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

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

2014

Ереван 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. ԶԱՔԱՐՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս է. Գ. ԱՖՐԻԿՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱԳԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Գ. Ա. ԲՐՈՒՏՅԱՆ, ակադեմիկոս Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ակադեմիկոս Ս. Ա. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս է. Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ, ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒՔՈՒՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Դ. Մ. ՍԵԴՐԱԿՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ (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)56-80-67URL:http://elib.sci.ame-mail: rnas@sci.am

©НАН РА. Президиум. 2014
©Издательство "Гитутюн" НАН РА. 2014

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ս. Ա. Նիգիյան – Արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիաներ: Հաշվարկելիություն և λ-որոշելիություն 7

Ս. Հ. Անիսոնյան – Ավագ կարգի ածանցյալների նկատմամբ չլուծվող սովորական դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգերի հետազոտություն 14

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ռ. Կ. Ալեքսանյան, Վ. Հ. Երոյան – Գլանային անիզոտրոպիա ունեցող նյութից պրիզմատիկ ձողի ոլորման մասին 18

Դ. Կ. Գասպարյան, Կ. Բ. Ղազարյան – Կապակցված ալիքները էլեկտրա-մագնիսա-առաձգական պիեզոակտիվ միջավայրում 25

ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱ

Ա. Կ. Մաթևոսյան – Երկրաէլեկտրական միջավայրի էլեկտրաքիմիական լիցքավորման չափորոշիչը 33

ԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱ

Ս. Վ. Գրիգորյան, Ռ. Ա. Փաշայան, Լ. Վ. Հարությունյան – Կենտրոնական Հայաստանի հանքային ջրերի հիդրոերկրաքիմիական պարամետրերի փոխկապվածությունը սեյսմիկության հետ 44

ԿԵՆՍԱՔԻՄԻԱ

Մ. Ա. Դավթյան, Ն. Ն. Հայրապետյան, Մ. Հ. Խաչատրյան, Ա. Պ. Գրիգորյան – Գուանին-դեզամինազան և գուանոզինդեզամինազան տարբեր կենսաբանական օբյեկտներում..... 51

Պ. Ա. Ղազարյան, Գ. Մ. Գալոյան – Տրանսպորտային ԱԵՖազային ակտիվության ուսումնասիրությունը էրիթրոցիտների և հեպատոցիտների թաղանթներում սարկոմա-45-ի ժամանակ և ցիան խումբ պարունակող լակտոնների նոր ածանցյալի օգտագործումից հետո 58

ԲՆԱՊԱՀՊԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Գ. Ս. Երիցյան – Շահագործման լեռնային պայմաններում դողերի գլորման դիմադրության ուժի փոփոխությունը և նրա ազդեցությունը ավտոմոբիլի էկոլոգիականության վրա 64

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Ք. Վ. Ղազարյան, Ն. Գ. Հունանյան, Ա. Վ. Մկրտչյան – Ոչ հղի առնետների արգանդի փողերի ծայրամասային շրջանների պեյսմեկերային ակտիվությունների փոխազդեցությունը 69

ԲԱՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ա. Սահակյան – Մ. թ. II դ. պատմիչ Մարաբ Մծուրնացու աշխարհընկալման և աղբյուրաբանականմեթոդի մասին. 76

С О Д Е Р Ж А Н И Е

МАТЕМАТИКА

С. А. Нигиян – Арифметические функции с неопределенными значениями аргументов. Вычислимость и λ-определимость……. 7

С. А. Анисонян – Исследование систем обыкновенных дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно высших производных..... 14

МЕХАНИКА

Р. К. Алексанян, В. А. Едоян – О кручении призматического стержня из материала с цилиндрической анизотропией …….. 18

Д. К. Гаспарян, К. Б. Казарян – Связанные волны в электро-магнито-упругой пьезоактивной среде …….. 25

ГЕОФИЗИКА

А. К. Матевосян – Критерий электрохимической заряженности геоэлектрической среды ……. 33

ГЕОХИМИЯ

С. В. Григорян, Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян – Взаимосвязь гидрогеохимических параметров минеральных вод Центральной Армении с сейсмичностью 44

БИОХИМИЯ

М. А. Давтян, Н. Н. Айрапетян, М. А. Хачатрян, А. П. Григорян – Гуаниндезаминаза и гуанозиндезаминаза в различных биологических объектах 51

П. А. Казарян, Г. М. Галоян – Изучение транспортных АТФазных систем плазматических мембран эритроцитов и гепатоцитов при саркоме-45 и после применения нового производного циансодержащих лактонов …… 58

