan

Non-Classical Problem of a Bend Orthotropic Beams with the Elastic Clamped Support

The elastic clamped support from which as a special case, several types of supports turn out, including the case of the free end is considered. Within S. A. Ambartsumyan's refined theory the problem of a bend of an orthotropic beam of rectangular constant

cross section is solved under the action of uniformly distributed transverse loads. It is considered that one end of a beam is elastically clamped and the other one is hinged on a classical mobile support. It is received analytically closed expressions of deflection, shear force and bending moment of the beam. Two special cases are considered.

Литература

1. *Амбарцумян С. А.* Теория анизотропных пластин. М. Наука. 1987. 360 с.
2. *Амбарцумян С. А.* Общая теория анизотропных оболочек. М. Наука. 1974. 448 с.
3. *Киракосян Р. М.* Прикладная теория ортотропных пластин переменной толщины, учитывающая влияние деформаций поперечных сдвигов. Изд. НАН РА "Титутюн". 2000. 122 с.
4. *Киракосян Р. М.* - ДНАН РА. 2012. Т. 112. №4. С. 369–376.

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОУПРУГОСТИ

УДК 539.3

Член-корреспондент НАН РА А. С. Аветисян, А. А. Камалян

О распространении электроупругого сдвигового сигнала в неоднородном пьезоэлектрическом слое класса $6mm$

(Представлено 13/ IV 2014)

Ключевые слова: электроупругий сдвиговой волновой сигнал, неоднородный пьезоэлектрический слой, характер распределения волны по толщине слоя.

В связи с широким применением различных конструкционных элементов, изготовленных из композитных материалов, в современной технике все более актуальным становится изучение вопросов распространения волн в неоднородных средах. При распространении волнового сигнала в среде ее неоднородность приводит к рассеиванию волновой энергии, или диссипации волны, или изменению дисперсии распространяющейся волны. Амплитуда и фаза распространяющегося волнового сигнала становятся функциями координат и времени, которые связаны между собой нелинейными дифференциальными соотношениями.

Тем самым усложняется решение задачи распространения волнового сигнала уже в неоднородных упругих средах. В настоящее время более актуальны задачи связанных физических полей; особое значение имеют проблемы, касающиеся взаимодействия механической и электромагнитной связанных полей в неоднородных средах, где учет сопряженности механических и электромагнитных полей (пьезоэлектрический эффект, электростракция и др.) еще более усложняет проблему. В [1–3] и др. исследуется распространение волн типа Лява в случае неоднородного тонкого пьезоэлектрического слоя.

В данной работе рассматривается распространение электроупругого монохроматического сигнала в неоднородном пьезоэлектрике гексагональной симметрии (класс $6mm$), отнесенном к системе координат $oxyz$, где координатная ось oz параллельна оси симметрии пьезокристалла, а плоскость $хоу$ есть неоднородная плоскость изотропии материала (рис. 1). В этой плоскости задача электроупругости разделяется на плоское деформированное неэлектроактивное и электроактивное антиплоское состояния.

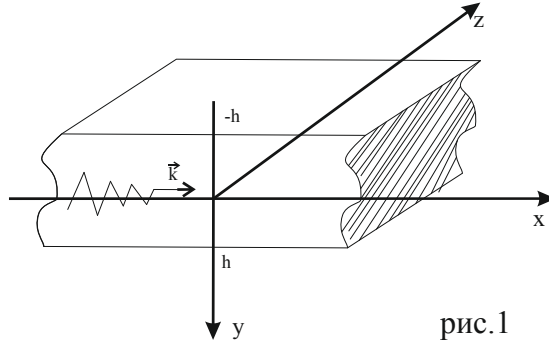


рис.1

Исходя из этого нами исследовано распространение горизонтально поляризованных (*SH*) электроупругих монохроматических волн, вектор которых представляется двумя компонентами

$$\{\vec{u}, \Phi\} = \{0; 0; w(x, y, t); \Phi(x, y, t)\}. \quad (1)$$

Запишем уравнения разделенного антиплоского электроупругого состояния в векторном виде

$$\operatorname{div} \vec{\sigma} = \rho(x, y) \ddot{w}; \operatorname{div} \vec{D} = 0; \vec{E} = -\operatorname{grad} \Phi. \quad (2)$$

Механические напряжения σ_{zx} , σ_{zy} и компоненты вектора электрической индукции D_x , D_y для неоднородного по плоскости *xoy* пьезоэлектрика указанной симметрии будут

$$\begin{aligned} \sigma_{zx} &= G(x, y) w_{,x} - e(x, y) \Phi_{,x}, \quad \sigma_{zy} = G(x, y) w_{,y} - e(x, y) \Phi_{,y}, \\ D_x &= e(x, y) w_{,x} - \varepsilon(x, y) \Phi_{,x}, \quad D_y = e(x, y) w_{,y} - \varepsilon(x, y) \Phi_{,y}, \end{aligned} \quad (3)$$

с учетом которых уравнения (2) можно привести к следующему виду:

$$\begin{aligned} G(x, y) \nabla^2 w(x, y, t) + \operatorname{grad} G(x, y) \operatorname{grad} w(x, y, t) - \\ - e(x, y) \nabla^2 \Phi(x, y, t) - \operatorname{grad} e(x, y) \operatorname{grad} \Phi(x, y, t) = \rho(x, y) \ddot{w}(x, y, t), \\ e(x, y) \nabla^2 w(x, y, t) + \operatorname{grad} e(x, y) \operatorname{grad} w(x, y, t) - \\ - \varepsilon(x, y) \nabla^2 \Phi(x, y, t) - \operatorname{grad} \varepsilon(x, y) \operatorname{grad} \Phi(x, y, t) = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Очевидно, что в отличие от случая однородного пьезодиэлектрика простой симметрии класса *6mm* уравнения сдвиговой деформации и электростатики уже не разделяются. Но если предполагать, что диэлектрическая проницаемость и пьезоэлектрический модуль в неоднородном пьезокристалле меняются идентичным образом, т. е. $e(x, y) = a_0 \varepsilon(x, y)$, то получим

$$\begin{aligned} \nabla^2 w(x, y, t) + \frac{\operatorname{grad} f(x, y)}{f(x, y)} \operatorname{grad} w(x, y, t) = \frac{1}{C^2(x, y)} \ddot{w}(x, y, t), \\ \nabla^2 \psi(x, y, t) + \frac{\operatorname{grad} \varepsilon(x, y)}{\varepsilon(x, y)} \operatorname{grad} \psi(x, y, t) = 0, \end{aligned} \quad (5)$$

где $f(x, y) = G(x, y) + a_0 e(x, y)$ – приведенный коэффициент жесткости сдвига пьезодиэлектрика, зависящий от координат, и следовательно $C^2(x, y) =$

$= \frac{f(x, y)}{\rho(x, y)}$ – квадрат скорости сдвиговой волны, изменяющийся от координат точки, $\psi(x, y, t) = \Phi(x, y, t) - a_0 w(x, y, t)$ – введенная функция электрической индукций, a_0 – введенная постоянная.

Зависимость физических характеристик от координат точки, естественно, приведет к изменению амплитуды и фазы распространяющегося волнового сигнала. Тогда возьмем решения уравнений (5) в виде монохроматической волны

$$\begin{cases} w(x, y, t) \\ \psi(x, y, t) \end{cases} = \begin{cases} A_w(x, y) \\ A_\psi(x, y) \end{cases} \exp i \left[\begin{cases} \varphi_w(x, y) \\ \varphi_\psi(x, y) \end{cases} - \omega t \right]. \quad (6)$$

Здесь $A_w(x, y)$ и $A_\psi(x, y)$ – амплитуды, а $\varphi_w(x, y)$ и $\varphi_\psi(x, y)$ – укороченные фазы монохроматических волн.

С учетом (6) из (5), используя также обозначение $U(x, y) = \ln A(x, y)$, после несложных преобразований находим системы уравнений, которым должны удовлетворять меняющиеся амплитуды $A_w(x, y)$, $A_\psi(x, y)$ и фазы $\varphi_w(x, y)$, $\varphi_\psi(x, y)$ распространяющейся электроупругой волны:

$$\begin{aligned} (\text{grad } U_w)^2 - (\text{grad } \varphi_w)^2 + \nabla^2 U_w + \frac{\text{grad } f(x, y)}{f(x, y)} \text{grad } U_w + \frac{\omega^2}{C^2(x, y)} &= 0, \\ 2 \text{grad } U_w \cdot \text{grad } \varphi_w + \nabla^2 \varphi_w + \frac{\text{grad } f(x, y)}{f(x, y)} \text{grad } \varphi_w &= 0, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} (\text{grad } U_\psi)^2 - (\text{grad } \varphi_\psi)^2 + \nabla^2 U_\psi + \frac{\text{grad } \varepsilon(x, y)}{\varepsilon(x, y)} \text{grad } U_\psi &= 0, \\ 2 \text{grad } U_\psi \cdot \text{grad } \varphi_\psi + \nabla^2 \varphi_\psi + \frac{\text{grad } \varepsilon(x, y)}{\varepsilon(x, y)} \text{grad } \varphi_\psi &= 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Волновые поля для упругого сдвига и электрического потенциала, характеризующие распространяющийся монохроматический сигнал, представляются через точные решения полученных систем нелинейных уравнений [4] (1.7) и (1.8) в виде:

$$\begin{aligned} w(x, y, t) &= \exp[U_w(x, y) + i\varphi_w(x, y) - i\omega t], \\ \Phi(x, y, t) &= \exp[U_\psi(x, y) + i\varphi_\psi(x, y) - i\omega t] + a_0 w(x, y, t). \end{aligned} \quad (9)$$

Если аналогично гармонической волне (6) для укороченных фаз монохроматических волн $\varphi_w(x, y)$ и $\varphi_\psi(x, y)$ ввести вектор $\vec{k} = \text{grad } \varphi$, то этот вектор также будет функцией координат x и y как по величине, так и по направлению.

Таким образом, задача о распространении монохроматических волн в неоднородной пьезоэлектрической среде приводится к решению систем нелинейных дифференциальных уравнений типа (7) и (8) относительно амплитуд и фаз волны.

Для общности предположим, что неоднородный пьезодиэлектрический слой отнесен к системе декартовых координат таким образом, что зани-

мает область $\{|x| < \infty, |y| \leq h; |z| < \infty\}$. Тогда для удовлетворения граничных условий на поверхностях $y = \pm h$, с учетом того, что все физические характеристики материала являются функциями координат x, y , при разных сочетаниях электромеханических условий на указанных границах, кроме выражений упругого сдвига и электрического потенциала (9), будем пользоваться соотношениями (3)

$$\begin{aligned}\sigma_{xx} &= G(x, y)w_{,x} - e(x, y)\Phi_{,x}, \quad \sigma_{zy} = G(x, y)w_{,y} - e(x, y)\Phi_{,y}, \\ D_x &= e(x, y)w_{,x} - \varepsilon(x, y)\Phi_{,x}, \quad D_y = e(x, y)w_{,y} - \varepsilon(x, y)\Phi_{,y}.\end{aligned}$$

Естественно, что все физические характеристики материала $G(x, y)$, $\rho(x, y)$, $\varepsilon(x, y)$ и $e(x, y)$, являющиеся функциями координат x, y , должны удовлетворять некоторым численным условиям. Жесткость упругого сдвига и плотность материала должны быть положительными: $G(x, y) > 0$, $\rho(x, y) > 0$, и относительная диэлектрическая проницаемость материала может быть только больше единицы: $\varepsilon(x, y) > 1$, а пьезоэлектрический модуль $e(x, y) = a_0 \varepsilon(x, y)$ за счет выбора введенной постоянной может быть отрицательным или принимать также значение нуль: $a_0 \leq 0$, что будет соответствовать непьезоактивному диэлектрику.

При решении динамических задач электроупругости в квазистатической постановке в практике пользуются условиями механически открытых или закрытых, а также электрически открытых или закрытых на поверхностях тел. Так что при исследовании распространения электроупругого сдвигового сигнала в неоднородном пьезодиэлектрическом слое на поверхностях $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя можем рассматривать разные сочетания электромеханических граничных условий:

а) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически и электрически закрытые. Тогда на поверхностях будем иметь

$$w(x, \pm h, t) = 0, \quad \Phi(x, \pm h, t) = 0 \quad (10)$$

или с учетом выражений для упругого сдвига и электрического потенциала

$$\begin{aligned}\exp[U_w(x, \pm h) + i\varphi_w(x, \pm h)] &= 0, \\ \exp[U_\psi(x, \pm h) + i\varphi_\psi(x, \pm h)] + a_0 w(x, \pm h) &= 0.\end{aligned} \quad (11)$$

б) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически и электрически открытые. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\sigma_{zy}(x, \pm h, t) = 0, \quad D_y(x, \pm h, t) = 0 \quad (12)$$

или с учетом выражений (3) для механического напряжения $\sigma_{zy}(x, \pm h, t) = 0$ и электрической индукции $D_y(x, \pm h, t) = 0$

$$\begin{aligned}G(x, \pm h)w_{,y}(x, \pm h) - e(x, \pm h)\Phi_{,y}(x, \pm h) &= 0, \\ e(x, \pm h)w_{,y}(x, \pm h) - \varepsilon(x, \pm h)\Phi_{,y}(x, \pm h) &= 0.\end{aligned} \quad (13)$$

в) Поверхность $y = -h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически и электрически открытая, а поверхность $y = +h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически и электрически закрытая. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned} G(x, -h)w_{,y}(x, -h) - e(x, -h)\Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ e(x, -h)w_{,y}(x, -h) - \varepsilon(x, -h)\Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_w(x, +h) + i\varphi_w(x, +h)] &= 0, \\ \exp[U_\psi(x, +h) + i\varphi_\psi(x, +h)] + a_0 w(x, +h) &= 0. \end{aligned} \quad (14)$$

г) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически открытые, в то же время одна поверхность $y = -h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя электрически открытая, а другая поверхность $y = +h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя электрически закрытая. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned} G(x, \pm h)w_{,y}(x, \pm h) - e(x, \pm h)\Phi_{,y}(x, \pm h) &= 0, \\ e(x, -h)w_{,y}(x, -h) - \varepsilon(x, -h)\Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_\psi(x, +h) + i\varphi_\psi(x, +h)] + a_0 w(x, +h) &= 0. \end{aligned} \quad (15)$$

д) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически открытые и электрически закрытые. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned} G(x, \pm h)w_{,y}(x, \pm h) - e(x, \pm h)\Phi_{,y}(x, \pm h) &= 0, \\ \exp[U_\psi(x, \pm h) + i\varphi_\psi(x, \pm h)] + a_0 w(x, \pm h) &= 0. \end{aligned} \quad (16)$$

е) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически закрытые и электрически открытые. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned} \exp[U_\psi(x, \pm h) + i\varphi_\psi(x, \pm h)] + a_0 w(x, \pm h) &= 0, \\ e(x, \pm h)w_{,y}(x, \pm h) - \varepsilon(x, \pm h)\Phi_{,y}(x, \pm h) &= 0. \end{aligned} \quad (17)$$

ж) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически закрытые, в то же время одна поверхность $y = -h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя электрически открытая, а другая поверхность $y = +h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя электрически закрытая. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned} \exp[U_w(x, \pm h) + i\varphi_w(x, \pm h)] &= 0, \\ e(x, -h)w_{,y}(x, -h) - \varepsilon(x, -h)\Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_\psi(x, +h) + i\varphi_\psi(x, +h)] + a_0 w(x, +h) &= 0. \end{aligned} \quad (18)$$

и) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя электрически закрытые, в то же время одна поверхность $y = -h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически открытая, а другая по-

верхность $y = +h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически закрытая. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned}\exp[U_\psi(x, \pm h) + i\varphi_\psi(x, \pm h)] + a_0 w(x, \pm h) &= 0, \\ G(x, -h) w_{,y}(x, -h) - e(x, -h) \Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_w(x, +h) + i\varphi_w(x, +h)] &= 0.\end{aligned}\quad (19)$$

й) Поверхности $y = \pm h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя электрически открытые, в то же время одна поверхность $y = -h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически открытая, а другая поверхность $y = +h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически закрытая. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned}e(x, \pm h) w_{,y}(x, \pm h) - \varepsilon(x, \pm h) \Phi_{,y}(x, \pm h) &= 0, \\ G(x, -h) w_{,y}(x, -h) - e(x, -h) \Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_w(x, +h) + i\varphi_w(x, +h)] &= 0.\end{aligned}\quad (20)$$

к) Одна поверхность $y = -h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически открытая и электрически закрытая, а другая поверхность $y = +h$ неоднородного пьезодиэлектрического слоя механически закрытая и электрически открытая. Тогда на поверхностях будем иметь

$$\begin{aligned}G(x, -h) w_{,y}(x, -h) - e(x, -h) \Phi_{,y}(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_\psi(x, -h) + i\varphi_\psi(x, -h)] + a_0 w(x, -h) &= 0, \\ \exp[U_w(x, +h) + i\varphi_w(x, +h)] &= 0, \\ e(x, +h) w_{,y}(x, +h) - \varepsilon(x, +h) \Phi_{,y}(x, +h) &= 0.\end{aligned}\quad (21)$$

Очевидно, что если на границах раздела пьезодиэлектрическая среда граничит с вакуумом, то электрическое поле просачивается во внешнее полупространство и вместо условий электрически закрытой или электрически открытой границы

$$G(x, \pm h) w_{,y}(x, \pm h) - e(x, \pm h) \Phi_{,y}(x, \pm h) = 0$$

на соответствующих поверхностях будем иметь условия непрерывности электрического поля с полем во внешней среде:

$$\begin{aligned}\exp[U_\psi(x, \pm h) + i\varphi_\psi(x, \pm h)] + a_0 w(x, \pm h) &= \exp[U_\psi^{(e)}(x, \pm h) + i\varphi_\psi^{(e)}(x, \pm h)], \\ e(x, \pm h) w_{,y}(x, \pm h) - \varepsilon(x, \pm h) \Phi_{,y}(x, \pm h) &= -\varepsilon^{(e)}(x, \pm h) \Phi_{,y}^{(e)}(x, \pm h).\end{aligned}\quad (22)$$

Если же пьезодиэлектрическая среда граничит с другой неоднородной пьезодиэлектрической средой, то тогда в обеих средах решаются системы нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами (7) и (8) по отношению к амплитудам упругого сдвига и электрического потенциала $A_w(x, y)$, $A_\psi(x, y)$, а также фазам $\varphi_w(x, y)$, $\varphi_\psi(x, y)$ распространяющейся электроупругой волны и на соответствующих поверхностях будем иметь условия непрерывности электрического и механического полей. Условия непрерывности в этих случаях соответственно примут вид:

$$\begin{aligned}
& \exp \left[U_{\psi}^{(1)}(x, \pm h) + i\varphi_{\psi}^{(1)}(x, \pm h) \right] + a_0^{(1)} w^{(1)}(x, \pm h) = \\
& = \exp \left[U_{\psi}^{(2)}(x, \pm h) + i\varphi_{\psi}^{(2)}(x, \pm h) \right] + a_0^{(2)} w^{(2)}(x, \pm h), \\
& G^{(1)}(x, \pm h) w_{,y}^{(1)}(x, \pm h) - e^{(1)}(x, \pm h) \Phi_{,y}^{(1)}(x, \pm h) = \\
& = G^{(2)}(x, \pm h) w_{,y}^{(2)}(x, \pm h) - e^{(2)}(x, \pm h) \Phi_{,y}^{(2)}(x, \pm h), \\
& e^{(1)}(x, \pm h) w_{,y}^{(1)}(x, \pm h) - \varepsilon^{(1)}(x, \pm h) \Phi_{,y}^{(1)}(x, \pm h) = \\
& = e^{(2)}(x, \pm h) w_{,y}^{(2)}(x, \pm h) - \varepsilon^{(2)}(x, \pm h) \Phi_{,y}^{(2)}(x, \pm h), \\
& w^{(1)}(x, \pm h, t) = w^{(2)}(x, \pm h, t).
\end{aligned} \tag{23}$$

Таким образом, задача распространения электроупругого сдвигового сигнала в неоднородном пьезодиэлектрическом слое приводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами (7) и (8) по отношению к амплитудам упругого сдвига и электрического потенциала $A_w(x, y)$, $A_{\psi}(x, y)$, а также фазам $\varphi_w(x, y)$, $\varphi_{\psi}(x, y)$ распространяющейся электроупругой волны, с учетом обозначения $U(x, y) = \ln A(x, y)$ и представлений (6). Граничные условия (10) - (22) в каждой конкретной задаче, с учетом (6) и (9), также следует представить через амплитуды упругого сдвига и электрического потенциала $A_w(x, y)$, $A_{\psi}(x, y)$, а также через фазы $\varphi_w(x, y)$, $\varphi_{\psi}(x, y)$ распространяющейся электроупругой волны.

Институт механики НАН РА
Ереванский государственный университет

Член-корреспондент НАН РА А. С. Аветисян, А. А. Камалян

О распространении электроупругого сдвигового сигнала в неоднородном пьезодиэлектрическом слое класса $6mm$

Рассматривается постановка задачи о распространении электроупругого монохроматического сигнала в неоднородном пьезодиэлектрике гексагональной симметрии (класс $6mm$). Задача приводится к решению системы нелинейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами по отношению к амплитудам упругого сдвига и электрического потенциала, а также фазам распространяющейся электроупругой волны. Граничные условия в каждой конкретной задаче также представляются через амплитуды упругого сдвига и электрического потенциала.

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ա. Ս. Ավետիսյան, Ա. Ա. Քամալյան

Սահքի էլեկտրաառաձգական ազդանշանի տարածումը $6mm$ պիեզոդիէլեկտրիկ անհամասեռ շերտում

Դիտարկվում է հեքսոգոնալ համաչափությամբ ($6mm$ դասի) անհամասեռ պիեզոդիէլեկտրիկում էլեկտրաառաձգական մոնոխրոմատիկ ազդանշանի տարածման խըն-

դիրը: Խնդիրը բերվում է տարածվող էլեկտրաառաձգական ալիքի փուլերի, ինչպես նաև առաձգական սահքի և էլեկտրական պոտենցիալի ամպլիտուդաների նկատմամբ փոփոխական գործակիցներով ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգի լուծմանը: Եզրային պայմանները ամեն մի կոնկրետ խնդրում նույնպես ներկայացվում են առաձգական սահքի և էլեկտրական պոտենցիալի ամպլիտուդաների միջոցով:

Corresponding member of NAS RA A. S. Avetisyan, A. A. Kamalyan

**On Propagation of Electroelastic Shear Wave in 6mm Class
Piezodielectric Inhomogeneous Layer**

The statement of the problem of electroelastic monochromatic signal propagation in inhomogeneous dielectric media was considered. The problem is put into the solution of nonlinear differential equations system with coefficients depending on amplitudes of elastic shear strain and electrical potential and depending on propagating electroelastic wave phase too. Boundary conditions in any particular case also depend on amplitudes of elastic shear strain and electrical potentials.