ЭКОЛОГИЯ

Г. С. Ерицян – Изменение силы сопротивления качению шин в горных условиях эксплуатации и его влияние на экологичность автомобиля …..... 64

ФИЗИОЛОГИЯ

К. В. Казарян, Н. Г. Унанян, А. В. Мкртчян – Взаимодействие пейсмекерных активностей крайних отделов маточных труб у небеременных крыс …….. 69

ФИЛОЛОГИЯ

А. А. Саакян - О мировосприятии и источниковедческом методе историографа II в. н. э. Мараба Мцурнаци …..... 76

C O N T E N T S

MATHEMATIC

S. A. Nigiyan – Arithmetical Functions with Indeterminate Values of Arguments. Computability and λ-definability 7

S. H. Anisonyan – About Systems of Ordinary Differential Equations, Not Resolvable with the Respect to the Highest Derivatives 14

MECHANICS

R. K. Aleksanyan, V. H. Edoyan – On Torsion of a Prismatic Rod Made of a Material with the Cylindrical Anisotropy 18

D. K. Gasparyan, K. B. Ghazaryan – Coupled Waves in Piezoactive Electro-Magneto-Elastic Medium 25

GEOPHYSICS

A. K. Matevosyan – Criterion of the Electrochemical Charging of Geoelectrical Medium 33

GEOCHEMISTRY

S. V. Grigoryan, R. A. Pashayan, L.V. Harutyunyan – The Interconnection of Hydrogeochemical Parametres of Mineral Water of Central Armenia with Seismicity 44

BIOCHEMISTRY

M. A. Davtyan, N. N. Hayrapetyan, M. H. Khachatryan, A. P. Grigoryan – Guanindeaminase and Guanosindeaminase in Different Biological Objects 51

P. A. Ghazaryan, G. M. Galoyan – The Study of Transport ATPase Activity of Membranes of Erythrocytes and Hepatocytes in Sarcoma-45 and after Application Cyan Containing New Derivative of Lactones 58

ECOLOGY

G. S. Yeritsyan – Change of Resistance Force to Rolling of Tires in Mountain Conditions of Exploitation and its Influence on Vehicle Ecological Compatibility 64

PHYSIOLOGY

K. V. Kazaryan, N. G. Hunanyan, A. V. Mkrtchyan – The Interaction between Pacemaker Activities of the Terminal Horn Areas in Non-Pregnant Rats 69

PHILOLOGY

A. A. Sahakyan – On the World-Perception and Source Study Method of the Historiographer Marab Mtsurnatsi (2^{nd} century AD)..... 76

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

МАТЕМАТИКА

УДК 519.68:510

С. А. Нигиян

Арифметические функции с неопределенными значениями аргументов. Вычислимость и λ-определимость

(Представлено чл.-кор. НАН РА И. Д. Заславским 5/IX 2013)

Ключевые слова: *арифметическая функция, неопределенное значение аргумента, вычислимость, λ-определимость.*

Рассматриваются арифметические функции с неопределенными значениями аргументов. Эти функции определены на частично-упорядоченном множестве $M=N\cup\{\perp\}$, где N – множество натуральных чисел, $\perp$ – элемент, соответствующий неопределенному значению. Каждый элемент множества M сравним только с самим собой и с элементом $\perp$, который является наименьшим элементом множества M. Понятие монотонной функции определяется традиционным образом. Функция называется естественно расширенной, если при неопределенном значении какого-либо из аргументов ее значение равно $\perp$. Всякая естественно расширенная функция монотонна. Далее для арифметических функций с неопределенными значениями аргументов вводятся понятия: вычислимости, сильной вычислимости, λ-определимости. Доказывается, что всякая λ-определимая арифметическая функция с неопределенными значениями аргументов монотонна и вычислима. Определяется класс частично рекурсивных функций с неопределенными значениями аргументов. Такие функции будут естественно расширенными. Доказывается λ-определимость частично рекурсивных функций с неопределенными значениями аргументов. Доказывается существование монотонных, не естественно расширенных, сильно вычислимых арифметических функций с неопределенными значениями аргументов, которые не λ-определимы. Доказывается также существование монотонных, не естественно расширенных, сильно вычислимых арифметических функций с неопределенными значениями аргументов, которые λ-определимы.

1. Арифметические функции с неопределенными значениями аргументов. Пусть $M=N\cup\{\perp\}$, где $N=\{0,1,2,...\}$ – множество натуральных чисел, $\perp$ – элемент, соответствующий неопределенному значению. Введем на множестве M частичный порядок $\subseteq$. Для всякого $m\in M$ имеем: $\perp\subseteq m$ и $m\subseteq m$. Всякое отображение $\varphi:M^k\to M$, $k\geq 1$, назовем арифметической функцией с неопределенными значениями аргументов.

Функцию φ назовем вычислимой, если существует алгоритм [1], который для всяких $m_1,\ldots,m_k \in M$ останавливается со значением $\varphi(m_1,\ldots,m_k)$, если $\varphi(m_1,\ldots,m_k) \neq \perp$ и функционирует бесконечно, если $\varphi(m_1,\ldots,m_k)=\perp$.

Функцию φ назовем сильно вычислимой, если сушествует алгоритм [1], который для всяких $m_1,\ldots,m_k \in M$ останавливается со значением $\varphi(m_1, \ldots, m_k)$.

Функцию φ назовем монотонной, если для всяких $(m_1,\ldots,m_k)$ и $(\mu_1, \ldots, \mu_k)$, где $m_i \subseteq \mu_i$, $m_i, \mu_i, \in M$, $i=1,\ldots,k$, имеем: $\varphi(m_1,\ldots,m_k) \subseteq \varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)$.

Функцию φ назовем естестественно расширенной, если $\varphi(\ldots,\perp,\ldots)=\perp$. Легко видеть, что всякая естественно расширенная функция монотонна.

Определим индуктивно класс частично-рекурсивных функций с неопределенными значениями аргументов, которые будут естественно расширенными функциями.

1. Следующие базисные функции: o, s, $I_{k,i}$, $1 \le i \le k$, $k \ge 1$, являются частично рекурсивными функциями с неопределенными значениями аргументов. Для всяких m, $m_1,\ldots,m_k \in M$, имеем:

o(m) равно 0, если $m \in N$, и равно ⊥, если $m=\perp$,

s(m) равно m+1, если $m \in N$, и равно ⊥, если $m=\perp$,

$I_{k,i}(m_1,\ldots,m_k)$ равно m_i, если $m_1,\ldots,m_k \in N$, и равно ⊥ в противном случае.

2. Функция $\varphi: M^{\kappa} \to M$, $k \ge 1$, полученная из частично рекурсивных функций с неопределенными значениями аргументов либо посредством операции канонической подстановки, либо посредством операции примитивной рекурсии, либо посредством операции минимизации, будет частично рекурсивной функцией с неопределенными значениями аргументов. Операции канонической подстановки и минимизации определяются точно так же, как в классическом случае (для функций без неопределенных значений аргументов), (см. [1]), в схеме же примитивной рекурсии $\varphi(m_1,\ldots, m_{k-1},0)= =m \in M$ и добавляется равенство $\varphi(m_1,\ldots,m_{k-1},\perp)=\perp$, где $m_1,\ldots,m_{k-1} \in M$.

Легко видеть, что всякая частично рекурсивная функция с неопределенными значениями аргументов, полученная посредством применения только двух видов операций: канонической подстановки и примитивной рекурсии, будет сильно вычислимой.

2. λ-определимость арифметических функций с неопределенными значениями аргументов. Приведем необходимые определения и результаты, которые берутся из [2]. Зафиксируем счетное множество переменных V. Определим множество термов Λ:

1) если $x \in V$,то $x \in \Lambda$;

2) если $t_1, t_2 \in \Lambda$, то $(t_1 t_2) \in \Lambda$;

3) если $x \in V$ и $t \in \Lambda$, то $(\lambda x t) \in \Lambda$.

Введем сокращенную запись термов: терм $(\ldots (t_1 t_2)\ldots, t_k)$, где $t_i \in \Lambda$, $i=1,\ldots k$, $k>1$, условимся обозначать $t_1 t_2 \ldots t_k$; терм $(\lambda x_1(\lambda x_2(\ldots(\lambda x_n t)\ldots)$, где $x_j \in V$, $t \in \Lambda$, $j=1,\ldots,n$, $n>0$, условимся обозначать $\lambda x_1 x_2 \ldots x_n.t$.

Традиционным образом вводятся понятия свободного и связанного вхождения переменной в терм, понятие свободной и связанной переменной терма. Терм, не содержащий свободных переменных, назовем замкнутым.

Термы t_1 и t_2 назовем конгруэнтными (обозначим $t_1 \equiv t_2$), если один терм можно получить из другого переименованием связанных переменных. Далее мы не будем отличать конгруэнтные термы.

Подстановку терма τ в терм t вместо всех свободных вхождений переменной x (обозначим $t[x:=\tau]$) назовем допустимой, если ни одна свободная переменная терма τ не связывается в результате подстановки. Мы будем рассматривать только допустимые подстановки.