Литература

1. *Аветисян А. С.* - Изв. АН АрмССР. Механика. 1987. Т. 40. № 1. С. 24–29.
2. *Bakirtas I., Maugin G. A.* - Journal de Mechanique Theoretique et Appliquee. 1982. V. 1. № 6. P. 995–1013.
3. *Bhattacharya S. N.* - Pure and Appl. Geophysics. 1972. V. 93. № 1. P. 19–35
4. *Курант Р., Гильберт Д.* Методы математической физики. Т.1. М.–Л. ГИТТЛ. 1951. 476 с.

ФИЗИКА

УДК 621. 315

З. Г. Григорян

Примесные состояния в полусферической квантовой точке с полубесконечным ограничивающим потенциалом

(Представлено академиком Э. М. Казаряном 25/III 2014)

Ключевые слова: квантовая точка, полусфера, примесные состояния.

Введение. Спонтанно возникающие квантовые точки (КТ) в основном имеют линзообразную поверхность (так называемые квантовые линзы (КЛ)), и в частности может образоваться сферический сегмент с круговым сечением [1] (рис. 1). В работе [2] авторы теоретически исследовали электронные состояния в таких структурах. Сперва они рассмотрели полусферическую КТ (ПСКТ), а потом, в рамках обобщенной теории возмущений, для конформно отображенных операторов (modified Reyleigh-Schrodinger perturbation theory) исследовали электронные состояния в КЛ, мало отличающейся от ПСКТ. При этом для решения той же задачи в [3] был предложен значительно более простой оператор отображения, в результате чего для энергии системы получались простые аналитические выражения.

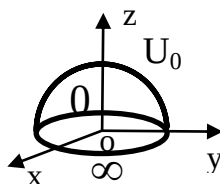


Рис. 1. Полусферическая квантовая точка.

В обеих задачах в качестве ограничивающего потенциала был выбран бесконечно высокий потенциальный барьер. С другой стороны, учет конечности потенциального барьера приближает задачу к реальной, однако значительно усложняет ее. В этой связи следует отметить работу [4], в которой были рассмотрены ПСКТ и КЛ с полубесконечным ограничивающим потенциалом. Вместе с тем в КТ могут образовываться примесные состояния. Наличие примеси в КТ может сильно повлиять на ее свойства. Поэтому вызывает интерес исследование примесных состояний в

ПСКТ с учетом конечности высоты ограничивающего потенциала, что и является целью данной работы.

Теория. Рассмотрим примесные состояния в ПСКТ с полубесконечным ограничивающим потенциалом. Гамильтониан системы имеет вид

$$\left\{ \frac{p^2}{2\mu} - \frac{e^2}{\varepsilon r} + U(r, \theta) \right\} \Psi(r, \theta, \varphi) = E \Psi(r, \theta, \varphi), \quad (1)$$

где μ – эффективная масса электрона, ε – диэлектрическая проницаемость среды, а $U(r, \theta)$ – ограничивающий потенциал, который имеет вид

$$U(r, \theta) = U(r) + U(\theta), \quad (2)$$

где $U(r) = \begin{cases} 0 & r < r_0 \\ U_0 & r > r_0 \end{cases}$, $U(\theta) = \begin{cases} 0 & \theta < \pi/2 \\ \infty & \theta > \pi/2 \end{cases}$, r_0 – радиус полусферы.

Решение уравнения (1) ищем в виде

$$\Psi(r, \theta, \varphi) = R(r) \cdot Y(\theta, \varphi). \quad (3)$$

После разделения переменных для радиальной $R(r)$ и угловой $Y(\theta, \varphi)$ волновых функций получим соответственно следующие уравнения:

$$R''(r) + \frac{2}{r} R'(r) - \frac{2m}{h^2} \left(V(r) - E - \frac{e^2}{\varepsilon r} \right) \cdot R(r) + \frac{R(r)}{r^2} \lambda = 0, \quad (4)$$

$$\left(\Delta_{\theta, \varphi} - \frac{2m}{h^2} \cdot V(\theta) \right) Y(\theta, \varphi) = \lambda Y(\theta, \varphi), \quad (5)$$

где λ – константа разделения.

Сначала найдём собственную функцию и собственные значения уравнения (5), которые удовлетворяют граничному условию

$$Y(\pi/2, \varphi) = 0. \quad (6)$$

После подстановки $\lambda = -l(l+1)$, $x = \cos \theta$ и $Y(\theta, \varphi) = \Theta(\theta) \cdot e^{im\varphi}$, где m – целое число, для области $0 < \theta < \pi/2$ ($0 \leq x \leq 1$) получим

$$\left[(1-x^2) \frac{d^2}{dx^2} - 2x \frac{d}{dx} + \left(l(l+1) - \frac{m^2}{1-x^2} \right) \right] \Theta(x) = 0. \quad (7)$$

Решение уравнения (6), которое конечно в интервале $0 \leq x \leq 1$, имеет вид

$$\Theta_1(x) = A P_l^{|m|}(x), \quad (8)$$

где $P_l^{|m|}(x)$ – присоединенная функция Лежандра.

Из граничного условия (6) $\Theta_1(0) = 0$ следует, что $l + |m| = 2p + 1$, где $p \in \mathbb{Z}$. m и p целые числа, следовательно, l тоже целое число. Из равенства $P_l^{|m|}(x) = P_{-l-1}^{|m|}(x)$ следует, что при замене l на $-l-1$ ($\forall l \in \mathbb{Z}$) ничего не меняется. Следовательно, можно взять только одно значение: или l , или $-l-1$. Так как l и $-l-1$ симметричны относительно $-\frac{1}{2}$, а также с

учетом того, что l целое число, следует, что $l \geq 0$. Если $l < |m|$, то $P_l^{(m)}(x) = 0$, следовательно, должно выполняться условие $l \geq |m|$.

Из условия нормировки для A находим

$$A = \sqrt{\frac{(2l+1)(l-|m|)!}{2\pi(l+|m|)!}}. \quad (9)$$

Таким образом, решение угловой части уравнения Шредингера выражается через сферические функции

$$Y_{lm}(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{(2l+1)(l-|m|)!}{2\pi(l+|m|)!}} P_l^{(m)}(\cos \theta) \cdot e^{im\varphi}. \quad (10)$$

При этом $l > |m|$ и $l + |m|$ – нечетное число.

Перейдем к решению радиального уравнения Шредингера (4). Решение этого уравнения, когда $r < r_0$, имеет вид [5]

$$R_1(r) = C_1 e^{-\gamma_1 r} r^\ell {}_1F_1[\ell+1-k_1, 2\ell+2; 2\gamma_1 r], \quad (11)$$

где ${}_1F_1[a, b, z]$ – вырожденная гипергеометрическая функция первого рода,

$\gamma_1 = \sqrt{-2\mu E/\hbar^2}$, $k_1 = e^2 \mu / \gamma_1 \hbar^2$, C_1 – нормировочный коэффициент.

В области $r > r_0$ решение (4) примет вид

$$R_2(r) = C_2 e^{-\gamma_2 r} r^\ell U[\ell+1-k_2, 2\ell+2; 2\gamma_2 r], \quad (12)$$

где $U[a, b, z]$ – вырожденная гипергеометрическая функция второго рода,

$\gamma_2 = \sqrt{2\mu(U_0 - E)/\hbar^2}$, $k_2 = e^2 \mu / \gamma_2 \hbar^2$, C_2 – нормировочный коэффициент. Из стандартных условий для волновых функций и их первых производных в точке $r = r_0$ имеем

$$\begin{cases} R_1(r_0) = R_2(r_0) \\ R_1'(r_0) = R_2'(r_0) \end{cases}, \quad (13)$$

или

$$\begin{cases} C_1 e^{-\gamma_1 r} r^\ell {}_1F_1[\ell+1-k_1, 2\ell+2; 2\gamma_1 r] = C_2 e^{-\gamma_2 r} r^\ell U[\ell+1-k_2, 2\ell+2; 2\gamma_2 r] \\ C_1 (e^{-\gamma_1 r} r^\ell {}_1F_1[\ell+1-k_1, 2\ell+2; 2\gamma_1 r])' = C_2 (e^{-\gamma_2 r} r^\ell U[\ell+1-k_2, 2\ell+2; 2\gamma_2 r])' \end{cases} \quad (14)$$

Система (14) относительно неизвестных C_1 и C_2 имеет нетривиальные решения только в случае равенства нулю детерминанта:

$$\begin{vmatrix} e^{-\gamma_1 r} r^\ell {}_1F_1[\ell+1-k_1, 2\ell+2; 2\gamma_1 r] & e^{-\gamma_2 r} r^\ell U[\ell+1-k_2, 2\ell+2; 2\gamma_2 r] \\ (e^{-\gamma_1 r} r^\ell {}_1F_1[\ell+1-k_1, 2\ell+2; 2\gamma_1 r])' & (e^{-\gamma_2 r} r^\ell U[\ell+1-k_2, 2\ell+2; 2\gamma_2 r])' \end{vmatrix} = 0. \quad (15)$$

Условие (15) есть трансцендентное уравнение относительно энергии системы E .

Наконец отметим, что волновые функции (10-12) полностью совпадают с волновыми функциями сферической КТ с примесью в центре, только с

тем различием, что орбитальное и магнитное квантовые числа должны удовлетворять условию $l + |m| = \text{нечетное число}$ [6].

Обсуждение результатов. Численные расчеты сделаны для системы $\text{Al As/GaAs/Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, когда $x = 0.351$. Тогда $\mu = 0.067m_e$, $U_0 = 262.5 \text{ meV}$ и $\varepsilon = 13.1$, где m_e – масса свободного электрона. Вычисления осуществлены в единицах $E_R = \frac{\hbar^2}{2\mu a_B^2}$ и $a_B = \frac{\hbar^2 \varepsilon}{\mu e^2}$. На рис. 2 приведены зависимости энергии электрона от радиуса полусферы r_0 для различных состояний.

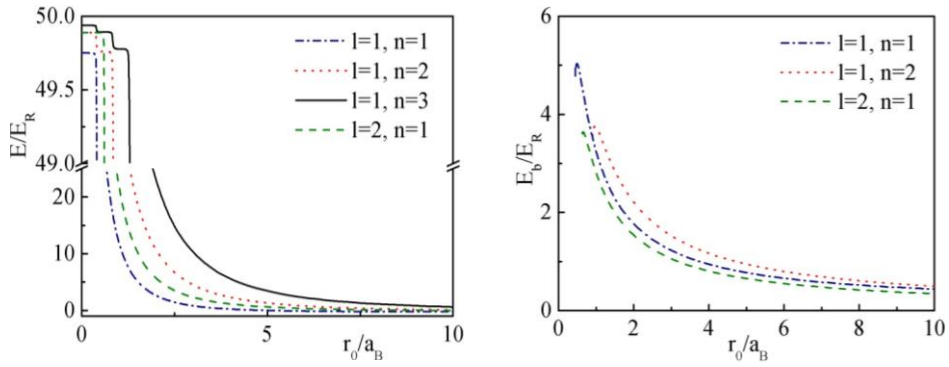


Рис. 2. Зависимости энергий электрона E от радиуса полусферы r_0 , когда $U_0 = 50E_R$, для состояний $l=1, n=1$, $l=1, n=2$, $l=1, n=3$, $l=2, n=1$.

Рис. 3 Зависимости энергий связи E_b от радиуса полусферы r_0 , когда $U_0 = 50E_R$, для состояний $l=1, n=1$, $l=1, n=2$, $l=2, n=1$.

Как видно из рис.1, когда радиус полусферы увеличивается, энергия электрона уменьшается и стремится для $l+n=2$ к $-E_R/4$, для $l+n=3$ к $-E_R/9$, а для $l+n=4$ к $-E_R/16$.

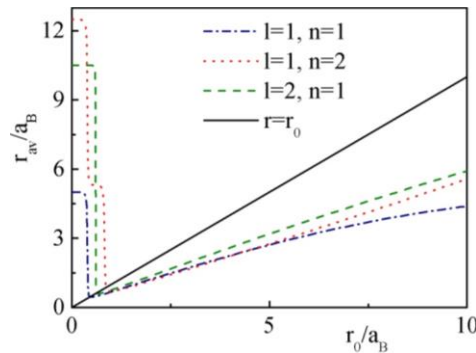


Рис. 4. Зависимости средних значений координаты r от радиуса полусферы r_0 , когда $U_0 = 50E_R$, для состояний $l=1, n=1$; $l=1, n=2$; $l=2, n=1$.

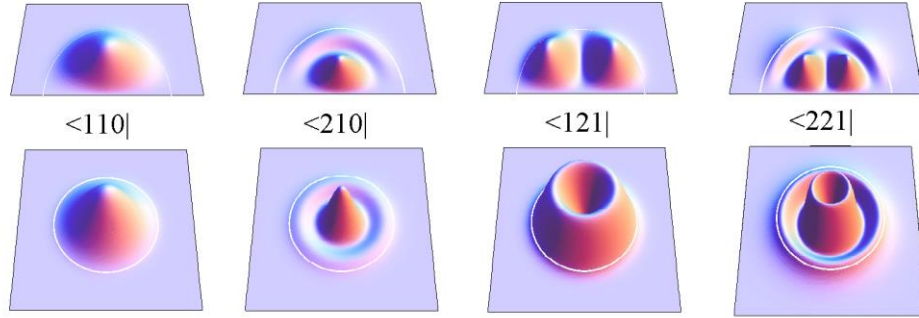


Рис. 5. Плотность вероятности нахождения электрона в любой точке плоскости $z = 0.5$ (нижняя строка) и в любой точке плоскости $x=0$ (верхняя строка), когда $r_0 = 1.09$, для состояний $n=1, l=1; m=0$, $n=2, l=1; m=0$, $n=1, l=2; m=1$, $n=2, l=2; m=1$.

Когда радиус уменьшается, энергия постепенно увеличивается и стремится для $l+n=2$ к $U_0 - E_R/4$, для $l+n=3$ к $U_0 - E_R/9$, а для $l+n=4$ к $U_0 - E_R/16$. В обоих случаях вырождение по l восстанавливается. Это объясняется тем, что при довольно больших радиусах электрон уже мало чувствует стенки и, следовательно, энергии стремятся к соответствующему значению энергии атома водорода. При $r_0 \rightarrow 0$ электрон ведет себя так, как будто находится в сплошной среде с потенциалом U_0 . Поэтому его энергия стремится к соответствующему значению энергии атома водорода в потенциальном поле U_0 .

На рис. 3 показаны зависимости энергии связи электрона E_b , которая определяется как $E_{nlb} = \tilde{E}_{nl} - E_{nl}$, где $\tilde{E}_{nl}$ – энергия электрона в ПСКТ без примеси [4], от радиуса полусферы. Из рисунка видно, что энергия связи для больших радиусов стремится к нулю. Когда радиус уменьшается, E_b достигает своего максимума и резко убывает. Максимум соответствует тому значению радиуса r_0 , при котором среднее значение координаты r достигает своего минимума (см. рис. 4), т.е. можно сказать, что электрон находится на ближайшем расстоянии от примеси.

На рис. 4 приведены зависимости средних значений координаты r_{av} от радиуса полусферы для различных состояний электрона. Как видно из рисунка, с увеличением радиуса r_0 r_{av} увеличивается и соответственно стремится к среднему значению координаты r электрона в атоме водорода. С уменьшением радиуса r_{av} постепенно уменьшается и, достигнув своего минимума, резко увеличивается, что соответствует ситуации, когда электрон связан с примесным центром, будучи в окружающей КТ среде. Таким образом, имеет место явление квантового выброса.

На рис. 5 показаны плотности вероятности нахождения электрона в любой точке плоскости $z = 0.5$ (нижняя строка) и в любой точке плоскости $x = 0$ (верхняя строка), когда $r_0 = 1.09$, для его различных состояний. Белые круги и полукруги показывают границу КТ. Из рисунка можно увидеть, что при увеличении n , при фиксированном l и m появляется еще один пик (см. 1-е и 2-е состояния, а также 3-е и 4-е состояния). Аналогичная ситуация возникает и для квантового числа l (см. 1-е и 3-е состояния, а также 2-е и 4-е состояния). Отметим еще, что когда увеличивается n , новый пик появляется по радиальному направлению, а когда l – по угловому.

Автор благодарен Э.М. Казаряну и Л.С. Петросяну за постановку задачи, а также А.А. Саркисяну за постоянный интерес к работе и полезные советы.

Российско-Армянский (Славянский)
государственный университет

З. Г. Григорян

Примесные состояния в полусферической квантовой точке с полубесконечным ограничивающим потенциалом

Исследованы примесные состояния в полусферической квантовой точке с полубесконечным ограничивающим потенциалом. Показано, что волновые функции электрона полностью совпадают с волновыми функциями электрона в сферической квантовой точке с примесью в центре, только с тем различием, что орбитальное квантовое число l и магнитное квантовое число m должны иметь разные четности. Также показано, что энергия связи электрона в зависимости от радиуса полусферы имеет максимум и этот максимум соответствует тому значению радиуса, при котором электрон находится на ближайшем расстоянии от примеси.

Զ. Հ. Գրիգորյան

Խառնուրդային վիճակները կիսաանվերջ սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային կետում

Դիտարկված են խառնուրդային վիճակները կիսաանվերջ սահմանափակող պոտենցիալով քվանտային կետում: Ցույց է տրված, որ ալիքային ֆունկցիաներն ամբողջովին համընկնում են խառնուրդի կենտրոնում սֆերիկ քվանտային կետի ալիքային ֆունկցիաների հետ, միայն այն տարբերությամբ, որ ուղեծրային քվանտային թիվը l -ը, և մագնիսական քվանտային թիվը m -ը, պետք է տարբեր կենտրոններ ունենան: Ցույց է տրված նաև, որ էլեկտրոնի կապի էներգիան կախված կիսասֆերայի շառավղից, ունի մաքսիմում, և որ այդ մաքսիմումը համապատասխանում է շառավղի այն արժեքին, որի դեպքում էլեկտրոնը գտնվում է խառնուրդին ամենամոտ վիճակում:

Z. H. Grigoryan

**Impurity States in Semi-Spherical Quantum Dots with
Semifinite Confinement Potential**

Impurity states in semi spherical QD with semifinite confinement potential are investigated. It is shown that the wave functions of the electron coincide with the wave functions of the electron in a spherical QD with an impurity in the center. The only difference is that the orbital quantum number l and magnetic quantum number m have different parity. It is also shown that the binding energy depending on the radius of the semisphere has a maximum, and this maximum corresponds to the value of the radius at which the electron is at the nearest distance from the impurity.

Литература

1. *Liao X., Zou J., Duan X., Cockayne D., Leon R., Lobo C.* - Phys. Rev. B. 1998. V. 58. R4235.
2. *Rodriguez A., Giner C., Ulloa S., Antuna J.* - Phys. Rev. B. 2001. V. 63. 125319.
3. *Петросян Л.С.* В: Сборник трудов конференции «Лазерная физика-2005». 11 – 14 октября 2005. Изд. «Гитутюн» НАН РА. 2006. С. 139 – 143.
4. *Grigoryan Z.G., Petrosyan L.S., Kazaryan E.M.* In: Conference ICSMN-2013, May 24-26.
5. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Квантовая механика. М. Наука. 1989. 768 с.
6. *Petrosyan L.S.* In: Proceedings of the 2nd Annual Scientific Conference of Russian-Armenian (Slavonic) State University. 2007. P. 249-258.

БИОФИЗИКА

УДК 541.64

Յ. Ա. Գրիգորյան¹, Է. Ս. Մամսախլիսով², Ա. Դ. Կարապետյան³

Ориентационный порядок в ДНК-содержащих полимерных композитах: эффект плавления

(Представлено академиком А.А. Шагиняном 25/ II 2014)

Ключевые слова: *короткие фрагменты двухнитевой ДНК, гибкоцепный полимер, ориентационный порядок, степень спиральности.*

В последнее время композиционные наноматериалы находят широкое применение в промышленности, поскольку их свойства могут быть существенно модифицированы за счет введения наночастиц. Важным является то, что для достижения улучшенных свойств необходимо введение нанонаполнителей в незначительных количествах. Особенно востребованы в последнее время полимерные нанокомпозиты. Разработка научных основ исследования структуры и свойств композиционных наноматериалов является на сегодняшний день актуальной задачей.

Изучение полимерных нанокомпозитов ввиду их практической значимости, многообразия свойств и структурных особенностей давно привлекает внимание исследователей. Одной из основных характеристик, делающих возможным эффективное применение такого рода материалов, является возможность изменения свойств этих материалов под влиянием внешних факторов. Использование биологических макромолекул для решения этой задачи представляется перспективным, поскольку структурная организация ДНК, РНК и белков весьма чувствительна к внешним условиям, а механизмы межмолекулярного узнавания позволяют тонко контролировать меж- и внутримолекулярные взаимодействия такого рода молекул. Так, в [1] были исследованы различные аспекты взаимодействия ДНК с углеродными нанотрубками (УНТ), в [2] – влияние ДНК на растворимость УНТ, в [3] – связывание одонитевых ДНК с УНТ, а в [4] – самосборка ДНК – липид комплексов. Однако ориентационные эффекты ДНК в полимерных композитах остаются мало изученными.

В данной работе рассматривается смесь коротких фрагментов двуни-тевой ДНК с гибкоцепным полимером, поскольку именно для коротких фрагментов ориентационные эффекты выражены наиболее явно. Известно, что основой двойной спирали ДНК является однородный цепочечный са-харо-фосфатный остов, ко всем сахарам которого присоединены боковые

группы – нуклеотиды (азотистые основания) четырех сортов: два пиримидиновых – цитозин (Ц) и тимин (Т) и два пуриновых – аденин (А) и гуанин (Г). При образовании двойной спирали ДНК две основные сахаро-фосфатные нити навиты снаружи, ковалентно присоединенные к ним азотистые основания находятся внутри; основания имеют плоскую форму и ориентируются поперек оси спирали. Они образуют комплементарные АТ и ГЦ пары и соединены водородными связями. Подобная структурная организация существенно ограничивает набор доступных конформаций цепей ДНК и делает двойную спираль ДНК достаточно жесткой. Жесткость двунитевой ДНК характеризуется ее персистентной длиной $\tilde{l}$, которая оценивается как 50 нм, или 150 пар оснований, и которая может быть определена как характерный масштаб, на котором двойная спираль имеет преимущественно вытянутую конформацию. Короткая молекула двунитевой ДНК, контурная длина которой $L_r \cong \tilde{l}$, может быть аппроксимирована жестким стержнем. В данной работе мы рассматриваем фрагменты двойной спирали ДНК, характерный масштаб жесткости которых сопоставим или существенно меньше их контурной длины.