Напомним понятие β-редукции:

$$\beta = \{((\lambda x.t)\tau,\ t[x:=\tau]) \mid t,\tau \in \Lambda,\ x \in V\}.$$

Одношаговая β-редукция ($\to_\beta$), β-редукция ($\to\to_\beta$) и β-равенство ($=_\beta$) определяются обычным образом. Далее условимся отношение $\to_\beta$ обозначать $\to$, отношение $\to\to_\beta$ обозначать $\to\to$, отношение $=_\beta$ обозначать $=$, т. е. опуская символ β.

Напомним, что терм $(\lambda x.t)\tau$ называется β-редексом (далее просто редексом), а терм $t[x:=\tau]$ – его сверткой. Терм, не содержащий редексов, называется β-нормальной формой (далее просто нормальной формой). Множество всех нормальных форм условимся обозначать NF. Будем говорить, что терм t имеет нормальную форму, если существует такой терм $t' \in NF$, что $t=t'$. Терм вида $\lambda x_1 x_2 \ldots x_n . x t_1 t_2 \ldots t_k$, где $x, x_i \in V$, $t_j \in \Lambda$, $i=1,\ldots,n$, $n \geq 0$, $j=1,\ldots,k$, $k \geq 0$, называется головной нормальной формой. Множество всех головных нормальных форм условимся обозначать HNF. Будем говорить, что терм t имеет головную нормальную форму, если существует такой терм $t' \in HNF$, что $t=t'$. Известно, что $NF \subset HNF$, но $HNF \not\subset NF$.

Мы будем широко использовать следствие теоремы Черча–Россера (CR-теоремы), утверждающее, что для любого терма $t \in \Lambda$ имеет место следующее:

$$1)\ t=t',\ t' \in NF \ \Rightarrow\ t \to\to t',$$

$$2)\ t=t',\ t=t'',\ t',t'' \in NF \ \Rightarrow\ t' \equiv t''.$$

Напомним, что, если терм имеет нормальную форму, то она достижима посредством левой редукции (при левой редукции всякий раз сворачивается самый левый редекс).

Мы также будем использовать следующее утверждение: если терм t не имеет головной нормальной формы, то для любого терма τ терм $t\tau$ также не будет иметь головной нормальной формы.

Введем обозначения для некоторых термов, которыми будем пользоваться в дальнейшем:

$$I \equiv \lambda x.x,\ \ T \equiv \lambda xy.x,\ \ F \equiv \lambda xy.y,\ \ \Omega \equiv (\lambda x.xx)(\lambda x.xx),$$

$$\underline{\text{if}}\ t_1\ \underline{\text{then}}\ t_2\ \underline{\text{else}}\ t_3 \equiv t_1 t_2 t_3,\ \ \text{Zero} \equiv \lambda x.xT,$$

$$\langle \bot \rangle \equiv \Omega,\ \ \langle 0 \rangle \equiv I,\ \ \langle n+1 \rangle \equiv \lambda x.xF\langle n \rangle,\ \text{где } x,y \in V,\ \ t_1,t_2,t_3 \in \Lambda,\ \ n \in N.$$

Легко видеть, что: терм Ω не имеет головной нормальной формы, $\underline{\text{if}}\ T\ \underline{\text{then}}\ t_2\ \underline{\text{else}}\ t_3 = t_2$, $\underline{\text{if}}\ F\ \underline{\text{then}}\ t_2\ \underline{\text{else}}\ t_3 = t_3$, $\text{Zero}\langle 0 \rangle = T$, $\text{Zero}\langle n+1 \rangle = F$, $\text{Zero}\langle \bot \rangle$ не иммеет головной нормальной формы, терм $\langle n \rangle$ является замкнутой нормальной формой, причем, если $n_1 \neq n_2$, то термы $\langle n_1 \rangle$ и $\langle n_2 \rangle$ не конгруэнтны, $\langle n \rangle TII = I$, где $n, n_1, n_2 \in N$.

Введем понятие λ-определимости для арифметических функций с неопределенными значениями аргументов. Функцию $\varphi:M^k\to M$, $k\geq 1$, назовем λ-определимой, если существует терм $\Phi\in\Lambda$ такой, что для любых $m_1,\ldots,m_k\in M$ имеем:

$\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle = \langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle$, если $\varphi(m_1,\ldots,m_k)\neq\perp$ и

$\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle$ не имеет головной нормальной формы, если $\varphi(m_1,\ldots,m_k)=\perp$.

В этом случае будем говорить, что терм Φ λ-определяет функцию φ.

Теорема 1. *Всякая λ-определимая арифметическая функция с неопределенными значениями аргументов монотонна*.

Доказательство. Пусть $\varphi:M^k\to M$, $k\geq 1$, и терм Φ λ-определяет функцию φ. Пусть $(m_1,\ldots,m_k)\subseteq(\mu_1,\ldots,\mu_k)$, где $m_i,\mu_i,\in M$, $i=1,\ldots,k$, покажем, что $\varphi(m_1,\ldots,m_k)\subseteq\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)$. Если $\varphi(m_1,\ldots,m_k)=\perp$, то утверждение очевидно. Пусть $\varphi(m_1,\ldots,m_k)\neq\perp$, тогда $\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle=\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle$. Согласно пункту 1 следствия CR-теоремы имеем: $\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle\to\to\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle$. Заметим, что, если $m_i\subseteq\mu_i$ и $m_i\neq\mu_i$, то $m_i,=\perp$, $i=1,\ldots,k$, и, т. к. $\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle\in NF$, то $\Phi\langle\mu_1\rangle\ldots\langle\mu_k\rangle\to\to\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle$, и $\Phi\langle\mu_1\rangle\ldots\langle\mu_k\rangle=\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle$, т. е. $\Phi\langle\mu_1\rangle\ldots\langle\mu_k\rangle$ имеет нормальную форму. Следовательно $\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)\neq\perp$, $\Phi\langle\mu_1\rangle\ldots\langle\mu_k\rangle = =\langle\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)\rangle$ и $\langle\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)\rangle\in NF$. Согласно пункту 2 следствия CR-теоремы имеем: $\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle\equiv\langle\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)\rangle$, т. е. $\varphi(m_1,\ldots,m_k)=\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)$, откуда следует, что $\varphi(m_1,\ldots,m_k)\subseteq\varphi(\mu_1,\ldots,\mu_k)$.

Теорема 1 доказана.

Теорема 2. *Всякая λ-определимая арифметическая функция с неопределенными значениями аргументов вычислима.*

Доказательство. Пусть $\varphi:M^k\to M$, $k\geq 1$, и терм Φ λ-определяет функцию φ. Пусть $m_1,\ldots,m_k\in M$, приведем алгоритм вычисления функции φ на $m_1,\ldots,m_k$. Имея $m_1,\ldots,m_k$, построим терм $\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle$. Если $\varphi(m_1,\ldots,m_k)\neq\perp$, то $\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle$ имеет нормальную форму и согласно следствию CR-теоремы левая редукция терма $\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle$ заканчивается нормальной формой $\langle\varphi(m_1,\ldots,m_k)\rangle$, декодировав которую получим значение $\varphi(m_1,\ldots, m_k)$. Если же $\varphi(m_1,\ldots,m_k)=\perp$, то терм $\Phi\langle m_1\rangle\ldots\langle m_k\rangle$ не имеет нормальной формы и согласно следствию CR-теоремы левая редукция терма $\Phi\langle m_1\rangle\ \ldots\ \langle m_k\rangle$ будет бесконечной, что соответствует бесконечному функционированию алгоритма в данном случае.

Теорема 2 доказана.

Теорема 3. *Всякая частично рекурсивная функция с неопределенными значениями аргументов λ-определима.*

Доказательство. 1. Приведем термы O, S, $U_{k,i}$, $1\leq i\leq k$, $k\geq 1$, λ-определяющие базисные функции o, s, $I_{k,i}$, $1\leq i\leq k$, $k\geq 1$, соответственно:

$O\equiv\lambda x.(xTI)\langle 0\rangle$, $S\equiv\lambda yx.(yTI)xFy$, $U_{k,i}\equiv\lambda x_1\ldots x_k.(x_1TI)\ldots(x_kTI)x_i$.

2. Термы, λ-определяющие функции, полученные из λ-определимых арифметических функций с неопределенными значениями аргументов посредством операций канонической подстановки, примитивной рекурсии и минимизации, строятся точно так же, как строятся термы в случае арифметических функций без неопределенных значений аргументов (см. [2]).

Теорема 3 доказана.

Теорема 4. *Существуют монотонные, не естественно расширенные, сильно вычислимые арифметические функции с неопределенными значениями аргументов, которые не λ-определимы.*

Доказательство. Приведем пример такой функции $\&:M^2\to M$. Для лю-бых $m_1,m_2\in M$ имеем:

$\&(m_1,m_2)$ равно 0, если $m_1=0$ или $m_2=0$,

равно 1, если $m_1, m_2\neq\perp$ и $m_1, m_2\geq 1$,

равно $\perp$ в остальных случаях.