Свободная энергия смеси гибкоцепного полимера и ДНК в области плавления двойной спирали. Для исследования термодинамических свойств и, в частности, параметров ориентационного порядка в смеси ДНК – полимер необходимо оценить свободную энергию системы. В дальнейшем мы будем предполагать, что рассматриваемая смесь находится в области плавления двойной спирали ДНК и фрагменты ДНК, вообще говоря, могут быть частично расплавлены. Стабильность двойной спирали определяется температурой, рН среды, ионной силой, взаимодействием с низкомолекулярными лигандами и т.д. [5, 6]. Плавление ДНК является кооперативным процессом, и переход из спирального состояния в расплавленное происходит длинными кусками, сопоставимыми с характерной длиной жесткости ДНК. Следовательно, разумно предположить, что в коротких фрагментах ДНК реализуется только один спиральный участок. Данный подход соответствует т.н. модели «застежка молния», где все спиральные пары оснований сосредоточены в одном месте, образуя непрерывную спираль. Статистическая сумма данной модели имеет вид

$$Z(n_r, s, \sigma) = 1 + \frac{\sigma s^2}{(s-1)^2} \left[s^{n_r} - 1 + n_r \left(\frac{1}{s} - 1 \right) \right], \quad (1)$$

где k_B – постоянная Больцмана, $s = \exp\left(-\frac{\Delta H - T\Delta S}{k_B T}\right)$ – параметр роста спирали, ΔH – энтальпия и ΔS – энтропия образования пары оснований, n_r – число пар оснований в двойной спирали ДНК, $\sigma = \exp\left(-\frac{\Delta F_s}{k_B T}\right)$ – параметр кооперативности, ΔF_s – свободная энергия инициализации двойной спирали [7]. Свободная энергия одного фрагмента двунитевой ДНК, состоящего из n_r пар оснований, оценивается как $f_{helix} = -k_B T \ln Z_{zip}(n_r, s, \sigma)$.

Рассмотрим смесь N_r молекул двунитевой ДНК, представленной как стержень, состоящий из n_r мономеров (пар оснований) с характерным размером a , а также N_p молекул гибкоцепного полимера, содержащих n_p мономеров такого же размера. В приближении Флори – Хаггинса приведенная свободная энергия смешения гибко- и жесткоцепного полимеров из расчета на один мономер имеет вид

$$\frac{\Delta F_{mix}}{Nk_B T} = \frac{\phi_p}{n_p} \ln \phi_p + \frac{\phi_r}{n_r} \ln \phi_r + \chi \phi_p \phi_r, \quad (2)$$

где V – объем системы, $\phi_p = \frac{a^3 N_p n_p}{V}$ – объемная доля гибкоцепного полимера, $\phi_r = \frac{a^3 N_r n_r}{V}$ – объемная доля ДНК, $N = n_p N_p + n_r N_r$ – полное число сегментов полимера в смеси, χ – изотропный параметр взаимодействия Флори – Хаггинса [8].

Образование нематического порядка в жесткоцепных полимерах описывается на языке преимущественной ориентации жестких сегментов цепи. Направление преимущественной ориентации называется «директором» нематической фазы [9]. В рассматриваемом нами случае параметр порядка фазового перехода из изотропного состояния в нематическое определяется углом ϑ между молекулой ДНК и директором. Если $\langle \dots \rangle$ – термодинамическое среднее, то ориентационный порядок может быть описан с использованием ориентационного параметра Майера – Заупе $S = \left\langle \frac{3}{2} (\cos^2 \vartheta - 1/3) \right\rangle$, который принимает значение $S=1$ в полностью упорядоченной фазе и $S=0$ – в полностью неупорядоченной. Приведенная свободная энергия нематического упорядочения оценивается как

$$\frac{F_{nem}}{Nk_B T} = \frac{1}{2} (\chi_a + 5/4) \phi_r^2 S^2 - \frac{\phi_r}{n_r} \ln I_o(\Gamma S), \quad (3)$$

где χ_a – анизотропный параметр притяжения между фрагментами двунитевой ДНК, $\Gamma = n_r \phi_r (\chi_a + 5/4)$ [10].

Анизотропное притяжение между молекулами ДНК характеризуется безразмерным параметром $\chi_a = \frac{U_a}{k_B T}$, где U_a – ориентационно-зависимое взаимодействие Майера – Заупе между молекулами ДНК, рассматриваемыми как жесткие стержни [9]. Здесь и далее предполагается, что система является несжимаемой $\phi_p + \phi_r = 1$.

Без учета влияния ориентационного упорядочения на плавление двойной спирали ДНК свободная энергия N_r молекул ДНК в области плавления

$$\frac{F_{helix}}{Nk_B T} = -\frac{\phi_r}{n_r} \ln Z_{zip}(n_r, s, \sigma). \quad (4)$$

Как известно, нематическое упорядочение в жестких спиральных сегментах влияет на фазовое поведение [11, 12]. Эти эффекты обусловлены тем, что ориентационный порядок способствует росту спирали. Как было показано в [11], в приближении среднего поля данный эффект может быть учтен посредством эффективного параметра роста спирали

$$\tilde{s} = s \int \frac{d\Omega}{4\pi} f(\hat{u}), \quad (5)$$

где $f(\hat{u}) \propto \exp\left(\frac{\Gamma}{n_r} SP_2(\cos \vartheta)\right)$ – функция распределения сегментов ДНК по ориентациям, а $P_2(x) = \frac{3}{2}\left(x^2 - \frac{1}{3}\right)$ – полином Лежандра второго порядка. Фактически ориентационный порядок вводит дополнительное молекулярное поле $-k_B T \Gamma S P_2(\cos \vartheta)$, действующее на каждую пару оснований, находящуюся в нематической фазе.

Таким образом, с учетом ориентационного порядка приведенная свободная энергия коротких фрагментов ДНК в смеси с гибкоцепным полимером из расчета на один сегмент полимерной цепи может быть представлена как

$$\frac{F_{helix}}{Nk_B T} = -\frac{\phi_r}{n_r} \ln Z_{zipp}(n_r, \tilde{s}, \sigma). \quad (6)$$

В данном случае эффективный параметр роста спирали оценивается как

$$\tilde{s} = s I_0 \left(\frac{\Gamma S}{n_r} \right), \quad (7)$$

где $I_m(\alpha) = \int_0^1 dx \exp(\alpha P_2(x)) P_2(x)^m$.

Частичное расплавление двойной спирали ДНК не влияет на энтропию перемешивания (2), но эффективно уменьшает длину жесткого фрагмента ДНК из n_r мономеров до значения $n_r \theta$, где θ – степень спиральности

$$\theta = \frac{\partial \ln Z_{zipp}(n_r, \tilde{s}, \sigma)}{n_r \partial \ln \tilde{s}}, \quad (8)$$

которая определяется как средняя доля пар оснований в двойной спирали ДНК. С учетом эффективного сокращения длины жесткого фрагмента ДНК приведенная свободная энергия смеси ДНК с гибкоцепным полимером, отвечающая за образование нематической фазы $f = \frac{F_{nem} + F_{helix}}{Nk_B T}$, удовлетворяет соотношению

$$\frac{n_r f}{\phi_r} = \frac{1}{2} \theta \Gamma S^2 - \ln I_0(\theta \Gamma S) - \ln Z_{zipp}(n_r, \tilde{s}, \sigma). \quad (9)$$

Результаты и обсуждение. Как известно, для смеси жестких стержней с гибкоцепным полимером нематическая свободная энергия по-разному зависит от ориентационного параметра порядка S для различных значений параметра Γ (рис. 1). При $\Gamma < \Gamma^*$ ($\Gamma^* = 4.49$) свободная энергия имеет толь-

ко один минимум при $S=0$, что соответствует изотропной фазе. При $\Gamma^* < \Gamma < \Gamma^{**}$ ($\Gamma^{**} = 4.55$) возникает второй минимум для $S \neq 0$, соответствующий метастабильной нематической фазе. При $\Gamma = \Gamma^{**}$ свободная энергия нематической фазы сравнивается с таковой для изотропной. При дальнейшем повышении значения параметра Γ нематическая фаза становится стабильной, а изотропная – метастабильной.

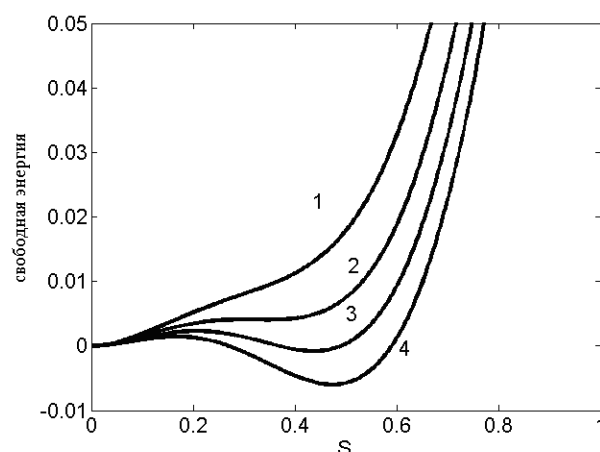


Рис. 1. Нематическая свободная энергия в зависимости от ориентационного параметра порядка S . Кривые: (1) $\Gamma < \Gamma^*$; (2) $\Gamma = \Gamma^*$; (3) $\Gamma = \Gamma^{**}$; (4) $\Gamma > \Gamma^{**}$.

В данной работе мы сосредоточимся на поведении системы в области $\Gamma > \Gamma^{**}$. Поведение нематической свободной энергии в области плавления двойной спирали ДНК зависит от значения параметра роста спирали s . При достаточно высоких значениях параметра роста спирали s зависимость нематической свободной энергии от ориентационного параметра порядка качественно не отличается от таковой для смеси жестких стержней с гибкоцепным полимером (рис. 2). Однако значение параметра ориентационного порядка S существенно зависит от степени спиральности фрагмента двунитевой ДНК, а значит и от параметра роста спирали s .

Минимизация нематической свободной энергии (9) по параметру ориентационного порядка S показывает (рис. 3), что при некотором значении параметра роста спирали $s = s^*$ происходит фазовый переход первого рода, сопровождаемый скачком ориентационного параметра порядка S . Таким образом, изменяя тем или иным способом степень спиральности двойной спирали ДНК, можно регулировать степень нематического упорядочения ДНК в смеси и влиять на свойства материала.

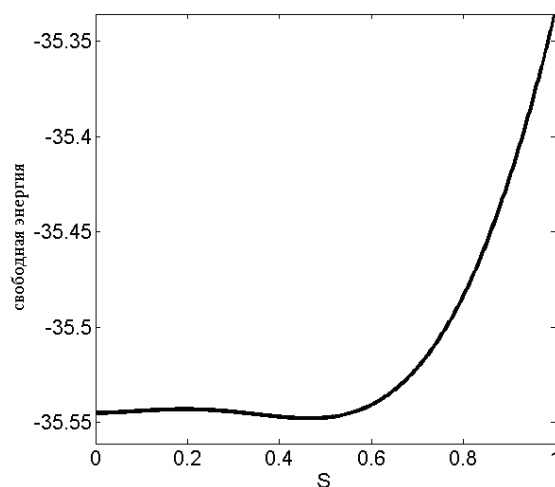


Рис. 2. Нематическая свободная энергия в зависимости от ориентационного параметра порядка S при $\Gamma > \Gamma^{**}$ и $s = 3$.

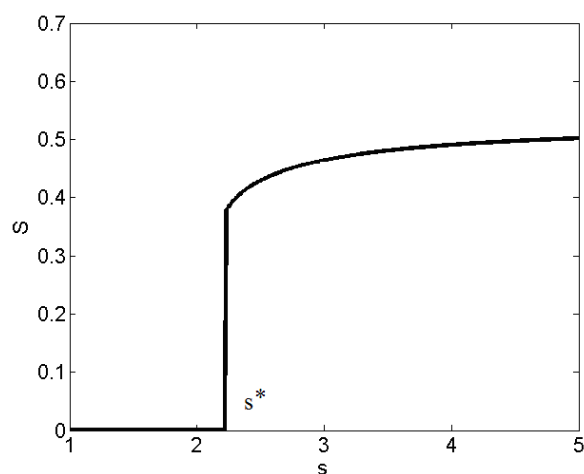


Рис. 3. Зависимость ориентационного параметра порядка S от параметра роста спирали s (при $\Gamma > \Gamma^{**}$).

Представляется перспективным воздействовать на стабильность двойной спирали посредством низкомолекулярных соединений (лигандов). Такой подход позволяет, минимально меняя свойства полимерного матрикса, тонко воздействовать на свойства ДНК в области плавления [6]. Предполагается, что предварительная одноосная ориентация фрагментов ДНК в нематической фазе позволит использовать их в качестве центров ориентационной кристаллизации, исследованной ранее в [13].

¹Горисский государственный университет

²Ереванский государственный университет

³Ереванский государственный университет архитектуры и строительства

Յ. Ա. Գրիգորյան, Ե. Ս. Մամասախլիսով, Ա. Թ. Կարապետյան
Ориентационный порядок в ДНК-содержащих полимерных композитах: эффект плавления

Исследовано поведение смеси коротких фрагментов двухнитевой ДНК и гибкоцепного полимера. Изучено влияние стабильности двойной спирали ДНК и ориентационного порядка. Показано, что изменение степени спиральности фрагментов ДНК регулирует степень нематической упорядоченности и приводит к фазовому переходу первого рода.

Ջ. Ա. Գրիգորյան, Ե. Շ. Մամասախլիսով, Ա. Թ. Կարապետյան
ԴՆԹ-պարունակող պոլիմերային բաղադրիչներում օրիենտացիոն կարգը. հալման էֆեկտը

Ուսումնասիրվել է երկշղթա ԴՆԹ-ի և ճկուն շղթայով պոլիմերի կարճ ֆրագմենտների վարքը: Հետազոտվել է ԴՆԹ-ի կրկնակի պարույրի կայունության և օրիենտացիոն կարգի ազդեցությունը: Ցույց է տրվել, որ ԴՆԹ-ի ֆրագմենտների պարուրվածության աստիճանի փոփոխությունը կարգավորում է նեմատիկ կարգավորվածության աստիճանը և հանգեցնում է առաջին տիպի փուլային անցմանը:

Z. A. Grigoryan, Y. Sh. Mamasakhlov, A. T. Karapetian
Orientation Order in DNA-Containing Polymer Composites: The Melting Effect

The behavior of double-stranded DNA as well as flexible chain polymer short fragments has been studied. The effect of DNA double strand stability and orientation order was investigated. It was shown that the change of spiral degree of DNA fragments regulates the nematic order degree and results in the first type phase transition.

Լիտերատուրա

1. Moniruzzaman M., Winey K. I. - Macromolecules. 2006. V. 39. N 6. P. 5194-5205.
2. Gao H., Kong Y. - Annu. Rev. Mater. Res. 2004. V. 34. P. 123-150.
3. Zheng M., Jagota A., Semke E.D., Diner B.A., Mclean R.S., Lustig S.R., Richardson R.E., Tassi N.G. - Nature Materials. 2003. V. 2. P. 338-342.
4. Seeman N.C. - Annu. Rev. Biochem. 2010. V. 79. P. 65-87.
5. Vedenov A.A., Dykhne A.M., Frank-Kamenetskii M.D. - Uspekhi Fizich. Nauk. 1971. V. 105. P. 479-549.
6. Karapetian A.T., Mehrabian N.M., Terzikian G.A., Vardevanian P.O., Antonian A.P., Borisova O.F., Frank-Kamenetskii M.D. - J. Biomol. Struct. Dyn. 1996. V. 14. N 2. P. 275-283.
7. Sneppen K., Zocchi G. Physics in Molecular Biology. Cambridge University Press. 2005. 311 p.

8. *de Gennes P.-G.* Scaling Concepts in Polymer Physics. Cornell Univ. Press. 1979. 319 p.
9. *de Gennes P.-G., Prost J.* The Physics of Liquid Crystals. Clarendon Press. Oxford. 1993. 597 p.
10. *Matsuyama A.* - Chapter 2 in Encyclopedia of Polymer Blends. 2010. V. 1. ed. A. I. Isayev. Wiley-VCH. P. 45-100.
11. *Kim Y.H., Pincus P.* – Biopolymers. 1979. V. 18. N 9. P. 2315-2322.
12. *Matsuyama A., Sumikawa Y., Kato T.* - J. Chem. Phys. 1997. V. 107. P. 4711-4718.
13. *Григорян З. А.* – Изв. НАН РА. Физика. 2002. Т. 37. N 3. С. 191-197.

ХИМИЯ

УДК 541.138:541.64

К. С. Маргарян

Электрохимическая полимеризация этинилтетразола на различных электродах

(Представлено чл.-кор. НАН РА С.П. Давтяном 25/ III 2013)

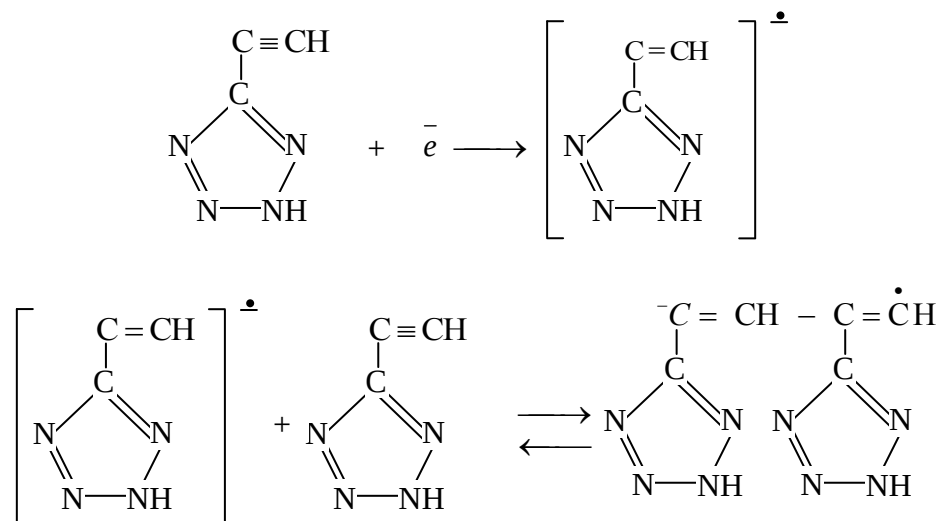
Ключевые слова: *электрохимический, электрод, этинилтетразол, допирование, полимер, полупроводник.*

Синтетические полупроводниковые полимерные материалы широко используются в электронике, химических источниках тока, катализе и др. [1-3]. В последние годы значительно возрос интерес к электрохимии проводящих полимеров [4-8]. Это обусловлено относительной простотой электрохимического синтеза, в ходе которого полимер одновременно допируется, возможностью существенного влияния на морфологию полимера или пленок за счет варьирования условий электросинтеза, отсутствием осложнений с удалением катализаторов после завершения химического синтеза. С этой точки зрения особый научный и практический интерес представляет С-этинилтетразол (ЭТ), который имеет два (ацетиленовая и иминная (NH)) электрохимически активных центра.

Электроиницированная полимеризация по ацетиленовой связи протекает в ДМФА и ацетонитриле на стеклоуглеродном платиновом и палладиевом электродах в присутствии NaNO_3 и перхлората четвертичных солей аммония. Первоначально полимер образуется на катоде в виде сплошной пленки, затем в ходе увеличения плотности тока до $10 \dots 20 \text{ mA/cm}^2$ переходит в раствор и окрашивается в темно-красный цвет, характерный для раствора карбанионов.

Нами была замечена миграция цвета в анодное отделение от катодного раствора. Кроме того, полимеризацию подавляют протонодонорные добавки (CH_3OH , H_2O), в то время как радикальные ингибиторы не влияют на процесс. Предполагается следующий механизм электрополимеризации, согласно которому на катоде происходит электровосстановление ЭТ с образованием анион-радикалов, взаимодействие которых с молекулами мономера приводит к образованию анион-радикального димера, через кото-

рый идет рост полимерной цепи.

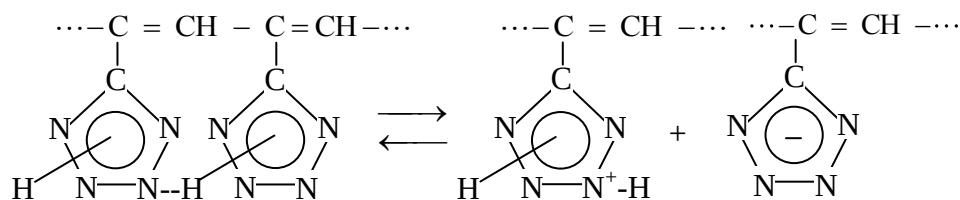


На анионный характер полимеризации указывает и тот факт, что полимер образуется и на аноде, вследствие того, что анионные макрочастицы отталкиваются от катода и мигрируют в анодное отделение.

В ИК-спектре полиэтинитетразола (ПЭТ) отсутствуют полосы поглощения терминальной ацетиленовой группы $2100, 3290 \text{ см}^{-1}$, но присутствуют полосы поглощения, характерные для полисопряженных $-\text{C}=\text{C}-$ связей в области $1610-1630 \text{ см}^{-1}$.

В ИК спектрах ЭТ и ПЭТ, наряду с присутствием полосы деформационных колебаний связей $\text{N}-\text{H}$ (1580 см^{-1}), наблюдается широкая полоса в области $2200-3700 \text{ см}^{-1}$, соответствующая колебаниям ассоциированных связей $\text{N}-\text{H} \cdots \text{N}$, а также поглощению четвертичного атома азота $^+\text{N}-\text{H}$ [9].

Полученные данные указывают на существование как в мономере, так и в полимере наряду с обычной молекулярной структурой еще двух форм: ассоциированной водородными связями и ионизированной вследствие полного переноса протона.



В полимерах возможно как внутри-, так и межмолекулярное $\text{N}-\text{H} \cdots \text{N}$ связывание, приводящее к структурированию макромолекул и нерастворимости. Важнейшим свойством ПЭТ является способность к допированию. В отличие от неорганических полупроводников допирующие агенты не

становятся для полимеров частью структуры, а входят (insert) в полимерные цепи, откуда могут быть выведены при приложении электрического поля, созданного внешним источником. Следовательно, допирование ПЭТ является обратимым и его можно контролировать в процессе электрохимической иницированной полимеризации непосредственно в электрохимической ячейке [10].

Нами установлено, что при допировании ПЭТ йодом или бромом электрическая проводимость (σ) полимера или пленки достигает $\approx 10^2 \dots 10^4$ См/см.

Термогравиметрические исследования показывают, что ПЭТ термически стабилен до 260...270 °С, после чего наблюдается их интенсивное разложение.

Следует отметить, что пленка хорошего качества формируется на палладиевом электроде.

Электрохимическую иницированную полимеризацию ЭТ проводили в стеклянных электролизерах емкостью 20...50 мл в инертной атмосфере. В качестве катода использовали пластинки из стеклоглерода, платины и палладия площадью 0,5...1 см².

Полученные полимерные покрытия до плотности тока $j < 5 \dots 8$ мА/см² снимали и сушили до постоянного веса. Полимер, полученный в объеме электролита при высоких плотностях тока $j < 10$ мА/см², отфильтровывали, промывали на фильтре 100 мл горячей воды, сушили в вакууме при 30...40 °С. Характеристическую вязкость ПЭТ в ДМФА определяли в вискозиметре Уббелоде при 25 °С. Для расчета ММ использовали уравнение Марка-Куна-Хаувинка. $\overline{M}_n$ полимера из раствора в кислых ДМСО составляет $8 \dots 9 \cdot 10^3$.

Термографический анализ ПЭТ проводили в воздухе, на дериватографе фирмы "МОМ" (Венгрия) системы "Паулик-Паулик-Эрдей". ИК спектры пленок и полимеров снимали на спектрометрах UR-20 и "Specord UV-VIS" в вазелиновом масле и в виде запрессованных таблеток с KBr.

ЭТ синтезировали и перекристаллизовывали из абсолютного этанола, как описано в работе [11]. Соли и электролиты перекристаллизовывали из абсолютного C₂H₅ОН и воды и сушили в вакууме (1 мм рт.ст., 80 °С, 2 ч). Растворители обезвоживали согласно методике [12].

Таким образом, нами показана возможность электросинтеза полимеров и полимерных покрытий на стеклоглеродном (СУ-20), платиновом и палладиевом электродах на основе этинилтетразола на различных растворителях.

Ереванский государственный медицинский
университет им. М. Гераци
e-mail: artsar86@mail.ru

К. С. Маргарян

**Электрохимическая полимеризация этинилтетразола
на различных электродах**

Исследована электрохимическая полимеризация этинилтетразола на стеклоуглеродном, платиновом и палладиевом электродах. Установлено, что при низких плотностях тока на поверхностях электродов формируются полимерные покрытия. Предполагается, что полимеризация происходит по анионно-радикальному механизму. Исследованы некоторые свойства синтезированных полимеров.

Կ. Ս. Մարգարյան

**Էթինիլտետրազոլի էլեկտրաքիմիական պոլիմերումը
տարբեր էլեկտրոդների վրա**

Ուսումնասիրվել է էթինիլտետրազոլի էլեկտրաքիմիական պոլիմերումը ածխապակե, պլատինային և պալադիումի էլեկտրոդների վրա: Հաստատվել է, որ հոսանքի ցածր խտությունների դեպքում էլեկտրոդների մակերևույթներին առաջանում են պոլիմերային թաղանթներ: Ստացված տվյալների հիման վրա, ենթադրվում է, որ պոլիմերումը ընթանում է անիոն-ռադիկալային մեխանիզմով: Ուսումնասիրվել են ստացված պոլիմերների որոշ հատկություններ:

K. S. Margaryan

**Electrochemical Polymerization of Etinyltetrazole
on Different Electrodes**

The electrochemical polymerization of ethinyltetrazole on carbon glassy, platinum and palladium electrodes is investigated. It is established that polymeric coatings are formed on the surfaces of electrodes at low current densities. Based on these results, it is assumed that polymerization takes place at the anion-radical mechanism. Some properties of the synthesized polymers are investigated.

Литература

1. Чаусер М. Г., Родионов Ю. М., Мисин В. М., Черкашин М. И. – Успехи химии. 1976. Т. 45. Вып. 4. С. 695-741.
2. Помогайло А. Д., Розенберг А.С., Уфлянд И.Е. Наночастицы металлов в полимерах. М. Химия. 2000. 672 с.
3. Rao C. N. R., Muller A., Cheeltam A. K. The Chemistry of Nanomaterials. Weinheim: Wiley. VCH Verlag. 2004. 741 p.
4. Электрохимия полимеров / Тарасевич М. Р., Орлов С. Б., Школьников Е. И. и др. М. Наука. 1990. 238 с.
5. Riul Jr. A., Gallardo Soto A. M., Metto S. V., Bone S., Taylor D. M., Mattoso L. H. C. – Sybth Metals. 2003. V. 132. P. 109.
6. Agrawal A.K., Jenrkhe S. A. – Makromolecules. 1993. V. 26. P. 895

7. *Zanardi C., Tezzi F., Pigani L., Heras A., Colina A.* – J. Electroanal. Chem. 2008. V. 619. P. 75.
8. *Lemaize M., Garreau R., Garnier F., Rancati* – New J. Chem. 1978. V. 11. P. 703.
9. *Смит А.* Прикладная ИК-спектроскопия. М. Мир. 1982. 328 с.
10. Solid State Electrochemistry. Ed. *Peter G. Bruce*. Cambridge University Press. 1995. 334 p.
11. *Алешунин П. А., Есиков К. А., Островский В. А.* – ХГС. 2010. № 11. С. 1733-1735.
12. Электрохимия металлов в неводных растворах Под. ред. Я. М. Колотыркина. М. Мир. 1974. 440 с.

УДК 577.15.04+577.151.04

А. А. Симонян¹, Р. А. Симонян², А. С. Маргарян¹

**Изменение активности АТФ-фосфогидролазы в
митохондриях органов белых крыс под влиянием фактора
антиоксидантного действия SkQ1 при эпилептиформных
припадках, индуцированных пентилентетразолом**

(Представлено академиком М. А. Давтяном 11/III 2014)

Ключевые слова: *SkQ1, АТФаза, митохондрии, эпилепсия.*

Известно, что активные формы кислорода (АФК) – серьезная угроза для клеток и организмов [1]. В митохондриях АФК образуются в гидрофобной области внутренней мембраны этих органоидов и инициируют цепные реакции перекисного окисления липидов. Снижается электрическое сопротивление внутренней митохондриальной мембраны, и происходит разобщение дыхания и окислительного фосфорилирования. В Институте физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ синтезирован новый тип антиоксидантов (SkQ) и на митохондриях испытаны анти- и прооксидантные свойства этих веществ. Установлено, что катионные хиноны при микромолярных концентрациях являются сильнейшими прооксидантами, а антиоксидантные свойства проявляются при наномолярных концентрациях [1]. Было показано, что SkQ1 быстро восстанавливается комплексом III дыхательной цепи митохондрий и является регенерируемым антиоксидантом многократного действия. На основании многочисленных исследований авторы этих соединений пришли к выводу о перспективности клинических испытаний препаратов типа SkQ как потенциальных лекарственных средств при лечении старческих недугов и широкого круга тяжелых патологий человека и животных.

В рамках проекта по проникающим ионам лабораторией эмбриохимии Института биохимии им. Г.Х. Бунятына НАН РА была поставлена задача исследовать влияние препаратов SkQ на энергетические реакции в митохондриях различных тканей белых крыс при пентилентетразол (ПТЗ)-индуцированных эпилептиформных припадках.

Проблема эпилепсии на протяжении последних десятилетий привлекает все большее внимание ученых различных специальностей. По дан-

ным мировой статистики, заболеваемость эпилепсией в ряде стран достигает 0.8-1% популяции, резко ограничивая профессиональную пригодность больного человека.

Биохимические механизмы патогенеза эпилепсии связаны с расстройством ионных, медиаторных и энергетических процессов. Ионные сдвиги ведут к повышению мембранной проницаемости и усилению в результате этого деполяризации нейронов, их сверхвозбудимости. Снижение запасов глюкозы и накопление молочной кислоты в тканях головного мозга во время приступа эпилепсии являются причиной ацидотических сдвигов, усугубляющих гипоксию и снижающих уровень фосфатных соединений. В наших предыдущих работах [2 - 4] было показано, что при эпилептиформных припадках, индуцированных коразолом, статистически достоверно стимулируется функциональная активность АТФазы в митохондриях разных органов у белых крыс.

На основании вышеуказанных данных в представленной работе мы исследовали сдвиги активности Mg^{2+} -зависимой АТФазы в изолированных митохондриях мозга, сердца, селезенки и печени белых крыс при ПТЗ-индуцированных эпилептиформных припадках и корректирующее влияние антиоксидантного фактора SkQ1 на эти изменения в опытах *in vivo*.

Материалы и методы. В экспериментах использовались беспородные крысы-самцы массой 180-200 г, содержащиеся в условиях вивария при естественном освещении и свободном доступе к воде и пище. Эпилептиформные припадки вызывались однократным введением ПТЗ внутривентрикулярно из расчета 8 мг на 100 г веса животного. Подопытные животные были разделены по следующим группам: I - контрольная группа, животным вводили 1 мл физраствора; II группе в течение 2 дней вводили SkQ1 из расчета 37 нмоль вещества в 1 мл воды ежедневно один раз; III группе животных вводили ПТЗ из расчета 8 мг на 100 г веса животного в 1 мл воды; IV группе вводили SkQ1 + ПТЗ. Судорожное поведение наблюдали в течение 20 мин после инъекции ПТЗ. Стадии судорог определяли по модифицированной шкале Р. Рацина [5]:

стадия 0: отсутствие реакции;

стадия 1: подергивание ушей и вибрисс;

стадия 2: миоклонические судороги без подъема на задние конечности;

стадия 3: миоклонические судороги с подъемом на задние конечности и клонус передних конечностей;

стадия 4: отдельные тонико-клонические судороги с потерей позы;

стадия 5: генерализованные тонико-клонические судороги.

Животных декапитировали после полного проявления генерализованных тонико-клонических судорог. После декапитации соответствующие ткани быстро извлекали, промывали в охлажденном растворе 0.25 М сахарозы-0.02 М трис-НСl буфера (рН 7.4).

Измельченные ткани гомогенизировали в том же буфере гомогенизатором с тефлоновым пестиком. Ядерную фракцию из гомогената в различных тканях выделяли центрифугированием при 600-800 g, митохондрию мозга – при 18000 g, сердца и селезенки – 12000 g, печени - 9000 g в

течение 15 мин. Осадок митохондрий суспендировали в среде выделения и центрифугировали повторно.

Инкубационная смесь (1 мл) для определения АТФ-фосфогидролазной активности содержала: 0.7 мл 0.25 М сахарозы-0.02 М трис-НСl буфера, 0.1 мл митохондрий (соответствующий 2-3 мг белка), 0.1 мл 2 мМ АТФ (производства Sigma chem. corp., США), растворенного в сахароза-трис-НСl буфере и 0.1 мл 1 мМ Mg^{2+} ($MgCl_2$) в конечной концентрации [2, 3, 6]. Время инкубации смеси 30 мин при температуре 37°C. Об активности АТФазы судили по нарастанию в среде содержания неорганического фосфата. $P_{неорг.}$ определяли по Лоури и соавт. [7] в модификации Скулачева [6] и пересчитывали на мг белка [8]. Полученные данные обработаны статистически. Достоверность различий между средними величинами определяли по t-критерию Стьюдента [9].

Результаты и обсуждение. Полученные данные экспериментов по изучению сдвигов активности Mg^{2+} -зависимой АТФазы в интактных митохондриях мозга крыс при ПТЗ-индуцированных эпилептиформных судорогах под воздействием SkQ1 приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение активности Mg^{2+} -зависимой АТФазы в митохондриях мозга белых крыс с ПТЗ-индуцированными эпилептиформными судорогами под воздействием SkQ1 (ΔP в мкатамах/мг белка/30 мин $M \pm S.M.E.$, $n=9$)

Митохондрии	Контроль	SkQ1	ПТЗ	ПТЗ + SkQ1
Мозг	1.95 ± 0.03	2.09 ± 0.02 $p < 0.001^*$	2.55 ± 0.02 $p < 0.001$	2.34 ± 0.02 $p < 0.001$

*Здесь, как и в следующих таблицах, p – по сравнению с контролем.

Как показывают приведенные результаты, при внутрибрюшинном введении крысам 37 нм SkQ1 АТФазная активность в митохондриях мозга достоверно повышается. При инъекции ПТЗ каталитическая активность фермента еще больше увеличивается, достигая 38.8 % по сравнению с контролем. Однако при совместном введении ПТЗ и SkQ1 активность фермента достоверно уменьшается по сравнению с введением только ПТЗ.

Интересные результаты получены относительно влияния SkQ1 на активность АТФазы в митохондриях сердца белых крыс при эпилептиформных судорогах (табл. 2). Изолированные митохондрии миокарда наделены более высокой каталитической активностью АТФазы по сравнению с мозговыми. В этих экспериментах под влиянием введенного крысам SkQ1 почти в два раза повышается активность фермента по сравнению с митохондриями интактных животных. ПТЗ также приводит к активированию фермента, однако относительно меньше, чем SkQ1. Интересно отметить, что совместное введение ПТЗ и SkQ1 заметно подавляет активность фермента почти до уровня контрольных цифр.

Таблица 2

Изменение активности Mg^{2+} -зависимой АТФазы в митохондриях сердечной ткани с эпилептиформными судорогами под влиянием SkQ1 (ΔP в мкатамах /мг белка/30 мин $M \pm S.M.E.$, $n=9$)

Митохондрии	Контроль	SkQ1	ПТЗ	ПТЗ + SkQ1
Сердце	13.04 ± 0.32	23.09 ± 0.23 $p < 0.001$	18.77 ± 0.96 $p < 0.001$	11.85 ± 0.08 $p < 0.001$

При тех же условиях опыта в изолированных митохондриях селезенки крыс наблюдается иная картина каталитической активности АТФазы (табл. 3).

Таблица 3

Сдвиги активности Mg^{2+} -зависимой АТФазы в митохондриях селезенки белых крыс с ПТЗ-индуцированными эпилептиформными судорогами под влиянием SkQ1 (ΔP в мкатамах/мг белка/30 мин $M \pm S.M.E.$, $n=9$)

Митохондрии	Контроль	SkQ1	ПТЗ	ПТЗ + SkQ1
Селезенка	4.50 ± 0.02	5.60 ± 0.002 $p < 0.001$	4.09 ± 0.05 $p < 0.001$	6.69 ± 0.06 $p < 0.001$

Как показывают результаты, приведенные в табл. 3, введение животным SkQ1 приводит к достоверному (24.4%) повышению активности АТФазы по сравнению с митохондриями той же ткани интактных животных. Интересно отметить, что совместное введение ПТЗ и SkQ1 заметно (48.7%) стимулирует активность фермента по сравнению с контролем и на 63.5% по сравнению с данными, полученными при введении животным только ПТЗ.

SkQ1 при ПТЗ-индуцированной эпилепсии заметно (48.4% по сравнению с контролем) активизирует АТФазу (табл. 4). При инъекции ПТЗ также наблюдается достоверное активирование катализа макроэргов ферментом. В то же время совместное введение ПТЗ и SkQ1 не приводит к каким-либо ощутимым отклонениям по сравнению с показателями, полученными под влиянием ПТЗ или SkQ1, отдельно взятыми.

Таблица 4

Изменение активности Mg^{2+} -зависимой АТФазы в митохондриях печени белых крыс с ПТЗ-индуцированными эпилептиформными судорогами под влиянием SkQ1 (ΔP в мкатомах/мг белка/30 мин $M \pm S.M.E.$, $n=9$)

Митохондрии	Контроль	SkQ1	ПТЗ	ПТЗ + SkQ1
Печень	2.50 ± 0.11	3.71 ± 0.14 $p < 0.001$	3.14 ± 0.10 $p < 0.001$	3.32 ± 0.03 $p < 0.001$

Результаты ранее проведенных нами исследований продемонстрировали повышение интенсивности течения метаболических процессов в митохондриях мозговой ткани у белых крыс с ПТЗ-индуцированными эпилептиформными припадками при заметном снижении в ней уровня активности каталазы [3, 4].

Обобщая полученные результаты, можно заключить о статистически достоверном стимулировании Mg^{2+} -АТФазы в интактных митохондриях различных тканей при эпилептиформных судорогах у белых крыс, индуцированных ПТЗ. Так как ПТЗ является судорожным ядом, можно предположить, что стимулирование дыхательного центра и, следовательно, внешнего дыхания приводит к накоплению кислорода в организме и образованию супероксидов, которые, по литературным данным [10, 11], способствуют ингибированию АТФ-фосфогидролазной реакции. Однако благодаря подключению соответствующих адаптационных механизмов в создавшихся для организма необычных условиях существования происходит стимулирование синтеза АТФазы как необходимого фактора для поддержания оптимального уровня энергетического баланса при изучаемой патологии.

Эндогенно введенный SkQ1 также стимулирует каталитическую активность фермента и одновременно нивелирует сдвиги в активности АТФазы в митохондриях миокарда, вызванные ПТЗ.

¹Институт биохимии им. Г.Х.Бунятына НАН РА

²Институт физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского МГУ

А. А. Симонян, Р. А. Симонян, А. С. Маргарян

Изменение активности АТФ-фосфогидролазы в митохондриях органов белых крыс под влиянием фактора антиоксидантного действия SkQ1 при эпилептиформных припадках, индуцированных пентилентетразолом

Показано, что при эпилептиформных припадках, индуцированных пентилентетразолом, внутримышечное введение нмолей SkQ1 достоверно стимулирует ак-

тивность Mg^{2+} -АТФазы в митохондриях мозга, сердечной мышцы, селезенки и печени, одновременно нивелируя сдвиги в активности фермента в митохондриях миокарда, вызванные пентилентетразолом.

Ա. Ա. Միմոնյան, Ռ. Ա. Միմոնյան, Ա. Ս. Մարգարյան

ԱՆՖ-ֆոսֆոհիդրոլազի ակտիվության փոփոխությունները սպիտակ առնետների տարբեր օրգանների միտոքոնդրիումներում SkQ1 հակաօքսիդանտի ներգործությամբ, պենտիլենտետրազոլով մակածված էպիլեպսանման ճնշումների դեպքում

Ցույց է տրվել, որ սպիտակ առնետների պենտիլենտետրազոլով մակածված էպիլեպսանման ճնշումների դեպքում նախնական քանակներով SkQ1-ի ներմկանային ներարկումը գլխուղեղից, սրտամկանից, փայծաղից և լյարդից անջատված միտոքոնդրիումներում հավաստի խթանում է Mg^{2+} -ԱՆՖազայի ակտիվությունը, իսկ սրտամկանում համահարթեցնում նաև պենտիլենտետրազոլի ներգործությամբ ֆերմենտի ակտիվության մեջ դիտված տեղաշարժերը:

A. A. Simonyan, R. A. Simonyan, A. S. Margaryan

Changes in the Activity of ATP-Phosphohydrolase in Mitochondria of Different Organs of White Rats under the Influence of Antioxidant Factor SkQ1 at Pentylentetrazol-Induced Epileptiform Convulsions

It has been shown that during epileptiform convulsions, induced by pentylentetrazol, the nmol SkQ1 intramuscular injection significantly stimulates the activity of Mg^{2+} -ATPase in mitochondria of brain, heart muscle, spleen and liver, and contemporaneously corrected changes of enzyme activity in mitochondria of myocardium caused by pentylentetrazole.

Литература

1. Антоненко Ю. Н., Аветисян А. В., Бакеева Л. Е., Симонян Р. А., Скулачев В. П. и др. - Биохимия. 2008. Т. 73. Вып. 12. С. 1589-1606.
2. Симонян А. А., Бадалян Р. Б., Симонян Л. А., Степанян Р. А., Галоян А. А. - Нейрохимия. 2002. Т. 19. № 2. С. 143-145.
3. Симонян Л. А., Симонян А. А., Карагезян К. Г. - Биол. ж. Армении. 2004. Т. 56. N 3-4. С. 226-231.
4. Симонян Л. А., Симонян А. А., Бадалян Р. Б., Маргарян А. С., Симонян Р. А., Карагезян К. Г. - Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности. Вестник. СПб. 2005. Т. 10. N 5. С. 174-176.
5. Racine R. J.- Electroencephal. Clin. Neurophysiol. 1972. V. 32. P. 281-294.

6. *Скулачев В.П.* Энергетика биологических мембран. М. Наука. 1989. 564 с.
7. *Lowry O.H., Lopez J.A.* - J. Biol. Chem. 1946. V. 162. P. 421.
8. *Lowry O.H., Rosebrough N.J., Farr A.L., Randall R. J.* - J. Biol. Chem. 1951. V. 193. P. 265-275.
9. *Бессмертный Б.С.* Математическая статистика в клинической, профилактической и экспериментальной медицине. М. 1967.
10. *Das D. K., Neogi A.* - Clin. Physiol. Biochem. 1984. V. 2. P. 32–38.
11. *Jain S. K., Lim G.* - Free Radic. Biol. Med. 2001. V. 30. N 3. P. 232–237.

БИОХИМИЯ

УДК 577.17

Т. С. Хачатрян

Воздействие сверхмалых доз холиновых эфиров N-замещённых- α , β -дегидроаминокислот на субклинический гипотиреоз у крыс

(Представлено академиком М. А. Давтяном 26/II 2014)

Ключевые слова: субклинический гипотиреоз, тиреотропный гормон гипофиза, тироксин, трийодтиронин, холиновые эфиры N-замещённых- α , β -дегидроаминокислот, нейромедиаторы, щитовидная железа.

Известно, что щитовидная железа (ЩЖ) – один из важнейших органов эндокринной системы [1]. Она выделяет в кровоток несколько гормонов. К ним относятся тироксин (Т4), трийодтиронин (Т3) и кальцитонин. Для образования Т4 и Т3 клетки ЩЖ захватывают из кровотока молекулы йода и посредством специфических ферментных систем включают йод в состав молекулы гормона. В случае нехватки йода возможно нарушение образования гормонов ЩЖ [2]. Огромный интерес для понимания особенностей возникновения, диагностики и лечения заболеваний ЩЖ представляют знания о механизме регуляции её функционирования, которая находится под контролем гипофиза. В его переднем отделе, так называемом аденогипофизе, секретируется тиреотропный гормон (ТТГ), вызывающий усиление выработки и секреции в кровоток гормонов ЩЖ. В целом процесс регуляции работы ЩЖ выглядит следующим образом: снижение выработки и содержания Т4 в крови усиливается гипоталамусом и гипофизом и ведёт к повышению выработки релизинг-фактора гипоталамуса и далее ТТГ гипофизом. В свою очередь, повышение уровня ТТГ активирует работу ЩЖ – в итоге количество Т4 в крови нормализуется. Противоположный процесс происходит при повышенном содержании тиреоидных гормонов (ТГ) в крови и также ведёт к нормализации их уровня в организме [3, 4].

Гипотиреоз (ГПТ) развивается вследствие недостаточности йодтиронинов. При ГПТ задерживается выделение гормона; при этом фолликулы обычно имеют большие размеры, в полости фолликула коллоида много, он густой, не имеет резорбционных вакуолей [5, 6]. Особенно часто встречается субклинический гипотиреоз (СППТ) – пограничное состояние между

нормой и клинически явной формой первичного ГПТ, характеризующееся нормальным уровнем в сыворотке свободного Т4 и повышенным уровнем ТТГ. СГПТ придают очень большое значение, так как мозг чрезвычайно чувствителен даже к ничтожному дефициту ТГ в организме. В представленной работе, исходя из литературных данных о том, что при ГПТ весьма велика роль эфиров и амидов холина, заслуживающих существенного внимания с точки зрения их синтеза и биологической активности [7], осуществлён синтез двух производных холина: холинового эфира N-(4-изобутоксibenзоил)-О-изопропил- α , β -дегидротирозина (ИДА) и холинового эфира N-(2-метоксibenзоил)-О-изопропил- α , β -дегидротирозина (ХЭД), относящихся к холиновым эфирам N-замещённых- α , β -дегидроаминокислот (ХЭА) и исследовано действие их сверхмалых доз (СМД) 10^{-13} – 10^{-17} М на изменение концентрации ТТГ и ТГ в сыворотке крови у трёхмесячных крыс при патологии ЩЖ типа СГПТ.