Легко видеть, что функция & монотонная, не естественно расширенная, сильно вычислимая арифметическая функция с неопределенными значениями аргументов. Покажем, что функция & не λ-определима. Предположим противное, пусть существует терм Φ, который λ-определяет функцию &. Рассмотрим терм Φxy, где x,y – различные переменные, не свободные в Φ. Т. к. $\&(0,\perp)=0$, то ΦIΩ=I и левая редукция терма Φxy не может привести к терму, в котором y есть самое левое свободное вхождение переменной, находящееся левее всех редексов, т. к. в этом случае терм ΦIΩ не будет иметь нормальной формы. С другой стороны, т. к. $\&(\perp,0)=0$, то ΦΩI=I и левая редукция терма Φxy не может привести к терму, в котором x есть самое левое свободное вхождение переменной, находящееся левее всех редексов, т. к. в этом случае терм ΦΩI не будет иметь нормальной формы. Отсюда следует, что левая редукция терма Φxy приведет к терму I, следовательно левая редукция терма ΦΩΩ также приведет к терму I, и ΦΩΩ=I, противоречие, т. к. $\&(\perp,\perp)=\perp$ и терм ΦΩΩ не имеет нормальной формы. Таким образом, не сушествует терма Φ, λ-определяющего функцию &, т. е. функция & не λ-определима.

Теорема 4 доказана.

Теорема 5. *Существуют монотонные, не естественно расширенные, сильно вычислимые арифметические функции с неопределенными значениями аргументов, которые λ-определимы.*

Доказательство. Приведем пример такой функции $\mathrm{and}:M^2\to M$. Для любых $m_1,m_2\in M$ имеем:

$\mathrm{and}(m_1,m_2)$ равно 0, если $m_1=0$ или $m_1\neq\perp$, $m_1\geq 1$, $m_2=0$,

равно 1, если $m_1, m_2\neq\perp$ и $m_1, m_2\geq 1$,

равно $\perp$ в остальных случаях.

Легко видеть, что and монотонная, не естественно расширенная, сильно вычислимая арифметическая функция с неопределенными значениями аргументов. Приведем терм And, λ-определяющий функцию and:

$$\mathrm{And}\equiv\lambda xy.\ \underline{\text{if}}\ \mathrm{Zero}\ x\ \underline{\text{then}}\ \langle 0\rangle\ \underline{\text{else}}\ (\underline{\text{if}}\ \mathrm{Zero}\ y\ \underline{\text{then}}\ \langle 0\rangle\ \underline{\text{else}}\ \langle 1\rangle).$$

Теорема 5 доказана.

Ереванский государственный университет

С. А. Нигиян

Арифметические функции с неопределенными значениями аргументов. Вычислимость и λ-определимость

Рассматриваются арифметические функции с неопределенными значениями аргументов. Эти функции определены на частично-упорядоченном множестве $M=N\cup\{\perp\}$, где N – множество натуральных чисел, $\perp$ – элемент, соответствующий неопределенному значению. Каждый элемент множества M сравним только с самим собой и с элементом $\perp$, который является наименьшим элементом множества M. Понятие монотонной функции определяется традиционным образом. Функция называется естественно расширенной, если при неопределенном значении какого-либо из аргументов ее значение равно $\perp$. Всякая естественно расширенная функция монотонна. Далее для арифметических функций с неопределенными значениями аргументов вводятся понятия вычислимости, сильной вычислимости, λ-определимости. Доказывается, что всякая λ-определимая арифметическая функция с неопределенными значениями аргументов монотонна и вычислима. Определяется класс частично рекурсивных функций с неопределенными значениями аргументов. Такие функции будут естественно расширенными. Доказывается λ-определимость частично рекурсивных функций с неопределенными значениями аргументов. Доказывается существование монотонных, не естественно расширенных, сильно вычислимых арифметических функций с неопределенными значениями аргументов, которые не λ-определимы. Доказывается также существование монотонных, не естественно расширенных, сильно вычислимых арифметических функций с неопределенными значениями аргументов, которые λ-определимы.

Ս. Ա. Նիգիյան

Արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիաներ: Հաշվարկելիություն և λ-որոշելիություն

Աշխատանքում դիտարկվում են արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիաներ: Այդ ֆունկցիաները որոշված են $M=N\cup\{\perp\}$ մասնակի կարգավորված բազմության վրա, որտեղ N-ը բնական թվերի բազմությունն է, իսկ $\perp$-ը տարր է, որը համապատասխանում է անորոշ արժեքին: M բազմության կամայական տարր համեմատելի է միայն ինքն իր և $\perp$-ի հետ, որը M բազմության փոքրագույն տարրն է: Մոնոտոն ֆունկցիայի գաղափարը սահմանվում է սովորական եղնակով: Ֆունկցիան կոչվում է բնական ընդլայնված, եթե արգումենտներից որևէ մեկի անորոշ լինելու դեպքում նրա արժեքը հավասար է $\perp$-ի: Կամայական բնական ընդլայնված ֆունկցիան մոնոտոն է: Այնուհետև արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիաների համար ներմուծվում են հաշվարկելիության, ուժեղ հաշվարկելիության, λ-որոշելիության գաղափարները: Ապացուցվում է, որ կամայական λ-որոշելի արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիան մոնոտոն է և հաշվարկելի: Սահմանվում է արգումենտների անորոշ արժեքներով մասնակի կարգընթաց ֆունկցիաների դաս: Այդպիսի ֆունկցիաները կլինեն բնական ընդլայնված: Ապացուցվում է արգումենտների անորոշ արժեքներով մասնակի կարգընթաց ֆունկցիաների λ-որոշելիությունը: Ապացուցվում է մոնոտոն, բնական չընդլայնված, ուժեղ հաշվարկելի արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիաների գոյությունը, որոնք λ-որոշելի չեն: Ապացուցվում է նաև մոնոտոն, բնական չընդլայնված, ուժեղ հաշվարկելի արգումենտների անորոշ արժեքներով թվաբանական ֆունկցիաների գոյությունը, որոնք λ-որոշելի են:

S. A. Nigiyan

Arithmetical Functions with Indeterminate Values of Arguments. Computability and λ-definability

Arithmetical functions with indeterminate values of arguments are considered. These functions are defined on partially ordered set $M=N\cup\{\perp\}$, where N is the set of natural numbers, $\perp$ is the element, which corresponds to indeterminate value. Each element of M is comparable with itself and with $\perp$, which is the least element of M. The notion of monotonic function is introduced in a conventional way. A function is named to be naturally extended, if its value is $\perp$ whenever the value at least one of the argument is $\perp$. We introduce notions of computability, strong computability, and λ-definability for arithmetical functions with indeterminate values of arguments. It is proved that every λ-definable arithmetical function with indeterminate values of arguments is monotonic and computable. The class of partially recursive functions with indeterminate values of arguments is defined. The λ-definability for partially recursive functions with indeterminate values of arguments is proved. It is proved that there exist monotonic, not naturally extended, strong computable arithmetical functions with indeterminate values of arguments, which are not λ-definable. It is also proved that there exist monotonic, not naturally extended, strong computable arithmetical functions with indeterminate values of arguments, which are λ-definable.

Литература

1. *Мальцев А. И.* Алгоритмы и рекурсивные функции. М. Наука. 1986. 367 с.
2. *Барендрегт Х.* Ламбда-исчисление. Его синтаксис и семантика. М. Мир. 1985. 606 с.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

МАТЕМАТИКА

УДК 517.91

С. А. Анисонян

Исследование систем обыкновенных дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно высших производных

(Представлено академиком А. Б. Нерсесяном 10/X 2013)

Ключевые слова: *нормальная система линейных дифференциальных уравнений, задача Коши.*

Пусть C – множество непрерывных функций, N – множество натуральных чисел, N_0 – множество целых неотрицательных чисел, R – множество вещественных чисел, $S(n)$ – множество многочленов от одного переменного порядка меньше n. Наибольший общий делитель отличных от нуля многочленов L_1, L_2 обозначим символом (L_1, L_2). В дальнейшем запись $(L_1, L_2) = 1$ будет означать, что многочлены L_1, L_2 взаимно просты. Рассмотрим следующую систему линейных дифференциальных уравнений в окрестности нуля:

$$\begin{cases} L_1(p)u_1 + L_2(p)u_2 = f_1(t), \\ L_3(p)u_1 + L_4(p)u_2 = f_2(t), \end{cases} \tag{1}$$

где u_1, u_2 – неизвестные функции независимого переменного t, $f_1(t), f_2(t)$ – заданные функции, $L_i(p)$ – многочлены с постоянными коэффициентами относительно оператора дифференцирования $p = \frac{d}{dt}$ порядка k_i, $i = \overline{1,4}$.

Известно (см [1]), что когда система (1) сводится к нормальной системе, то она при соответствующих условиях на правые части имеет решение. Рассмотрим случаи, когда система (1) не является разрешенной относительно высшей производной, а значит, не сводится к нормальной системе.

Такие системы в разных постановках рассматривались С.Г. Крейном [2], Г.В. Демиденко, С.В. Успенским [3], С.В. Брычевым [4], Ю.Е. Бояринцевым [5], А.О. Ремизовым [6] и др.

Рассмотрим систему (1), когда $D(L) \equiv 0$, где $D(L) \equiv D(L(\lambda))$ – детерминант матрицы $L(\lambda) = \begin{bmatrix} L_1(\lambda) & L_2(\lambda) \\ L_3(\lambda) & L_4(\lambda) \end{bmatrix}$.