Материал и методы. Исследования проведены на 200 трёхмесячных крысах-самцах (линии Вистар). СГПТ вызывался путём проведения тиреоидэктомии (ТЭК). ТЭК осуществлялась по следующему алгоритму. Для проведения операции крысы под эфирным наркозом фиксировались в положении на спине. Доступ к ЩЖ осуществлялся через разрез кожи в области шеи длиной около 1 – 1.5 см. Затем обнажали ЩЖ, производили отпрепаровку 2/3 её части с сохранением паращитовидных желёз и с помощью острых ножниц отсекали доли, после чего под каждую из них подводились лигатуры. Раны послойно зашивались. Животные хорошо переносили операцию и спустя 0.5 – 1 ч после операции подходили к корму и воде. ТЭК была проведена у 170 крыс. Животные были разделены на 3 подопытные группы: 1) интактные животные – 30 экземпляров; 2) контрольные животные с СГПТ, не получавшие каждодневных изолированных внутримышечных инъекций ИДА и ХЭД – 70 экземпляров; 3) животные, получавшие ИДА в СМД 10^{-13} – 10^{-14} М в течение 14 послеоперационных дней – 50 экземпляров (по 10 – на каждую дозу); 4) животные, получавшие ХЭД в СМД 10^{-13} – 10^{-14} М в течение 14 послеоперационных дней – 50 экземпляров (по 10 – на каждую дозу). После ТЭК и окончания дачи ХДТ у всех 100 крыс были проведены декапитация и сбор крови. В сыворотке с помощью иммуноферментного метода анализа (ИФА) определялась концентрация ТТГ, общего Т3 и Т4. Статистическую обработку проводили с использованием t-критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение. Как показали результаты проведенных исследований, ТЭК у крыс 2-й подопытной группы приводила к возникновению у них характерных сдвигов в содержании ТТГ и ТГ в крови, которые отражали возникновение у них состояния СГПТ. В табл. 1 представлены обобщённые данные динамики изменения показателей ТТГ и ТГ в сыворотке крови у трёхмесячных крыс в норме, при СГПТ и при СГПТ после воздействия СМД ИДА. В табл. 2 представлены обобщённые данные динамики изменения показателей ТТГ и ТГ в сыворотке крови у трёхмесячных крыс в норме, при СГПТ и при СГПТ после воздействия СМД ХЭД.

Таблица 1

Динамика изменения показателей тиреотропного гормона гипофиза и тиреоидных гормонов в сыворотке крови у трёхмесячных крыс в норме, при субклиническом гипотиреозе и при субклиническом гипотиреозе после воздействия сверхмалых доз холинового эфира N-(4-изобутоксibenзоил)-О-изопропил- α , β -дегидротирозина

СМД, М	ТТГ (норма), мМЕ/ мл	ТЗ (норма), нг/ мл	Т4 (норма), мкг/ мл	ТТГ (СГПТ), мМЕ/ мл	ТЗ (СГПТ), нг/ мл	Т4 (СГПТ), мкг/ мл	ТТГ (СГПТ + ИДА), мМЕ/ мл	ТЗ (СГПТ + ИДА), нг/ мл	Т4 (СГПТ + ИДА), мкг /мл
10^{-13}	1.0	2.5	4.7	4.8	2.6	4.3	1.7	2.5	4.4
10^{-14}	1.2	2.7	4.4	4.6	2.3	4.1	1.9	2.2	4.3
10^{-15}	1.0	2.4	4.3	4.7	2.6	4.0	1.5	2.5	4.1
10^{-16}	1.1	2.5	4.5	4.6	2.5	4.3	1.6	2.3	4.5
10^{-17}	1.0	2.5	4.6	4.7	2.7	4.1	1.0	2.4	4.4

Таблица 2

Динамика изменения показателей тиреотропного гормона гипофиза и тиреоидных гормонов в сыворотке крови у трёхмесячных крыс в норме, при субклиническом гипотиреозе и при субклиническом гипотиреозе после воздействия сверхмалых доз холинового эфира N-(2-метоксибензоил)-О-изопропил- α , β -дегидротирозина

СМД, М	ТТГ (норма), мМЕ/ мл	ТЗ (норма), нг/ мл	Т4 (норма), мкг/ мл	ТТГ (СГПТ), мМЕ/ мл	ТЗ (СГПТ), нг/ мл	Т4 (СГПТ), мкг/ мл	ТТГ (СГПТ + ИДА), мМЕ/мл	ТЗ (СГПТ + ИДА), нг/мл	Т4 (СГПТ + ИДА), мкг/мл
10^{-13}	1.0	2.6	4.8	4.9	2.7	4.1	1.9	2.7	4.1
10^{-14}	1.1	2.5	4.6	4.3	2.2	4.4	1.8	2.6	4.6
10^{-15}	1.1	2.7	4.4	4.8	2.7	4.2	1.7	2.1	4.4
10^{-16}	1.0	2.5	4.7	4.6	2.3	4.1	1.8	2.2	4.3
10^{-17}	1.0	2.5	4.7	4.7	2.8	4.2	1.1	2.6	4.6

Анализируя данные табл. 1, можно сделать вывод о том, что ТЭК у крыс с СГПТ приводила к значительному повышению содержания ТТГ (на 411.6%) в сыворотке крови у крыс данной подопытной группы; содержание общего ТЗ снижалось на 41.2% по сравнению с интактными животными; содержание же общего Т4 снижалось на 42.9%, соответственно. После введения ИДА в СМД 10^{-13} – 10^{-17} М в течение 14 послеоперационных дней и расчёта среднего процентного отношения у крыс 3-й подопытной группы были отмечены следующие показатели: содержание ТТГ в крови составило 90.2% по сравнению с нормой, принятой за 100%; содержание общего ТЗ составило 97.1%; содержание общего Т4 составило 89.2%. Анализируя данные табл. 2, можно сделать вывод о том, что ТЭК у крыс с СГПТ приводила к значительному повышению содержания ТТГ (на 407.5%) в сыворотке крови у крыс данной подопытной

группы; содержание общего Т3 снижалось на 55.6% по сравнению с интактными животными; содержание же общего Т4 снижалось на 49.4%, соответственно. После введения ХЭД в СМД 10^{-13} – 10^{-17} М в течение 14 послеоперационных дней и расчёта среднего процентного отношения у крыс 3-й подопытной группы были отмечены следующие показатели: содержание ТТГ в крови составило 92.3% по сравнению с нормой, принятой за 100%; содержание общего Т3 составило 98.9%; содержание общего Т4 составило 86.5%.

Анализируя данные, представленные в табл. 1, 2, можно сделать вывод о том, что изолированное применение СМД ХЭА – ИДА и ХЭД способствует нормализации практически до нормы вышеуказанных показателей ТТГ и ТГ в сыворотке крови у трёхмесячных гипотиреоидных крыс. В целом имеется положительный эффект от применения при патологии ЩЖ типа СГПТ СМД ХЭА. Общие закономерности влияния СМД препаратов наиболее ярко проявляются при изучении дозовых зависимостей. В некоторых случаях эта зависимость бимодальная: эффект возрастает при СМД препаратов, затем при увеличении дозы уменьшается, сменяется «мёртвой зоной» и вновь усиливается. Иногда в дозовой зависимости обнаруживается стадия «перемены знака» эффекта. Например, если в области СМД отмечалась ингибирующая активность, то по мере роста концентрации она сменялась на стимулирующую, а затем проявлялся ингибирующий эффект [8]. Итак, результаты ранее проведенных исследований по изучению действия холиновых производных [9, 10], а также результаты данной серии исследований показали эффективность действия СМД 10^{-13} – 10^{-17} М ИДА и ХЭД при СГПТ.

Институт прикладных проблем физики НАН РА
e-mail: pharmatica@mail.ru

Т. С. Хачатрян

Воздействие сверхмалых доз холиновых эфиров N-замещённых- α , β -дегидроаминокислот на субклинический гипотиреоз у крыс

Исследованы особенности концентрации тиреотропного гормона гипофиза и тиреоидных гормонов в крови у крыс с субклиническим гипотиреозом до и после изолированного воздействия сверхмалых доз холинового эфира N-(4-изобутоксibenзоил) -O-изопропил- α , β -дегидротирозина и холинового эфира N-(2-метоксibenзоил)-O-изопропил- α , β -дегидротирозина. Выявлено, что у трёхмесячных крыс при субклиническом гипотиреозе резко повышается уровень тиреотропного гормона гипофиза и резко понижается уровень тиреоидных гормонов в крови. При изолированном воздействии сверхмалых доз холинового эфира N-(4-изобутоксibenзоил)-O-изопропил- α , β -дегидротирозина и холинового эфира N-(2-метоксibenзоил)-O-изопропил- α , β -дегидротирозина в крови у крыс происходят понижение концентрации тиреотропного гормона гипофиза и повышение уровня тиреоидных гормонов, достигая их значений у интактных животных.

S. U. Խաչատրյան

**N-տեղակալված- α , β -դեհիդրոամինաթթուների քոլինի էսթերների գերցածր
չափաբաժինների ազդեցությունը առնետների վրա ենթակլինիկական
հիպոթիրեոզի պայմաններում**

Հետազոտված են հիպոֆիզի թիրոիդ հորմոնի և վահանագեղձի հորմոնների բաղադրության աստիճանը երեք ամսական առնետների արյան մեջ, ենթակլինիկական հիպոթիրեոզի պայմաններում, քոլինի էսթեր N-(4-իզոբուտօքսիբենզոյլ)-O-իզոպրոպիլ- α , β -դեհիդրոթիրոզինի և քոլինի էսթեր N-(2-մեթօքսիբենզոյլ)-O-իզոպրոպիլ- α , β -դեհիդրոթիրոզինի գերցածր չափաբաժինների մեկուսացված ազդեցությամբ: Հայտնաբերված է, որ երեք ամսական առնետների մոտ ենթակլինիկական հիպոթիրեոզի պայմաններում կենդանիների արյան մեջ տեղի էր ունենում հիպոֆիզի թիրոիդ հորմոնի բաղադրության կտրուկ աճ և վահանագեղձի հորմոնների բաղադրության կտրուկ նվազում: Քոլինի էսթեր N-(4-իզոբուտօքսիբենզոյլ)-O-իզոպրոպիլ- α , β -դեհիդրոթիրոզինի և քոլինի էսթեր N-(2-մեթօքսիբենզոյլ)-O-իզոպրոպիլ- α , β -դեհիդրոթիրոզինի գերցածր չափաբաժինների մեկուսացված ազդեցության ժամանակ առնետների արյան մեջ տեղի են ունենում հիպոֆիզի թիրոիդ հորմոնի բաղադրության կտրուկ նվազում և վահանագեղձի հորմոնների բաղադրության կտրուկ աճ՝ հասնելով նորմալ կենդանիներին:

T. S. Khachatryan

**Influence of Ultra-Low Doses of Choline Ester of N-Substituted- α , β -
Dehydroaminoacids on Subclinical Hypothyroidism in Rats**

The features of thyroid stimulating hormone concentrations and thyroid hormones in the blood of rats with experimental hypothyroidism before and after isolated injection of ultra-low doses of choline ester of N-(4-isobutoxybenzoyl)-O-isopropyl- α , β -dehydrothyrozone and choline ester of N-(2-methoxybenzoyl)-O-isopropyl- α , β -dehydrothyrozone were investigated. It is shown that there is a sharp increase of thyroid stimulating hormone level and a sharp drop in the level of thyroid hormones in the blood of three-month rats with subclinical hypothyroidism. Decrease of the concentration of thyroid stimulating hormone and increase of the level of thyroid hormones in the blood serum of rats take place and reached their values in intact animals at the action of isolated influence of ultra-low doses of choline ester of N-(4-isobutoxybenzoyl)-O-isopropyl- α , β -dehydrothyrozone and choline ester of N-(2-methoxybenzoyl)-O-isopropyl- α , β -dehydrothyrozone.

Литература

1. Klein I. J. – Clin Endocrinol Metab. 2013. № 98. V. 2. P. 508 – 510.
2. Киприян Т. К., Матинян Л. А., Хачатрян Т. С., Чавушян В. А. – Вопросы теоретической и клинической медицины. 1999. № 2. (7). С. 50 – 54.
3. Матинян Л. А., Киприян Т. К., Хачатрян Т. С. – Вестник МАНЭБ. 2006. Т. 11. № 6. С. 176 – 177.

4. *Матинян Л. А., Нагапетян Х. О., Андреасян А. С., Киприян Т. К., Хачатрян Т. С.* – Вестник МАНЭБ. 2007. Т.12. № 4. Вып. 2. С. 157 – 159.
5. *Хачатрян Т. С., Киприян Т. К.* – Информационные технологии и управление. 2006. № 4-3. С. 46 – 51.
6. *Эскин И. А.* Основы физиологии эндокринных желёз. 2-е изд., доп. М. Высшая школа. 1975. 304 с.
7. *Мнджоян О. Л., Топузян В. О.* – Успехи химии. 1981. Т. 12. С. 2198 – 2211,
8. *Бурлакова Е. Б.* – Российский химический журнал, 1999.Т. 50. № 5. С. 3 – 11.
9. *Топузян В. О.* – Химический журнал Армении. 2007. Т. 60. № 4. С. 731 – 748.
10. *Хачатрян Т. С.* – Биолог. ж. Армении. 2013. Т. 65. № 1. С. 89 – 92.

MICROBIOLOGY

УДК 579.6

**A. G. Keryan, Y. A. Simonyan, I. L. Bazukyan,
corresponding member of NAS RA A. H. Trchounian**

Inhibition of Growth and Antimicrobial Activity of New Lactobacilli Strains Isolated From Armenian Dairy Product Matsoun with EDTA in Low Concentrations: Comparative Study with Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria

(Submitted 25/III 2014)

Keywords: *EDTA, bacterial cultivation, antibacterial activity, lactobacilli.*

Introduction. Lactic Acid Bacteria (LAB) are a heterogeneous group of gram-positive microorganisms that synthesize large variety of antimicrobial substances such as organic acids (lactic acid, acetic acid, etc.), hydrogen peroxide, diacetyl, carbon dioxide, bacteriocins and other low molecular weight compounds [1]. Bacteriocins are ribosomally synthesized antibacterial peptides that are usually active against closely related strains. Bacteriocins are found at many gram-positive and gram-negative bacteria but those synthesized by LAB are of particular interest [2]. They may be used as preservatives to inhibit the growth of pathogens and spoilage microorganisms in food technology, thus replacing chemical preservatives [3] because LAB have generally recognized as safe (GRAS) status [4] and their bacteriocins do not change the smell or taste of a product [5]. However, vast majority of bacteriocins produced by LAB are active only against LAB and other gram-positive microorganisms. There are only a small number of bacteriocins reported to be active against gram-negative microorganisms [6]. This difference is due to a protective outer layer of gram-negative bacteria that covers plasma membrane and peptidoglycan layer. This structure acts as a penetration barrier and consists of glycerophospholipids and lipopolysaccharide molecules. Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) is metal chelating agent that removes Ca^{2+} and Mg^{2+} from outer layer of gram-negative bacteria destabilizing its structure and affecting permeability, thus making cells sensitive to hydrophobic substances such as bacteriocins [7, 8]. EDTA is used in food production to prevent oxidation and other harmful reactions catalyzed by metal ions. It also has antimicrobial activity and is known to enhance the

activity of antimicrobials and antibiotics especially against gram-negative microorganisms. Thus, EDTA in combination with other antimicrobials may be effective for inhibition of gram-negative bacteria in food products [1]. However, there is little information on effects of EDTA on gram-positive bacteria. Hansen et al. [9] demonstrated inhibitory effect of 0.9 mM EDTA against various gram-positive microorganisms. Other researchers showed that EDTA prevented the growth of *Staphylococcus epidermidis* [10]. It was reported that EDTA at 10 mM did not inhibit the growth of *Streptococcus agalactiae* [11]. In another work EDTA expressed antimicrobial properties against streptococcal bovine mastitis isolates but only in high concentrations (30-100 mM) [12]. But there are no available data on lactobacilli.

The aim of this study was to investigate the growth of two lactobacilli strains as well as test strains – gram-positive *Micrococcus luteus* and gram-negative *Salmonella typhimurium* in the presence of low concentrations of EDTA. In order to evaluate the optimal conditions for maximal antagonistic activity the effect of EDTA on lactobacilli antibacterial activity was also determined. The findings might be a good input in development of new probiotics or food preservation technology.

Materials and methods. The objects of the study were *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis* INRA-2010-4.2 and *Lactobacillus crispatus* INRA-2010-5.2 that were originally isolated from Armenian traditional dairy product matsoun. They were maintained by subculturing once a month in 10% skim-milk. For long storage MRS broth (Hi Media, India) was used with addition of 20% glycerol. Prior to experiments they were pre-incubated in MRS broth.

Micrococcus luteus WT and *Salmonella typhimurium* WDCM 1474 were used as test strains to determine the antibacterial activity of lactobacilli. They were kept in a viable condition by sub-culturing once a month on slant agar. For experiments LB broth was used (10 g/l peptone, 5 g/l yeast extract, 10 g/l NaCl, 5 g/l sucrose, 0.5 g/l MgSO₄). When needed, agar (9 g/l) was added.

To investigate the growth of bacterial strains appropriate media were supplemented with EDTA in concentrations 0.5, 1, 3, 5 and 10 mM. Media were inoculated with overnight cultures of bacteria and incubated at 37 °C. To monitor the growth every hour probes were taken and optical density of bacterial cultural liquids was measured at 595 nm using a spectrophotometer (Thermo Scientific, GENESYS 10S UV-VIS, USA). For lactobacilli pH of a medium was also measured using a pH-meter (Knick 766, Germany).

To determine the antibacterial activity of lactobacilli agar-well diffusion assay was used [13] with some modifications. Briefly, test strains were grown overnight in LB broth. 100 µl of their cultural liquid was put into sterile Petri dishes, melted LB agar was poured on top and shaken. After solidification of a medium wells (6mm) were cut aseptically. Lactobacilli were pre-cultivated in MRS broth with supplementation of different concentrations of EDTA. Sterile MRS containing EDTA was used to study the antibacterial effect of EDTA. 100 µl of these probes was added in wells. Petri dishes were kept at room temperature for 1 h for diffusion of antibacterial substances and then incubated at 37°C for 24h. Then zones of growth inhibition were measured. A clear zone of inhibition of at least 2 mm was recorded as positive.

Results and Discussion. Investigations of EDTA effects on growth of two test microorganisms showed that it inhibited the growth of both strains (Fig. 1). EDTA was inhibitory for *M. luteus* growth in the concentrations >1 mM. *S. typhimurium* was able to grow at presence of EDTA in the concentrations of 0.5 to 3 mM. Obtained results are in accordance with literature data. Boziaris and Adams [14] showed that EDTA had inhibitory effect against gram-negative *Escherichia coli*. In other work the other action of EDTA against *E. coli* different strains was reported which could suggest that the EDTA effect is strain dependent [8]. EDTA showed inhibitory effect to *E. coli* O157:H7 in tryptic soy broth [15] and ground beef [16].

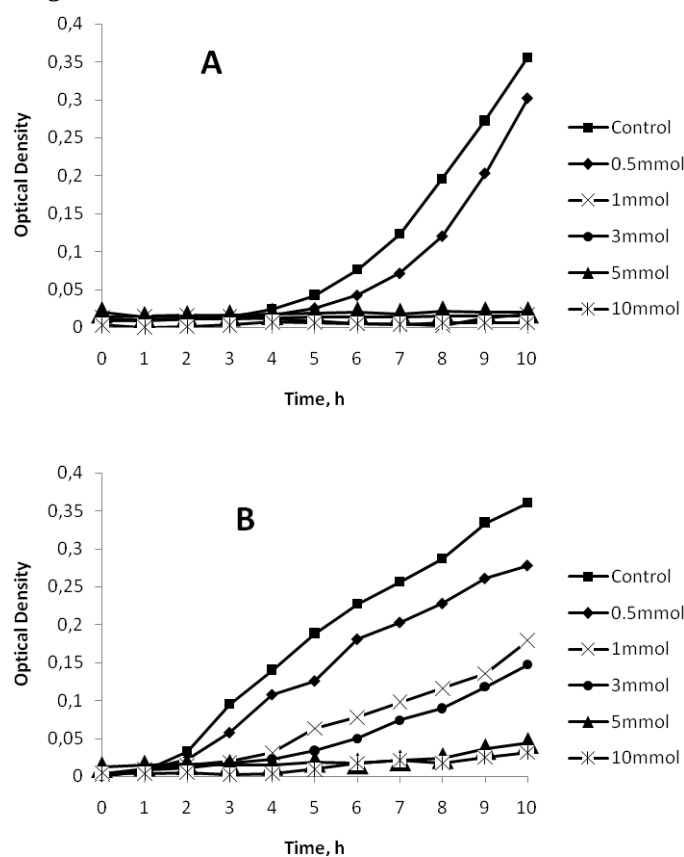


Fig. 1. The growth kinetics of *M. luteus* WT (A) and *S. typhimurium* WDCM 1474 (B) in the presence of EDTA in different concentrations.

It is well established that EDTA enhances the action of antimicrobials, antibiotics and bacteriocins against gram-negative bacteria by permeabilization of their outer membrane. The enhanced effects of EDTA and bacteriocins against Gram-negative bacteria have been demonstrated both under laboratory conditions and in some foods [14, 16]. *Salmonella* has been reported to be more resistant to antimicrobial combinations of bacteriocins and sensitizing agents than other gram-negative bacteria [14, 17]. Enterocin AS-48 which is a cyclic

peptide produced by *Enterococcus faecalis* S-48 actssynergistically with EDTA against *Salmonella Choleraesuis*, as well as against gram-positive *Bacillus cereus* and *Staphylococcus aureus* [7].

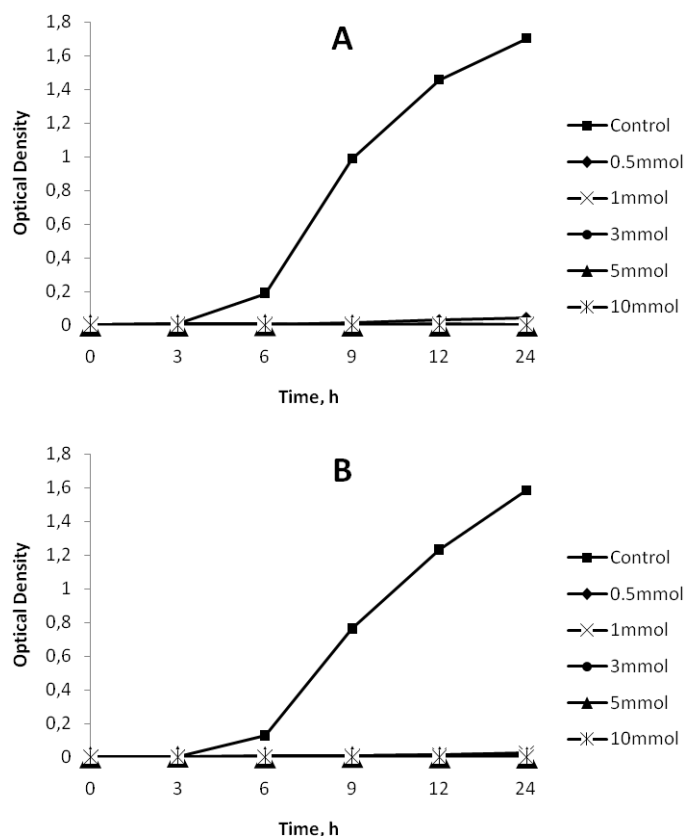


Fig. 2. The growth kinetics of *L. delbrueckii* subsp. *lactis* INRA-2010-4.2 (A) and *L. crispatus* INRA-2010-5.2 (B) in the presence of different concentrations of EDTA.

Taking into account available data about synergistic effect of EDTA with bacteriocins it was interesting to study the effect of EDTA on antimicrobial activity of lactobacilli strains. EDTA expressed inhibitory effect on growth of two lactobacilli strains in low concentrations tested (Fig. 2). Similar results but with *Lactobacillus casei* were reported by Tamura *et al.* [18]. This effect may be connected with chelation of manganese, iron and magnesium ions by EDTA. The growth of this strain was completely restored after addition of manganese or iron into assay mixture. It may be hypothesized that similar effect may take place for *L. delbrueckii* subsp. *lactis* and *L. crispatus* but this suggestion needs to be clarified in further experiments. It is interesting to state that in previous works it was suggested that antimicrobial substances synthesized by *L. delbrueckii* subsp. *Lactis* and *L. Crispatus* are connected with cell wall [19]. Also it was demonstrated that the activity of both strains can be induced by

addition of Ca^{2+} and Co^{2+} as well as Mg^{2+} (only for *L. crispatus*) [20]. This means that further research is needed in order to elucidate the role of EDTA.

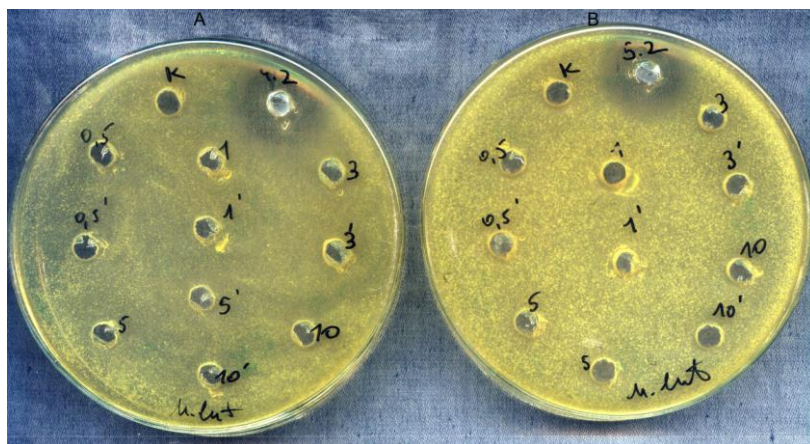


Fig. 3. The effects of EDTA on antibacterial activity of *L. delbrueckii* subsp. *Lactis* INRA-2010-4.2 (A) and *L. crispatus* INRA-2010-5.2 (B) against *M. luteus* WT. 0.5, 1, 3, 5, 10 – concentrations of EDTA; ' - only EDTA, without ' - EDTA + lactobacilli.

As addition of EDTA into cultivation medium inhibited lactobacilli strains they consequently showed no antibacterial activity (Fig. 3). Interestingly, EDTA alone also had no inhibitory effect on both test strains when applied into Petri dishes during agar well diffusion assay as controls.

Concluding remark. EDTA is able to inhibit the growth of lactobacilli and test strains, and hence has a high antibacterial activity. This might be useful in development of new probiotics and food preservation technology.

Yerevan State University

A. G. Keryan, Y. A. Simonyan, I. L. Bazukyan,
corresponding member of NAS RA **A. H. Trchounian**

Inhibition of Growth and Antimicrobial Activity of New Lactobacilli Strains Isolated from Armenian Dairy Product Matsoun with EDTA in Low Concentrations: Comparative Study with Gram-Positive and Gram-Negative Bacteria

The effect of EDTA on growth and antibacterial activity of two lactobacilli strains isolated from Armenian traditional dairy product matsoun, as well as on growth of test strains in medium supplemented with EDTA was studied. The obtained results demonstrate that EDTA totally inhibits the growth of lactobacilli strains and their antibacterial activity in low concentrations of 0.5 mM to 10 mM. It also inhibits the growth of *Micrococcus luteus* and *Salmonella typhimurium*.

Ա. Գ. Керян, Е. А. Симонян, И. Л. Базукян, член-корреспондент НАН РА А. А. Трчунян

Подавление роста и антибактериальной активности новых штаммов лактобацилл, изолированных из армянского молочного продукта мацун ЭДТА в низких концентрациях: сравнительное исследование с грам-положительными и грам-отрицательными бактериями

Изучено воздействие ЭДТА на рост и антибактериальную активность двух штаммов лактобацилл, изолированных из армянского молочного продукта мацун, а также на рост тест организмов в среде с добавлением ЭДТА. Полученные результаты показали, что ЭДТА ингибирует рост лактобацилл и их антибактериальную активность в низких концентрациях 0.5-10 мМ. Оно также ингибирует рост *Micrococcus luteus* и *Salmonella typhimurium*.

**Ա. Գ. Թերյան, Ե. Ա. Միմոնյան, Ի. Լ. Բազուկյան,
ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ա. Հ. Թռչունյան**

Հայկական կաթնամթերք մածուկից անջատված լակտոբացիլների նոր շտամների աճի և հակաբակտերիական ակտիվության ճնշումը ԷԴՏԱ-ի ցածր կոնցենտրացիաներով. համեմատական հետազոտություն գրամ-դրական և գրամ-բացասական բակտերիաների նկատմամբ

Ուսումնասիրվել է ԷԴՏԱ-ի ազդեցությունը հայկական կաթնամթերք մածուկից անջատված լակտոբացիլների նոր շտամների աճի և հակաբակտերիական ակտիվության, ինչպես նաև թեստ-օրգանիզմների աճի վրա ԷԴՏԱ պարունակող միջավայրում: Մտացված արդյունքները ցույց են տվել, որ ԷԴՏԱ-ի ամբողջովին ճնշում է լակտոբացիլների աճը և նրանց հակաբակտերիական ակտիվությունը ցածր՝ 0.5-10 մՄ կոնցենտրացիաներով: Այն նաև ճնշում է *Micrococcus luteus* և *Salmonella typhimurium* աճը:

References

1. Helander I.M., von Wright A., Mattila-Sandholm T. M. - Trends Food Sci. Tech. 1997. V. 8. P. 146-150.
2. Gollop N., Zakin V., Weinberg Z. G. - J. Appl. Microbiol. 2005. V. 98. P. 662–666.
3. Chen Y. S., Wu H. C., Yanagida F. - Braz. J. Microbiol. 2010. V. 41. P. 916-921.
4. Riley M. A., Wertz J. E. - Annu. Rev. Microbiol. 2002. V. 56. P. 117-137.
5. Moraes P. M., Perin L. M., Tassinari Ortolani M. B., Yamazi A. K., Viçosa G. N., Nero L. A. - LWT - Food Sci. Technol. 2010. V. 43. P. 1320–1324.
6. Line J. E., Svetoch E. A., Eruslanov B. V., Pereygin V. V., Mitsevich E. V., Mitsevich I. P., Levchuk V. P., Svetoch O. E., Seal B.S., Siragusa G.R., Stern N. J. - Antimicrob. Agents Chemother. 2008. V. 52. P. 1094-1100.
7. Ananou S., Gálvez A., Martínez-Bueno M., Maqueda M., Valdivia E. - J. Appl. Microbiol. 2005. V. 99. P. 1364–1372.
8. Belfiore C., Castellano P., Vignolo G. - Food Microbiol. 2007. V. 24. P. 223–229.
9. Hansen L. T., Austin J. W., Gill T. A. - Int. J. Food Microbiol. 2001. V. 66. P. 149-161.

10. Root J. L., McIntyre O. R., Jacobs N. J., Daghlia C. P. - Antimicrob. Agents Chemother. 1988. V. 32. P. 1627-1631.
11. Dos Santos M. H., Da Costa A. F., Da Silva Santos G., Dos Santos A. L., Nagao P. E. - Mol. Med. Rep. 2009. V. 2. P. 81-84.
12. Reidmiller J. S., Smith W. L., Sawyer M. M., Osburn B. I., Stott J. L., Cullor J. S. - J. Food Prot. 2006. V. 69. P. 1460-1462.
13. Papagianni M., Avramidis N., Filioussis G., Dasiou D., Ambrosiadis I. - Microb. Cell Fact. 2006. V. 5. P. 30.
14. Boziaris I., Adams M. - Int. J. Food Microbiol. 1999. V. 53. P. 105-113.
15. Hathcox A. K., Beuchat L. R. - Food Microbiol. 1996. V. 13. P. 213-225.
16. Fang T. J., Tsai H. C. - Food Microbiol. 2003. V. 20. P. 243-253.
17. Bover-Cid S., Jofré A., Aymerich T., Garriga M. - Int. Microbiol. 2008. V. 11. P. 11-16.
18. Tamura T., Freeberg L. E., Cornwell P. E. - Clin. Chem. 1990. V. 36. P. 1993.
19. Bazukyan I. L., Babayan A. M., Trchounian A. - El. J. Nat. Sci. 2013. V. 2. N 21. P. 38-43.
20. Керян А., Базукян И., Попов Ю., Трчунян А. В: 18-я международная Пушчинская школа – конференция молодых ученых «Биология – наука XXI века». Сб. тезисов. 2014. С. 23-24.

Института Пастера в Париже были выделены и описаны различные группы новых энтомопатогенных микробов, которые были предложены для борьбы с вредоносными насекомыми (И.Мечников, К.Туманов (С.Туманов), Д'Эрель (D. Herelle), С.Метальников, А. Пейо (A.Paillot)). Было организовано даже производство некоторых инсектицидных препаратов. Так, С.И. Метальников, работавший во Франции в 1940-е гг., организовал производство бактериального препарата, успешно использованного в борьбе с вредителями хлопчатника в Египте.

Существенно важное значение для развития работ в этой области имели открытие инсектицидной активности параспоральных кристалловидных включений белковой природы у культур *Bacillus thuringiensis* [3], а также установление высокой специфичности для внутривидовой дифференциации *B. thuringiensis*, серотипизации его разновидностей по жгутиковому Н-антигену. Подобный принцип позволил охарактеризовать описанные культуры по отдельным серотипам, отражающим специфику инсектицидного спектра бактерий этого вида (табл. 1).

Таблица 1

Спектр инсектицидного действия разновидностей *B. thuringiensis* и других энтомопатогенных бацилл

Виды и разновидности бацилл	Целевое насекомое
<i>B.thuringiensis</i> (разные разновидности)	<i>Lepidoptera</i>
<i>B.thuringiensis ssp. israelensis</i>	Москиты, черная муха
<i>B.thuringiensis ssp. sd./tenebrionis</i>	<i>Coleoptera</i> , колорадский жук
<i>B.popilliae – lentimorbus</i>	Японский жук
<i>B.sphaericus (Lysinibacillus sphaericus)</i>	Москиты, комары

Как видно из представленной таблицы, спектр инсектицидного действия отдельных серотипов *B.thuringiensis* охватывает строго определенные виды и разновидности/серотипы энтомопатогенных бацилл. Особняком стоит группа *Bacillus popilliae – lentimorbus*, поскольку перспективы практического применения ее культур с помощью современных методов микробиологической ферментации сопряжены с большими трудностями.

Необходимо подчеркнуть существенный вклад в эту область, сделанный специалистами бывшего Союза, обеспечившими внедрение в практику микробиологического метода борьбы со многими вредоносными насекомыми [4-8].

С 60-х годов начинается организация крупнотоннажного производства микробиологических средств защиты растений. Во многих странах была разработана технология выработки различных препаративных форм инсектицидов и эффективного их применения. Лидером в этой области явился Советский Союз, где объем производства бактериальных инсектицидов доходил до 6-8 тыс. т в год.

Армения несомненно имеет определенные заслуги в этой области. В Институте микробиологии АН АрмССР в результате многолетних исследований были выделены и охарактеризованы многие энтомопатогенные бактерии и создана одна из обширных и хорошо охарактеризованных

коллекций энтомопатогенных культур бактерий (Л.Чил-Акопян, М.Киносян, Р.Бобикян, А.Хачатрян, С. Багдасарян и др.). Коллекция содержит около 5 тыс. штаммов энтомопатогенных бацилл, обладающих инсектицидными свойствами против многих вредоносных насекомых и векторов различных инфекций (блохи, комары, клещи и др.).

Следует отметить, что на начальной стадии организации промышленного производства инсектицидных препаратов были значительные трудности, вызванные явлением фаголизиса используемых штаммов. В этой связи исключительно важным явилось выделение в Институте микробиологии АН АрмССР новой разновидности *B. thuringiensis ssp. Caucasicus*, лишенной спонтанного фаголизиса и обладавшей высокой инсектицидностью. На основании этой разновидности был получен и внедрен в производство ряд штаммов для выработки препарата БИП (бактериальный инсектицидный препарат) для борьбы с вредоносными чешуекрылыми. Некоторое время этот препарат ежегодно вырабатывался и применялся на территории около 300 тыс. га в год.

На основе высокоактивного к комарам штамма 2477 новой разновидности *B. thuringiensis* был внедрен в производство москитоцидный препарат БЛП (бактериальный ларвицидный препарат), который успешно применялся как в Средней Азии, так и в Тюменской области (В. Меликсетян, Э. Карпов, Э. Африкян). В Армении на базе Абовянского завода биохимпрепаратов было освоено промышленное производство указанных инсектицидных препаратов, а также бактородентицида – бактериального препарата против грызунов (Э. Симонянц, В. Унанян, П. Татевосян).

Современный этап развития микробиологических средств борьбы с вредителями растений характеризуется интенсивным внедрением методов молекулярной генетики для создания новых перспективных штаммов – продуцентов инсектицидных препаратов, и особенно для получения трансгенных растений, резистентных к вредоносным насекомым [9, 10]. В этой области достигнуты исключительно важные результаты: в настоящее время методами современной генетической инженерии получены и внедрены в производство трансгенные кукуруза, хлопок, табак, томат, картофель и другие растения. Чтобы представить значимость этих работ, можно привести официальные данные: внедрение трансгенной кукурузы, устойчивой к злостному вредителю – мотыльку, и внедрение этого сорта в широкую практику обеспечило за 4 года чистую прибыль в размере 3 млрд. Долларов.

Важным и новым направлением является получение из энтомопатогенных бацилл канцеролитических соединений белковой природы, продуцируемых культурами *B. thuringiensis* и названных параспоринами. Работы в этой области, начатые японскими специалистами, расширяются и углубляются с большими перспективами [11].

Роль ауксотрофных бактерий в этиопатогенезе болезней насекомых. Решение поставленной в данном сообщении основной цели – выявление специфики микробиоты насекомых, осуществлялось изучением микрофлоры здоровых и больных гусениц тутового шелкопряда в различных эколого-географических условиях. Осуществлялся систематический сбор

образцов здоровых и больных гусениц и куколок тутового шелкопряда из выкормок различных ферм Армении, Грузии, Ставропольского, Краснодарского районов и Ленкорана (Азербайджан). В результате микробиологических анализов, продолжавшихся несколько лет, были выделены и охарактеризованы многие тысячи образцов энтомогенной микробиоты здоровых, больных и павших гусениц и куколок шелкопряда. В результате анализов испражнений, гемолимфы здоровых, больных и павших гусениц и куколок выделенные культуры бактерий подвергались 3-кратной очистке расеевом на мясопептонном агаре, после чего исследовались морфологические и биохимические особенности выделенных чистых культур для их идентификации.

Микробиота погибших от характерных поражений *B. thuringiensis* использовалась лишь для выделения штамма данного вида, для характеристики состава микрофлоры она не учитывалась.

Изучению природы бактериозов тутового шелкопряда во многом способствовала работа Э. Африкяна в течение одного года в Институте Пастера в Париже (1964-1965). Он имел возможность ознакомиться на месте в деталях со многими работами, включая экспонаты и записи Луи Пастера в его музее.

Уже на ранних этапах на обследованных фермах Кавказского региона было установлено наличие выкормок шелкопряда с отставанием в росте гусениц, а в дальнейшем и их куколок. На этих выкормках отмечались слабая поедаемость шелковицы, отставание в развитии и гибель гусениц, что хорошо известно со времен Пастера.

Проведенные микробиологические анализы этих выкормок выявили наличие в кишечнике гусениц массового размножения одноклеточных энтерококков и спорообразующих бактерий. Подробная характеристика физиолого-биохимических свойств этих бактерий выявила, что исследованные штаммы специфически нуждаются в дополнительных ростовых факторах, а именно: в витаминах группы В – тиамине и биотине, а также в некоторых аминокислотах, особенно лейцине и изолейцине.

Надо отметить, что ознакомление с оригинальными иллюстрациями 2-го тома классического труда Луи Пастера «Исследования болезней шелковичного червя» (1870) с большой очевидностью доказывает аналогию с наблюдениями Пастера над больной партией гусениц, пораженных «фляшерией», в бытность его работы на ферме в Лез Але (Les Ales).

Уже при одном наблюдении подобных выкормок бросались в глаза сравнительно мелкие размеры гусениц и куколок (рис. 1, 2). Выделенные и подробно охарактеризованные бактерии нуждались в качестве дополнительного ростового фактора в витаминах и аминокислотах. Они были идентифицированы как *Enterococcus sp.*, зависимый от тиамина, *Bacillus biotini*, *Candida sp.*, *Brevibacterium sp.*, зависимые от биотина. Ряд выделенных штаммов нуждался в отдельных аминокислотах.

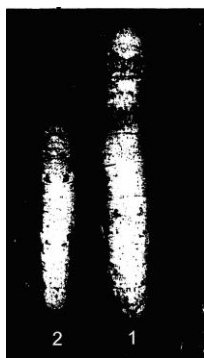


Рис. 1. Гусеницы тутового шелкопряда 5-го возраста: 1 – нормальная, 2 – вскормленная биотинзависимой культурой *B. biotini*, шт. 273.

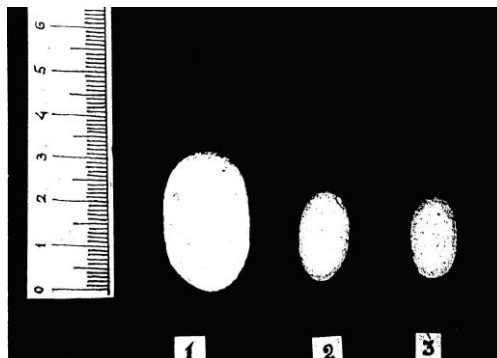


Рис. 2. Коконы тутового шелкопряда: здоровый (1); полученный после вскармливания штаммом тиаминзависимой *Enterococcus* sp. (2); полученный после вскармливания биотинзависимой культурой *B. biotini*, шт. 273 (3).

В лабораторных условиях с использованием синтетической диеты, разработанной в Японии, были проведены испытания в стерильных условиях на гусеницах тутового шелкопряда с дополнительным скормливанием культурами микроорганизмов, нуждавшихся в витаминах и аминокислотах. Полученные результаты полностью подтвердили роль ауко-трофных бактерий, обитающих в микрофлоре кишечника гусениц, в развитии нарушений их роста, а также куколок с нарушениями метаболизма (рис. 3).

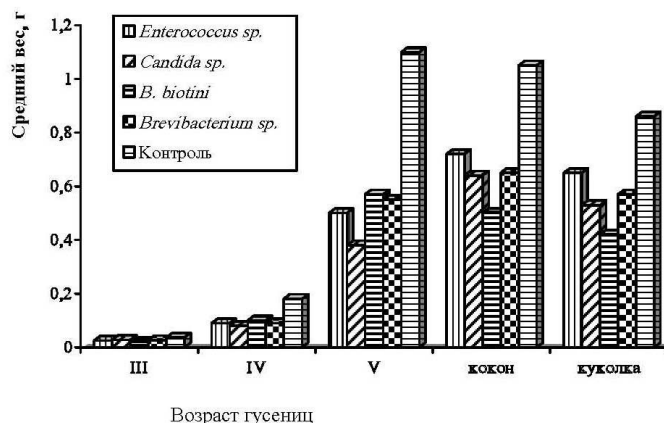


Рис. 3. Влияние подкормки витаминзависимыми культурами бактерий на развитие тутового шелкопряда. Смертность гусениц, %: *Enterococcus* sp. (тиамин) – 20, *Candida* sp. (биотин) – 60, *B. biotini* (биотин) – 66, *Brevibacterium* sp. (биотин) – 52, контроль – 0. Знак – в конце слова указывает на дефицитность от данного витамина.

Как представлено на рис. 3, при обильном развитии в кишечной микрофлоре отдельных витаминзависимых штаммов отмечается значительная гибель гусениц – в пределах 20-60%.

Подобная картина отмечается в опытах со скормливанием бактериями, нуждающимися в аминокислотах – глутаминовой кислоте, аланине, метионине, лейцине и изолейцине (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание аминокислот в гемолимфе гусениц шелкопряда
(с и без бактериальной подкормки, содержание аминокислот
в 5-м возрасте, мг/мл)**

Бактериальная подкормка	Glu	Ala	Meth	Leu+Ileu
<i>Bacillus cereus</i> , шт. 600 (Glu ⁻ , Meth ⁻)	0.8	0.4	0.05	0.8
<i>B. megaterium</i> , шт. 422 (Ileu ⁻)	0.6	0.5	0.02	0.02
<i>B. megaterium</i> , шт. 430 (Leu ⁻ , Ileu ⁻)	0.4	0.6	0.01	0.02
<i>B. licheniformis</i> , (Ala ⁻)	1.3	0.2	0.04	0.6
Контроль, без подкормки бактериями	3.2	0.3	0.15	2.2

Обобщающая схема по характеристике энтомопатогенного действия микроорганизмов, обитающих в кишечнике, представлена на рис.4.



Рис. 4. Характеристика энтомопатогенного действия микроорганизмов.

Согласно договору о содружестве с Институтом медико-биологических проблем РАН в 2013 г. штамм 837 *B.thuringiensis* в рамках космической программы БИОН, руководимой проф. В.К.Ильиным, был экспонирован на Международной космической станции (МКС) в течение одного месяца. Затем этот штамм и его аналог на Земле были изучены для выявления различий в инсектицидной активности и морфо-физиологических свойств. Проведенные исследования выявили отсутствие каких-либо значительных различий между указанными штаммами. Исследования в этом направлении продолжаются.

¹Центр депонирования микробов н/п центра «Армбиотехнология» НАН РА
e-mail: microbio@sci.am

²Научный центр противоинфекционных препаратов, Алматы, Казахстан

**Академик Э. К. Африкян, М. А. Киносян,
А. К. Окасов, Н. Л. Казанчян**

Специфика энтомогенной микробиоты насекомых

Обобщены результаты многолетних исследований по изучению кишечной микрофлоры насекомых, в частности тутового шелкопряда, в различных эколого-географических условиях, а также в лабораторных условиях на синтетической диете. Установлено распространение в кишечной микрофлоре тутового шелкопряда бактерий, нуждающихся в витаминах группы В и незаменимых аминокислотах. Их обильное развитие в кишечной микрофлоре приводит гусениц к метаболическим расстройствам, вплоть до их гибели.

Экспонирование в течение одного месяца на Международной космической станции в апреле 2013 г. культуры 837 *B.thuringiensis ssp. caucasicus* в рамках космической программы БИОН не оказало существенного влияния на его инсектицидную активность и физиолого-биохимические свойства.