Лемма 1. *Пусть многочлены* L_i *порядка* $k_i \in N_0$ $\left(i = \overline{1,4}\right)$ *такие, что* $D(L) \equiv 0$.

Тогда существуют многочлены $R_1, R_2, Q_1, Q_2, (R_1, R_2) = 1$, *такие, что*

$$L_1 = R_1 \cdot Q_1, L_2 = R_1 \cdot Q_2, L_3 = R_2 \cdot Q_1, L_4 = R_2 \cdot Q_2..$$

Теорема 1. ***1)*** *Система (1) имеет решение тогда и только тогда, когда существует функция* z, *удовлетворяющая обоим уравнениям системы*

$$\begin{cases} R_1(p) z_1 = f_1(t), \\ R_2(p) z_2 = f_2(t). \end{cases} \qquad (2)$$

2) Пусть $f_1 \in C^{n_2}$, $f_2 \in C^{n_1}$, *где* $ordR_1 = n_i$, $i = 1,2$. *Для того, чтобы существовала функция* z, *удовлетворяющая обоим уравнениям системы (2), необходимо и достаточно, чтобы выполнялось следующее условие:*

$$R_1 f_2 = R_2 f_1. \qquad (3)$$

Рассмотрим систему (1) в случае, когда $f_i \in C$, $i = 1,2$.

Пусть L^0 – тождественный оператор, а $L^k z = \dfrac{1}{(k-1)!} \int_0^t (t-\tau)^{k-1} z(\tau) d\tau$ $\left(k \in N\right)$ – интегральный оператор порядка $k \in N$, $N_i(L) = \sum_{j=0}^{n} a_j^i L^{n-j}$ – многочлены относительно интегрального оператора L, где $n_i \equiv ordR_i$, a_j^i – коэффициенты многочленов R_i, $i = 1,2$ из леммы 1.

Теорема 2. ***1)*** *Пусть* $f_1, f_2 \in C$. *Для того, чтобы существовала функция* z, *удовлетворяющая обоим уравнениям системы (2), необходимо и достаточно, чтобы*

$$N_2(L^{n_1} f_1(t)) - N_1(L^{n_2} f_2(t)) \in S(n_1 + n_2). \qquad (4)$$

2) Система (1) при $f_1, f_2 \in C$ *имеет решение тогда и только тогда, когда выполняется условие (4).*

Рассмотрим систему (1) при $D(L) \neq 0$, когда данная система не сводится к нормальной системе дифференциальных уравнений.

Пусть $\lambda_1, \text{К}, \lambda_r$ – попарно различные корни многочлена $D(L)$ кратности $k_1, \Lambda\, k_r$, $(k_j > 0,\ j = \overline{1,r})$ m_i^j – кратность корня λ_i многочлена L_j, $\left(m_i^j \geq 0\right)$ $i = \overline{1,r},\ j = \overline{1,4}$, $\omega_i^1 \equiv \min\left(m_i^1, m_i^3\right)$, $\omega_\xi^2 \equiv \min\left(m_i^1, m_i^4\right)$, $\omega_i \equiv \sum_{i=1}^{r} \omega_i^1$, $\omega_2 \equiv \sum_{i=1}^{r} \omega_i^2$, $n \equiv \sum_{i=1}^{r} k_i$.

Теорема 3. *Для любого* $m \in N_0$ *такого, что* $m \geq \omega_1$, $n - m \geq \omega_2$, *система (1) при начальных условиях*

$$u_1^{(i)}(0) = a_i \quad i = \overline{0, m-1}, \text{ если } m > 0 \qquad (5)$$

$$u_2^{(i)}(0) = \beta_j \quad j = \overline{0, n-m-1}, \text{ если } n > m \qquad (6)$$

имеет единственное решение.

При $m = 0$ $m \equiv 0$ не ставится условие (5), а при $m = n$ не ставится условие (6).

Российско-Армянский университет
E-mail: s_anis@rambler.ru

С. А. Анисонян

Исследование систем обыкновенных дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно высших производных

Рассматривается система линейных дифференциальных уравнений, не сводящаяся к нормальной системе. Найдены необходимые и достаточные условия разрешимости системы, когда определитель характеристической матрицы тождественно равен нулю, и условия единственности решения задачи Коши для системы в случае, когда определитель характеристической матрицы не равен нулю.

Ս. Հ. Անիսոնյան

Ավագ կարգի ածանցյալների նկատմամբ չլուծվող սովորական դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգերի հետազոտություն

Ուսումնասիրվում է նորմալ համակարգի չբերվող երկու գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգ: Գտնվում են լուծման գոյության անհրաժեշտ և բավարար