**Ակադեմիկոս Է. Գ. Աֆրիկյան, Մ. Ա. Կինոսյան,
Ա. Կ. Օկասով, Ն. Լ. Դազանչյան**

Միջատների բնածին միկրոֆլորայի յուրահատկությունը

Ամփոփվել են միջատների, հատկապես թթենու շերամորդի, աղիքային միկրոֆլորայի ուսումնասիրման բազմամյա հետազոտությունների արդյունքները էկոլոգա-աշխարհագրական տարբեր պայմաններում, ինչպես նաև լաբորատորիայում սինթետիկ դիետայի օգտագործմամբ: Հաստատվել է թթենու շերամորդի աղիքային միկրոֆլորայում բակտերիաների լայն տարածումը, որոնք իրենց աճի համար պահանջում են B խմբի վիտամիններ և անփոխարինելի ամինաթթուներ: Նրանց առատ զարգացումը աղիքային միկրոֆլորայում հանգեցնում է շերամորդի մետաբոլիկ խանգարումների, ընդհուպ մինչև նրանց մահանալը:

2013 թ. ապրիլին մեկ ամսվա ընթացքում ԲԻՈՆ տիեզերական ծրագրի շրջանակներում *B. thuringiensis ssp. caucasicus* 837 շտամը փորձարկվել է Միջազգային տիեզերական կայանում: Նշված շտամի մոտ միջատասպան և այլ ֆիզիոլոգա-կենսաքիմիական հատկությունների փոփոխություն չի նկատվել:

**Academician E. G. Afrikian, M. A. Kinosyan,
A. K. Okasov, N. L. Ghazanchyan**

Specificity of Entomogenic Insect Microbiota

The results of long-term researches on intestinal microbiota of insects, particularly silkworm larvae in various ecological and geographical conditions as well as in laboratory conditions with synthetic diet have been summarized. High rate distribution of bacteria requiring vitamins and essentially important amino acids has been revealed in the microflora of larvae intestine. Abundant growth of such bacteria may cause the metabolic disorders and mortality of larvae.

Within the framework of the space program BION the strain 837 of *B.thuringiensis* ssp. *caucasicus* has been incubated for one month in April 2013 at the International Space Station. No changes in insecticidal activity or physiological and biochemical properties have been noted.

Литература

1. *Steinhaus E.A.* ed. Insect Pathology. AP. 1963.
2. *Pasteur L.* Etudes sur la maladie des vers a soie. Tome 2. Gauthier – Villars, Paris. 1870. 378 p
3. *Hannay C.L., Fitz-James P.* - Canadian J. Microbiol. 1955. 1(8). P. 694-710.
4. *Теленга Н.А.* Биологический метод борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур и лесных насаждений. М. 1958. 15 с.
5. *Талалаев Е.В.* Бактериологический метод борьбы с сибирским шелкопрядом. Иркутск. 1961.
6. *Красильников Н.А.* Микроорганизмы почвы и высшие растения. М. 1958.
7. *Полтев В.И.* Микрофлора насекомых. Новосибирск. Наука. 1969. 272 с.
8. *Африкян Э.К.* Энтомопатогенные бактерии и их значение Ереван. Изд-во АН Арм.ССР. 1973. 420 с.
9. *Burges H.D., Hussey N.W.* Eds. Microbial control of insects and mites. AP. 1971.
10. *Khetan S.* Microbial pest control. CRC Press, 2000.
11. *Kuroda S. et al.* - Curr Microbiol. 2013. V. 66. P. 475-480.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.73+612.468

К. В. Казарян, Л. Г. Симонян, Р. Г. Чибухчян

Автономность спонтанной электрической активности в изолированных конечных областях мочеточника и в мочевом пузыре

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л. Р. Манвеляном 26/II 2014)

Ключевые слова: мочеточник, мочевой пузырь, спонтанная активность, потенциал действия, амплитуда, частота.

Основным функциональным значением пиелоуретерального комплекса является обеспечение направленного потока мочи из почки через мочеточник к мочевому пузырю. Механизмы, регулирующие этот процесс, миогенные по своей природе, суммируют активности отдельных пейсмейкерных единиц в пиелоуретеральном соустье, создавая при этом медленноволновые колебания мембранного потенциала [1, 2]. На основе данного волнового процесса впоследствии возникают потенциалы действия, распространяющиеся вдоль мочеточника до самого мочевого пузыря. Данная пейсмейкерная активность обеспечивается наличием атипичных гладкомышечных клеток в проксимальной части пиелоуретерального соустья [3]. Вместе с тем в недавних исследованиях показано также присутствие клеток, подобных интерстициальным клеткам Кахаля, которые наряду с атипичными клетками участвуют в возникновении авторитмичности мочеточника [4].

Показано также, что наряду с вышеупомянутыми клетками каждая типичная гладкомышечная клетка при деполяризации способна создавать спонтанную электрическую активность. Таким образом, нельзя исключить наличия автономного электрогенеза в различных зонах мочеточника.

Как уже отмечалось выше, мочеточник обеспечивает продвижение мочи к нижним мочевыводящим путям, в частности, к мочевому пузырю. Гладкомышечная ткань данного органа в норме характеризуется также миогенной спонтанной активностью, которая координируется для выведения мочи из мочевого пузыря после фазы ее заполнения [5, 6]. При этом нельзя исключить наличия и в этом органе автономного возникновения спонтанной активности.

Реализацию выведения мочи из организма, естественно, может обеспечить интегративная деятельность мочеточника с мочевым пузырем. Исходя из этого необходима взаимосвязь между их автоматизмами, которые в норме генерируются автономно. Решению данных вопросов и посвящено настоящее исследование.

Работа выполнена в условиях *in situ* на крысах массой 250-300 г, наркотизированных внутривенно нембуталом (45-50 мг/кг). Мочеточник денервировался путем перерезки корешков чревного и тазового нервов [2]. Денервация мочевого пузыря осуществлялась перерезкой корешков помимо тазового нерва также и срамного нерва и подчревного нерва [7]. Регистрация активности проводилась одновременно с поверхности двух разных отделов мочеточника и из мочевого пузыря. Спайковые разряды из околопочечной и дистальной областей мочеточника отводили биполярными электродами (расстояние между воспринимающими кончиками 2 мм). Активность мочевого пузыря регистрировалась с внутренней поверхности проксимальной зоны органа. С этой целью предварительно проводился небольшой надрез в дистальном отделе мочевого пузыря, через который вводился электрод и осуществлялся отток остаточной мочи.

Все эксперименты были острыми, и после завершения регистраций животные умерщвлялись введением дополнительного количества нембутала. Схематическое изображение мочеточника (рис. 1) позволяет наглядно представить области, из которых отводилась электрическая активность. При нормальных условиях проводилась одновременная регистрация активности из двух областей мочеточника (рис.1, а, б), а также из мочевого пузыря (рис.1, в). Исключение взаимосвязи между ритмогенными областями осуществлялось путем перерезки мочеточника в соответствующих областях (рис.1).

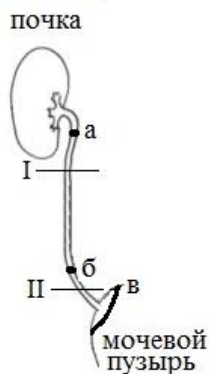


Рис.1. Схематическое изображение мочеточника с почкой и мочевым пузырем. а, б, в – соответственно области регистрации активности из околопочечного и околопузырного отделов мочеточника, а также проксимального отдела мочевого пузыря; I и II – области перерезок мочеточника.

Анализ электрофизиологических регистраций проводился путем определения значений амплитуды и частоты спонтанных потенциалов действия.

Спонтанная электрическая активность регистрировалась на 4-канальном приборе, разработанном в Институте физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА для оценки электрической активности гладкой мускулатуры [8]. Отношение сигнал-шум прибора осуществляет достоверную регистрацию отклонений сигналов с амплитудой до 10 мкВ. Полосовая фильтрация регистрируемых сигналов находится в диапазоне 3-30 Гц. Значения определяемых показателей представлены в виде среднестатистических данных $\pm$ стандартный разброс. Статистический анализ характера зарегистрированных сигналов проводился с использованием пакета Lab View и Origin 8.5. Оценка достоверности изменения полученных данных осуществлялась согласно t-критерию Стьюдента.

На рисунках единичные потенциалы действия представляют собой типичные формы усредненных потенциалов действия. Усреднение форм потенциалов действия проводилось как в пределах каждого эксперимента, так и по всем экспериментам.

Все эксперименты были проведены в соответствии с правилами Ереванского государственного медицинского университета по этике в области ухода и использования лабораторных животных. Эксперименты, а также уход за животными выполнены в соответствии с «Правилами и нормами гуманного обращения с объектами исследования».

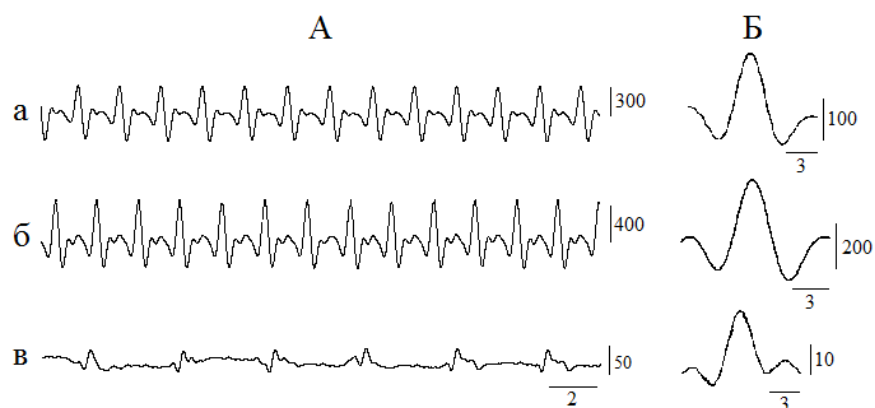


Рис. 2. Спонтанная электрическая активность разных областей мочеточника и проксимального отдела мочевого пузыря в норме. А. а, б, в – соответственно области, представленные на рис.1; Б – усредненные формы потенциалов действия, соответствующие активностям. Калибровка: время в с; амплитуда в мкВ.

В норме в проксимальной зоне мочеточника (рис. 2, А, а) наблюдаются потенциалы действия с четким ритмом. Вместе с тем при одновременной регистрации активности и из дистальной области органа (рис. 2, А, б) выявлен ритм автоматизма, соответствующий таковому из верхней зоны, однако с небольшим сдвигом фазы возникновения. Данный факт свидетельствует о распространяющейся волне возбудимости. Амплитуда потенциалов действия в этой зоне значительно выше, чем в околопузырной области

(табл. 1). В отличие от описанной волны возбудимости активность в мочевом пузыре, как правило, представлена низкоамплитудными потенциалами действия (рис. 2, А, в). На рис. 2, Б для наглядности различия между формами потенциалов действия всех трех областей представлены единичные спайки. Примечателен тот факт, что частота ритмогенеза данной активности не соответствует частоте активности исследуемых зон мочеточника, что может косвенно свидетельствовать об автономности генеза пейсмерной активности мочевого пузыря. Определение показателей всех представленных на рис. 2 типов спонтанной активности позволяет провести сравнительный анализ их характеристик (табл. 1).

Таблица 1

Показатели спонтанных потенциалов действия в норме

Зоны регистрации	Амплитуда, МкВ	Частота, мин ⁻¹	Количество животных, n
а	299.24±14.13	33.71±0.862	10
б	398.6±25.62 ***	33.285±3.68	11
в	40.65±3.98 ***	16.89±1.79	9

Примечание. Зоны регистрации соответствуют областям, представленным на рис. 1. *** $p < 0.001$, достоверные различия по отношению к показателям активности области “а”.

Еще в ранних исследованиях было показано, что во всех областях мочеточника имеются латентные пейсмереры [1], способные активироваться под влиянием распространяющейся волны возбуждения. Представленные в табл.1 данные о возрастании амплитуды потенциалов действия, достигающих дистального отдела мочеточника, свидетельствуют о регенеративных процессах, протекающих в латентных пейсмерерах при их активации распространяющейся волной активности.

Изоляция друг от друга всех исследуемых в работе областей позволит выявить автономность возникновения спонтанной активности в каждой из этих зон. С этой целью проводилась перерезка мочеточника в двух отделах. Перерезка I изолирует проксимальную зону мочеточника от нижерасположенных отделов, при перерезке же II полностью отделяются друг от друга все три исследуемые области.

Активность отдела, приграничного к пиелoureтеральному соустью, в этих условиях, как правило, остается неизменной за исключением 10-15 % случаев, когда наблюдается ингибирование электрических сигналов. В дистальном же отделе мочеточника, близлежащем к мочевому пузырю, сразу же возникает ритмогенез, полностью отличающийся по своим параметрам от ведущих потенциалов действия. В этих условиях наблюдается умень-

шение частоты ритмогенеза и амплитуды потенциалов действия, которые генерируются на фоне небольших колебаний мембранного потенциала (рис. 3, А, б). Таким образом, при исключении воздействия распространяющихся потенциалов действия в дистальной зоне мочеточника возникает другой тип спонтанной активности, полностью отличающийся от нормы.

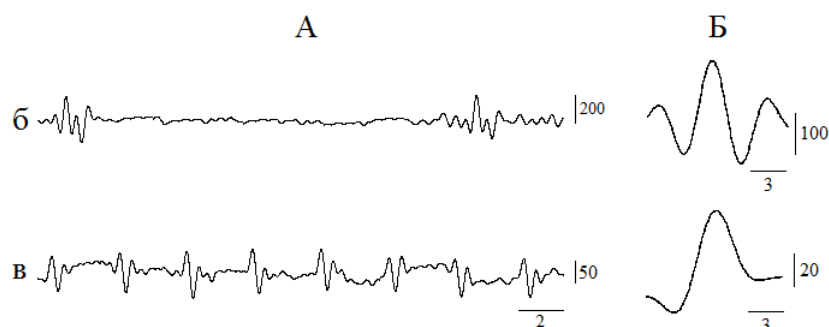


Рис. 3. Спонтанная электрическая активность разных областей мочеточника и проксимального отдела мочевого пузыря после перерезок I и II. А, а, б, в – соответственно области, представленные на рис.1; Б – усредненные формы потенциалов действия, соответствующие активностям. Калибровка: время в с; амплитуда в мкВ.

Как уже отмечалось выше, в проксимальной зоне пиелоуретерального соустья обнаружены клетки, подобные интерстициальным клеткам Кахала, которые в отсутствие ритмоводителей (атипичные клетки) могут регенерировать потенциалы действия и создавать распространяющуюся волну возбудимости. Выявленный нами ритмогенез в дистальном участке мочеточника, возможно, является латентным и в определенных условиях может способствовать распространению возбудимости до мочевого пузыря.

Изоляция мочевого пузыря от мочеточника (перерезка II) также сопровождается изменением параметров автономной спонтанной активности: наблюдается увеличение амплитуды потенциалов действия и учащается ритмогенез (рис. 3, А, в). Интересным является тот факт, что в этих условиях амплитуда потенциала действия возрастает на 52 % (табл. 2).

Известно, что в стенках мочевого пузыря под влиянием ряда факторов (нервная и гуморальная регуляция), возможно, увеличение электрического сопряжения между гладкомышечными клетками способствует координации спонтанной активности и, соответственно, возникновению распространяющейся контрактуры [8, 9]. При изоляции же мочевого пузыря нет факторов, содействующих возникновению контрактуры. Возможно, в связи с этим и проявляется автономная спонтанная активность.

Таблица 2

**Показатели спонтанных потенциалов действия при
изоляции областей**

Зоны регистрации	Амплитуда, МкВ	Частота, мин ⁻¹	Количество животных, n
б	217.65±17.84 ***	5.93±0.65	11
в	61.92±5.77 **	19.72±1.48	11

Примечание. Зоны регистрации соответствуют областям, представленным на рис. 1. **p<0.01, ***p<0.001, достоверные различия показателей активности областей “б” и “в” по отношению к соответствующим им нормам.

Таким образом, в изолированных областях крайних отделов мочеточника и в мочевом пузыре наблюдается возникновение разных типов пейс-мекерных потенциалов, полностью отличающихся от таковых при нормальных условиях.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА

К. В. Казарян, Л. Г. Симонян, Р. Г. Чибухчян

**Автономность спонтанной электрической активности в
изолированных конечных областях мочеточника
и в мочевом пузыре**

Проводилась одновременная регистрация спонтанной электрической активности из конечных областей мочеточника, а также из проксимального отдела мочевого пузыря. В норме активность дистальной зоны мочеточника представляет собой распространяющиеся из околопочечного отдела потенциалы действия с увеличенной амплитудой. Из мочевого пузыря в этих условиях регистрировался другой тип спонтанной активности с присущей ей ритмикой. Изоляция исследуемых отделов мочеточника друг от друга и от мочевого пузыря приводила к возникновению в околопузырной области другого типа спайковой активности, отличной от таковой в норме. Изоляция мочевого пузыря от мочеточника влияла на характер исходной активности. При этом возрастала амплитуда и частота данной активности. Полученные результаты свидетельствуют о наличии разных типов автономной спонтанной активности в крайних зонах мочеточника и в мочевом пузыре.

Ք. Վ. Ղազարյան, Լ. Գ. Միմոնյան, Ռ. Գ. Չիբուխչյան

**Միզուղու մեկուսացրած ծայրային հատվածների և միզապարկի ինքնաբերական
էլեկտրական ակտիվության ինքնավարությունը**

Միզապարկի հարակից և միզածորանի ծայրային հատվածներից իրականացվել է ինքնաբերական էլեկտրական ակտիվության միաժամանակյա գրանցում: Նորմայում միզածորանի հեռադիր հատվածի ակտիվությունը հարերիկամային բաժնից տարածվող ավելի մեծ ամպլիտուդայով գործողության պոտենցիալներ են: Այդ պայմաններում միզապարկից գրանցվել է իրեն հատուկ ռիթմով ինքնաբերական ակտիվության այլ տեսակ: Միզածորանի ուսումնասիրվող հատվածների մեկուսացումը միմյանցից և միզապարկից բերում է հարմիզապարկային շրջանում այլ տեսակի ինքնաբերական ակտիվության առաջացման, որը տարբերվում է իր նորմայից: Միզապարկի մեկուսացումը միզածորանից ազդում է նախնական ակտիվության բնույթի վրա: Դրա հետ մեկտեղ մեծանում են տվյալ ակտիվության ամպլիտուդան և հաճախականությունը: Ստացված արդյունքները վկայում են միզապարկի և միզածորանի ծայրային հատվածներում տարբեր տեսակի ինքնավար ինքնաբերական ակտիվությունների գոյության մասին:

K. V. Kazaryan, L. G. Simonyan, R. G. Chibukhchyan

**Autonomy of Spontaneous Electrical Activity in Isolated Areas
of Bladder Extreme Zones and Ureter**

Simultaneous recording of spontaneous electrical activity of ureter edging zones and proximal part of the bladder was conducted. In norm, the activity of ureter distal part is the action potentials propagating from the perirenal zone with increased amplitude. From the bladder in these conditions another type of spontaneous activity with an inherent rhythm has been registered. The isolation of studied part of the ureter from each other and from the bladder led to the appearance in peribladder zone of different type of spike activity which varied from the norm. The isolation of ureter from the bladder had an influence on the nature of the initial activity. Thus the amplitude and frequency of the activity increased. The obtained results indicate the presence of different types of autonomous spontaneous activity in the extreme zones of the ureter and the bladder.

Литература

1. Santicoli P., Magg C.A. - Pharmacological Rev. 1998. V. 50 (4). P. 683-721.
2. Osman F. et al. - Acta Physiologica Hungarica. 2009. V. 96 (4). P. 407-426.
3. Klemm M. F. et al. - J. Physiol. 1999. V. 519. P. 867-884.
4. Lang R. I. et al. - J. Physiol. 2006. V. 576 (Pt. 3). P. 695-705.
5. Andersson K-E., Arner A. - Physiol. Rev. 2004. V. 84 (3). P. 935-986.
6. Hashitani H. et al. - J. Physiol. 2001. V. 530 (2). P. 273-286.
7. Moore K., Agur A. In: Essential clinical anatomy. Third Edition, Lippincott Williams and Wilkins. 2007. P. 227-228.
8. Kazaryan K.V. et al. - Russian J of Physiol. 2011. V. 97 (12). P. 1319-1326.
9. Iselin C. E. et al. - J. Urol. 1996. V. 155. P. 763-767.
10. Drake M. J. et al. - Experimental physiol. 2003. V. 88. P. 19-30.
11. Garfield P. E. et al. - Dev. Biol. 2007. V. 18 (3). P. 289-295.

Սեմից - Աբրահամ, Քամից - Նինուաս, Հաբեթից - Արամ, թեև 10-րդ Արամին ժամանակով և բովանդակապես համընկնում է 9-րդ Նինուսը, որովհետև, ինչպես ասվում է, նրանց տարիներն անորոշ են):

Ահա այս ցանկերին հաջորդում են Խորենացու աղբյուրաբանական ճշգրտումները, որոնց համաձայն՝ Սեմի թոռ Կայնանին և Հաբեթի թոռ Թիրասին հիշում են բոլոր ժամանակագիրները, Մեծրայիմին՝ որպես Քամի թոռի, չի հիշում ոչ մի ժամանակագիր, թեպետ Ս. Գիրքն էլ վերջին երկուսին տարբեր տեղեր է դնում: Իսկ ահա երեքին էլ իբրև թոռներ է կարգում մի ասորի ժամանակագիր: Ինչպես գրում է Խորենացին. «Այլ այսպես զսա կարգեալ գտաք ի յուշմագունէ և ընթերցասիրէ ումեմնէ Ասորոյ, և հաւատարիմ թուեցաւ մեզ ասացեալն» (I. Ե):

Ուշիմ ասորին ոչ թե Մար Աբաս Կատինան է, ինչպես թվացել է ոմանց, այլ Անդրեաս ժամանակագիրը: Այս նույնացումը նկատել է նաև Ռ. Վարդանյանը՝ որոշելով, որ Անդրեասի գործը հայերեն է թարգմանվել 429-35 թթ. միջև ([2], էջ 82):

Այնուհետև հերթը հասնում է առանձին ազգերի նահապետներին Նոյի ծոռներից բխեցնելուն, որ Խորենացին «դժվարահավաք և տաժանելի» աշխատանք է համարում, «առաւել ևս գիւտ նախարարականաց ազգաց ծննդոց յելից որդւոցն Նոյի» (I. Ե): Բայց պատմահայրը կարողանում է այդ գործն էլ անել և զարմանքի մատնել ընթերցողին: Ինչպես դիպուկ մեկնաբանել է Ստ. Մալխասյանը, Խորենացուն հաջողվել է, թեկուզ Ս. Գրքից շեղվելու միջոցով, Հայկին ու Բելին ժամանակով իրար մոտեցնել՝ դարձնելով համապատասխանաբար 5-րդը և 4-րդը իրենց ցանկերում, ապա և Նինուսին ու Արամին ժամանակակից դարձնել, որպեսզի հետագա պատմությանը բովանդակապես չհակասեն ([1], էջ 461-462): Ահա, Բել - Հայկ և Նինուս - Արամ ժամանակային զուգադրումները Խորենացին աներկբայելի է համարում, որովհետև այդ մասին պատմում է «ի յոլով իրս հաւատարիմն Աբիւղենոս» (I. Ե): Ու բերում է Նինուսից Բել՝ քաղդեական, ու Արամից Հայկ՝ հայկական յոթնանուն (Արային չհաշված) ցանկերը՝ Հայկի դիմաց բացատրելով, «որ եղև հակառակ Բելայ» և այդ ամենը վերագրելով վստահելի Աբյուղենոսին. «Եւ զայս մեզ Աբիւղենոս յիւրում առաջնում առանձնականի իմն մանր ազգաբանութեան ասէ, զոր աստ ուրեմն յետոյ ոմանք բարձին» (I. Ե): Պարզվում է, որ այդ մասին Աբյուղենոսը գրել է առանձին մանր ազգաբանական պատմության մեջ, որը ոմանք վերացրել են, և մեզ չի հասել: Եվ որպեսզի հիշատակված աղբյուրի հանկարծակի չքանալը կասկածելի չթվա ընթերցողին, վկայակոչում է մի այլ հույն պատմիչ Կեփալիոնին: Վերջինիս համաձայն՝ նման բան հնարավոր է, որովհետև ինքն էլ իր աշխատության սկզբում սկսել էր բոլոր մանր ազգաբանությունները գրի առնել արքունի դիվաններից, բայց թագավորական հրաման է ստացել, որ թողնի աննշան և վատ

մարդկանց հիշատակը և նշի միայն քաջ, իմաստուն և աշխարհակալ նախնիներին:

Ճիշտ է, Կեփալիոնի վկայակոչումը փոքր-ինչ անուղղակի է (հմմտ. [3], էջ 61, 65), բայց Խորենացին կարող էր դա իր նպատակին ծառայեցնել, մանավանդ, որ չէր կարող տեսած լինել Աբյուղենոսի կորած երկը: Ինչ խոսք, որնիցե կեղծ տեղեկություն կարելի է ամրացնել մի այլ հավաստի և վավերական դատողությամբ՝ համաձայն անտիկ պատմագրական ավանդույթի, և դա խորթ չէ նաև Խորենացուն: Ընդունված էր նաև կեղծիքը մի այլ կեղծ վկայությամբ վավերացնել, բայց այն դեպքում, երբ վավերական հիմնավորում չկար, ինչպես որ կարիք չկար վավերական տեղեկությունը մի այլ կեղծով ամրացնելու: Համենայնդեպս, որտեղի՞ց Խորենացուն Աբյուղենոսի վարկածը, եթե ոչ իր անմիջական ազգաբանական աղբյուրից՝ Մարաբ Մծուրնացու Պատմությունից ([3], Աբյուղենոսի մասին՝ էջ 53-58): Չէ՞ որ Մարաբն աշխատում է նույն մեթոդով, ինչով Բերոսոսը, Բազմավեպը, Աբյուղենոսը և մյուս իմաստասեր «ազգաբանները»: Ինչպես սրանք են քաղդեերենից հունարենի թարգմանել քաղդեական ազգաբանական պատմությունները (Եվսեբիոսը Աբյուղենոսի երկը բնորոշում է իբրև քաղդեացիների պատմություն) և ավելացրել իրենց հայտնի ազգերի նահապետներին, այնպես էլ Մարաբն է եղած աղբյուրներին ավելացրել հայոց ազգաբանությունը: Ուսյալ հայերը, մինչև Ս. Գրքի համամարդկային կառույցում իրենց տեղը գտնելը, պետք է տեղավորվեին եղած ավելի հին համակարգում: Դա ջրհեղեղյան և աշտարակաշինական առասպելաբանությունն էր, որի զարգացման և տարածման կենտրոնը Բաբելոնն էր: Դրա համար էլ համամարդկային սերնդաբանական և ազգաբանական ցանկերը բաբելոնյան ծագում ունեն: Ազգաբանության ժանրը Բաբելոնից աստիճանաբար սփռվեց ամենուր և հատկապես ծաղկում ապրեց մակեդոնյան գլոբալիզմի՝ հելլենիզմի դարաշրջանում՝ ծնելով նորանոր տեղային տարբերակներ ու հավելվածներ: Ազգաբանությունը բարերար գաղափարախոսություն դարձավ նաև միջազգային առևտրի համար և շատ շուտով գրքերի տեսքով տեղ գրավեց մանր ու մեծ թագավորական գրադարաններում: Խորենացին ճիշտ է ընկալել Մարաբի ազգաբանական պատմության էությունը, երբ նրան տեղափոխել է մ.թ.ա. II դ. և գործուղել Նինվեի երևակայական արխիվ՝ օգտվելու միջագետքյան մատյաններից, որոնք իբր թարգմանված և ի մի էին բերված մի հունարեն գրքում, և որի պատվիրատուն էր Ալեքսանդր Մեծը: Ամեն ինչ հորինված է դարաշրջանի խորհրդանիշների լեզվով, բացի այն, որ Մարաբը ևս մի Բերոսոսի կամ Աբյուղենոսի նման ուսյալ իմաստասեր է: Մակայն, ի տարբերություն իր հեղինակավոր հույն նախորդների, ինչպես նաև իր ավագ ժամանակակից Աբյուղենոսի, Մարաբը չի անտեսում մանր ազգաբանությունը

և կարևորում է՝ հնչեցնելով մի խոսք, որ տրամաբանորեն ու հոգեբանորեն կարող էր ասել միմիայն առաջինը «ազգաբանողը» և պատմություն գրանցողը. «Զի թեպետ և եմք ածու փոքր, և թուով յոյժ ընդ փոքու սահմանեալ, և զօրութեամբ տկար, և ընդ այլով յոյժ անգամ նուաճեալ թագաւորութեամբ, սակայն բազում գործք արութեան գտանին գործեալ և ի մերում աշխարհիս, և արժանի գրոյ յիշատակի, զոր և ոչ մի ոք ի նոցանէ պէտ յանձին կալաւ մատենագրել» (I. 3): Եվ իրոք, Խորենացին իր երկում պետք է Մարաբ Մծուրնացուն ասպարեզ տար մինչև նրա անունը տալը: Աբյուղենոսի օրինակով երբ Մարաբը կազմում էր իր ազգաբանական անվանացանկը, առաջին հերթին պետք է ջանար, որ զուսանական բանավոր վեպում հակամարտող Հայկն ու Բելը, ապա և Արամն ու Նինոսը (Արայի հետ առնչությամբ թելադրված) հայտնվեն ցուցակների համապատասխան զուգահեռ դիրքերում: Եթե Բելը Նինոսից (10-րդ) վեր գրավում է 7-րդ տեղը, նշանակում է նա Քամից հետո 4-րդն է, ինչն էլ նշանակում է իր հերթին, որ Աբյուղենոսն է անուղղակիորեն հուշում Հայկին համարելու գոնե Հաբեթից հետո 5-րդ սերունդ, որպեսզի դառնան իրար ժամանակակից: Այս պարագայում ենթադրվում է, որ Մարաբը հղեր Աբյուղենոսին՝ որպես հավաստի աղբյուրի, և թվարկեր հայոց յոթնանուն ցանկը: Իսկ սա էլ բավական է, որ նույն «պատմագրական» դպրոցի հետևորդ Խորենացին Աբյուղենոսին վերագրի նաև հայկական ցանկը կամ Աբյուղենոսին ընկալի իբրև քաղղեականի հետ միասին նաև հայկական ազգաբանական շարքի հեղինակի: Բայց տեսնելով, որ քաղղեական ցանկը հետագայում հասել է Եվսեբիոսին, իսկ հայկականի հետքն անգամ չկա, Խորենացին հարկադրաբար հորինել է ճշմարտանման պատճառ մանր ազգաբանությունների կորստյան համար՝ վկայակոչելով վավերական Կեփալիոնին²:

Բայց հետևենք Խորենացու շարադրանքին, թե ինչպես է համադրում անտիկ և սուրբգրային ավանդույթները Նոյ-Քսիսութբեսի որդիների մասին: Հասկանալի է, որ անտիկ հեթանոսական ավանդույթից բխում է Մարաբը, իսկ մյուսից՝ Խորենացին:

Առաջինը հիշատակում է Բերոսյան Սիբիլային, ինչպես քիչ հետո կհամոզվենք, Մարաբի միջնորդությամբ նրան սիրելի և արդարախոս անվանելով. «Յառաջ քան զբուրգն, ասէ, և զբազմաբարբառն լինել ձայնի ազգի մարդկան, և զկնի նաւարկութեանն Քսիսութբեսայ ի Հայս՝

²Այս հարցի շուրջ եղած բանասիրական վեճերը՝ հայտնի տեսակետների համոզիչ հերքումով և սեփական կարծիքի պնդումով, տե՛ս Արամ Թովչյանի աշխատության մեջ ([3], էջ 55-63): Ա. Թովչյանի տեսակետը կամրանա, եթե նա ընդունի, որ օտար աղբյուրներն իրենց ցանկերում հայերին հիշատակում են հայազգի էպոնիմ-նահապետի մակարդակով և ոչ ավելին:

Զրուանն և Տիտանն և Յապետոսթէ լինէին իշխանք երկրի» (I. 6): Եվ անմիջապէս շարունակում է՝ հաշտեցնելով այն սուրբգրային ավանդույթի հետ. «Որ ինձ թուին Սեմ, Քամ և Յաբեթ» (I. 6):

Արդէն բազմիցս բանասերները նշել են, որ Յապետոսթէ անվան մեջ ներառվել է նաև հունարենի շաղկապը (Ζε), որ դրվում է թվարկվող անուններից մեկից հետո՝ մի տեսակ սաստկացնելով բառից առաջ դրվող καί շաղկապը (հմմտ. [1], Ստ. Մալխասյանի ծնթգր., էջ 462-463, [3], էջ 61): Յապետոսթէի դիմաց Խորենացին դրել է սուրբգրային ձևը՝ Յաբեթ, որով անուղղակի ցույց է տվել, որ ինքն ուշադրություն է դարձրել նշված անվանը, ուստի և անձնանունն աղավաղել է նա, ով հունարեն ձեռագրից օգտվել է առանց բառանջատումի, քանի որ Շէ շաղկապն ընկալվել է իբրև բառի վերջնամաս: Միաժամանակ երևում է, որ այդ սխալ ընթերցման հեղինակը ոչ միայն հունագետ Խորենացին, այլև Մարաբ Մծուրնացին էլ չի կարող լինել, որովհետև նա գրել է հունարեն՝ քաղելով Բերոսյան Սիբիլայից: Ուրեմն Յապետոս անվան կեղծ տարբերակը ծնվել է հայերեն թարգմանչի ձեռքով, և թարգմանիչն էլ հունարեն սխալ ընթերցելով «Յապետոստէ», այն նախ ընկալել է իբրև ամբողջական մեկ անուն, ապա տառադարձել է յուրովի՝ Յապետոսթէ, գուցե սուրբգրային «Յաբեթ»-ը մտքում կրկնելու, գուցե իր բարբառի կամ այլ անհայտ պատճառով: Ինչևէ, Խորենացին նույնությամբ պահպանում է թարգմանչի տարբերակը, թեկուզ նրան անձանոթ չէր լինի հունական տիտաններից մեկի անունը՝ Յապետոս: Նշանակում է՝ Մարաբի երկը V դ. թարգմանվել է հայերեն: Կփորձենք ճշտել՝ անցնելով առաջ:

Քիչ հետո, երբ Զրվանը բռնանալով տիրում է երկու եղբայրների վրա, Խորենացին մեջ է բերում Մարաբի խոսքը՝ քաղված Սիբիլայից. «...ընդդիմացան նմա Տիտանն և Յապետոսթէ, ի մարտ պատերազմի ընդ նմա զոգոելով» (I. 6): Կովին միջամտում է նրանց քույր Աստղիկը, և պայման են կապում, որ թագավորող Զրվանի զավակներին այդուհետ ոչ թե սպանեն, ինչպես նախորդ երկուսին, այլ հեռացնեն արևմտյան Օլիմպոս լեռը, որ կոչում էին Դիւցընկէց:

Այստեղ առկա է թարգմանչի II հետքը՝ Աստղիկ և Դիւցընկէց: Խորենացին, իհարկե, Աստղիկ դիցուհու անունը կարող էր ինքն էլ թարգմանել, բայց երևի դա կարտահայտվեր ոճի մեջ՝ ասելով միայն հունարեն կամ նախ հունարեն ձևով: Օլիմպոսի դեպքում նախ պետք է ասել, որ այդ բառի արմատից կարող է արտածվել «ընկեցիկ» իմաստը, բայց այստեղ այն թարգմանված է վիպական ստուգաբանության համաձայն(դից + ընկեցիկ): Զգացվում է, որ բնագիրը թարգմանված վիճակում է հայտնվել Խորենացու ձեռքի տակ, որին էլ հաջորդել է Խորենացու հավելումը. «Արդ, զայսոսիկ այլ ոք թեպէտ առասպելս, թեպէտ ճշմարտութիւն հաշուեալ համարեսցի, բայց որպէս ես հաւանեալ եմ,

բազում ինչ ճշմարիտ է»(I. 6): Եթե Խորենացին Զրվանի զավակներին լեռան վրա ձգելու մոտիվը դարձնեն Օլիմպոս-ի հայերեն թարգմանության հիմք՝ Դյուցընկեց, ապա իր ասածի մասին չէր ասի, թե անկախ ուրիշների կարծիքից, սրանք շատ մասով ճշմարիտ են: Այս գնահատականը նա տալիս է մի տեսակ չեզոք դիրքից՝ որպես երրորդ կողմ: Եվ ի հաստատումն իր կարծիքի՝ վկայակոչում է Եպիփան Կիպրացու «Հերձուածոց յանդիմանութիւն» երկը:

Այնուհետև Խորենացին ներկայացնում է Միմ (=Զրվան) նախահոր տեղական-բանահյուսական արձագանքները Միմ, Տարոն, Յրօնք և Զարեվանդ տեղանունների ժողովրդական ստուգաբանության մեջ: Այդ հատվածի սկսվածքի և վերջվածքի ձևակերպման մեջ առկա է տոնայնության փոփոխումը («Բայց պարտ է մեզ զմանց անգիր հին գրոյցս, որ պատմեալ եղեն ...») կամ մի տեսակ սահմանային, եզրափակիչ ոճի կիրառումը («Եւ այսոքիկ գրոյցք սուտ և կամ թէ արդարև լեալ մեզ չէ ինչ փոյթ ...»): Վերջապես, կարևոր է նշել, որ Խորենացին այդ հատվածում հիշատակում է զուտ Տարոնաշխարհիկ ավանդապատումներ, որոնք լավ պիտի իմանար ինքը՝ որպես բնիկ տարոնցի: Դեռ ավելին, այդ ավանդապատումներից մեկը՝ Յրօնք, պարզապես անհնար կլիներ պատմել հունարեն, եթե չօգտագործվեր հատուկ նկարագրական-բացատրական պատմելաոճ, որովհետև այն պատկանում է, այսպես կոչված, «լեզվական» ավանդապատումի ժանրին:

Հաջորդիվ Խորենացին փոքր-ինչ նորից տարվում է հեթանոսական և սուրբգրային տեղեկությունների հաշտեցմամբ՝ այս անգամ արդեն 7-րդ գլխում, ապա անցնում է պարթև թագավորների հիշատակմանը, որտեղ առաջին անգամ հնչեցնում է իր անփոխարինելի աղբյուրի հեղինակի անունը՝ Մար Աբաս Կատինա (I.8), ով Հայոց Վաղարշակ թագավորի պատվիրակն է պարթևների Արշակ թագավորի մոտ՝ Նինվեի արքունական մատյաններից օգտվելու նպատակով: Խորենացու կողմից լիովին հորինված այս իրադրության մեջ Մարաբ Մծուրնացուն վիճակված է գտնել իր գլխավոր աղբյուրը՝ Ալեքսանդրի Մատյանը. «Որոյ սկիզբն լեալ, ասէ, զԶրուանն և զՏիտանն և զՅապետոսթէ»: Մարաբից մեջբերված առաջին նախադասությամբ իսկ պարզվում է, որ Յապետոսթէ անվանաձևը թարգմանիչը համարել է օրինաչափ, և որին արդեն Խորենացին չի արձագանքում: Պարզապես Կրոնոսի տեղը զրված է Զրուան, ինչը շատ բնորոշ է արևելյան երկրի ու նրա պատմիչ Մարաբի համար: Իսկ երբ Բաբելոնի աշտարակի փլուզումից մարդիկ և լեզուները խառնվել են իրար, աղմուկի մասնակիցներից մեկն էլ եղել է «Յապետոսթեանն Հայկ»: Այսինքն՝ հունարենի շաղկապը ոչ միայն դարձել է բառի վերջնամաս, այլև մասնակցում է բառի ածանցմանը, ինչը որևէ կասկած չի թողնում, որ այն չիմացության և ոչ թե անուշա-

դրության արդյունք է: Եվ մի՞թե սա չի նշանակում, թե թարգմանիչը շարունակում է կիրառել իր «գտած» անվանաձևը նաև անկախաբար՝ Հաբեթյանի փոխարեն: Այստեղ՝ այլ փաստեր չունենալու պարագայում, մեզ հավելյալ տեղեկություն է հաղորդում հենց այն «սխալը», որի նորովի կիրառումը դառնում է բավականին «ինֆորմատիվ»: Որովհետև, եթե մինչ այդ եղած կիրառությունները հնարավոր էին Մարաբի հունարեն նախադասություններում՝ որպես քերականորեն օրինաչափ երևույթ՝ աղավաղված թարգմանչի կողմից, ապա այս դեպքում կիրառված ձևը չի կարող ունենալ հունարեն նախաձև, հետևաբար այն հայերեն գրել է թարգմանիչը՝ Մարաբից անկախ, հավանաբար Մարաբի հունարեն «Յապետոսածին Հայկ» անվան դիմաց, ինչպես որ հունարեն «Տիտանածին Բելը» հայերեն դարձել է Տիտանեան Բել:

Շարունակելով Խորենացին գրում է. «Արդ, ի նոյն մատենէ սկսեալ ասացից. Յապետոսթէ, Մերոգ, Սիրաթ, Թակլադ», որին իսկույն հետևում է Խորենացու հավելումը. «Որ է Յաբեթ, Գումեր, Թիրաս, Թորգոմ» (I.9), ապա հետևում է Մարաբյան նախորդ թվարկման շարունակությունը՝ Խորենացու միջամտությամբ. «Յետ որոյ նոյն ժամանակագիր (Մարաբ Մծուրնացին - Ա. Ս.) յառաջ մատուցեալ ասէ. «Հայկ, Արամանեակ», - և նորից Խորենացու խոսքը, - «և զայլսն ի կարգի, զորոց յառաջագոյն ասացաք» (I.9): Այսինքն՝ հիշեցնում է առաջվա թվարկումը մինչև Արամ և Արա: Այս մեջբերման նորությունն այն է, որ Մարաբի անվանացանկում «Յապետոսթէ» ձևը հայտնվում է շարքի սկզբում՝ բացելով հայկական «ազգաբանական» ցուցակը և թվարկելով մինչև Արամանեակ, և հղում է կատարում առաջվա ասածին: Բսկ առաջվա ասածը, պարզվում է, Աբյուդենոսին վերագրվածն է (I. 5), ինչին արդեն կասկածեցինք Աբյուդենոսի հարցի քննարկման ժամանակ և վերագրեցինք Մարաբին:

Այժմ Թ գլխի վերջին տողը նորից վերընթերցենք. «Արդ, ի նոյն մատենէ (Մարաբի - Ա. Ս.) սկսեալ ասացից. Յապետոսթէ, Մերոգ, Սիրաթ, Թակլադ ... Յետ որոյ նոյն ժամանակագիր (Մարաբը - Ա. Ս.) յառաջ մատուցեալ ասէ. Հայկ, Արամանեակ, և զայլսն ի կարգի, զորոց յառաջագոյն ասացաք» (I.Թ): Սա նշանակում է, որ առաջվա ասածը նույնպես Մարաբից էր քաղված, բայց Խորենացու կողմից վերագրված էր Մարաբի համար օրինակ ծառայած Աբյուդենոսին:

Այսքանից հետո, կասկածամիտ լինելով անգամ, պետք է ընդունել, որ Մարաբի խոսքը Խորենացին է վերագրել Աբյուդենոսին, և որ մ.թ. 2-րդ դ. պատմիչ հայ Մարաբ Մծուրնացու հունարեն Պատմությունը թարգմանված է եղել հայերեն 5-րդ դարում անհայտ թարգմանչի կողմից:

Մատենադարան

Ա. Ա. Սահակյան

Մարաբ Մծուրնացին Աբյուդենոսի և Խորենացու միջնորդ

Մովսես Խորենացին Մարաբի Պատմության հայոց ազգաբանական ցանկի աղբյուր է համարում II դ. պատմիչ հույն Աբյուդենոսին՝ հակասելով ինքն իրեն, որովհետև, ըստ նրա, Մարաբն ապրել է մ.թ.ա. III-II դդ.: Բնագրագիտական վերլուծությունը ցույց է տալիս, որ Մարաբ Մծուրնացին հայոց ազգաբանական ցանկը կազմել է ոչ թե Աբյուդենոսից օգտվելով, այլ նրա օրինակով՝ ըստ համամարդկային ազգաբանական ցանկի, որում հայկական ճյուղը բացակայում էր: Պարզվում է, որ ոչ թե Մարաբն է եղել միջնորդ Աբյուդենոսի և Խորենացու, այլ Մարաբի «Պատմության» հայերեն թարգմանիչն է եղել միջնորդ Մարաբի և Խորենացու:

А. А. Саакян

**Мараб Мцурнаци: посредник между
Абиденосом и Хоренаци?**

Мовсес Хоренаци считает, что источником генеалогического списка армянских патриархов (Гайк, Арам и др.) в «Истории» Мараба Мцурнаци является греческий историограф II в. Абиденос. Однако он противоречит самому себе, поскольку по его свидетельству Мараб жил в III – II вв. до н.э. Текстологический анализ показывает, что Мараб составил свой список не на основе Абиденоса, а по его образцу, основываясь на другом, общечеловеческом генеалогическом списке, в котором отсутствовала армянская ветвь. Выясняется, что Мараб не был посредником между Абиденосом и Хоренаци, но был другой посредник, между Марабом и Хоренаци – неизвестный переводчик V в. «Истории» Мараба на армянский.

A. A. Sahakyan

**Marab Mtsurnatsi: An Intermediary between
Abydenus and Khorenatsi?**

Movses Khorenatsi considers Abydenus, the Greek historiographer of the 2nd century, to be the source for the genealogical list of Armenian ancestors (Hayk, Aram, etc.) in the «History» by Marab Mtsurnatsi. However Khorenatsi contradicts himself, as according to him Marab lived in the 3rd – 2nd centuries BC. The textological analysis reveals that Marab made his list not on the base of Abydenus, but followed him using common to mankind some other genealogical list, in which there was no Armenian branch. It becomes clear that Marab was not an intermediary between Abydenus and Khorenatsi. But there was another intermediary, between Marab and Khorenatsi, the unknown translator of the 5th century who realized the Armenian translation of Marab's «History».

Գրականություն

1. *Մովսես Խորենացի*, Հայոց Պատմություն, աշխարհաբար թարգմ. և մեկնաբանությունները Ստ. Մալխասյանի, Եր., 1981, 588 էջ:
2. *Վարդանյան Ռ.*, Հայոց Տոնացույցը, Եր., 1999, 647 էջ:
3. *Թովիչյան Ա.*, Մովսես Խորենացու հունական աղբյուրների խնդիրը, Եր., 2001, 195 էջ: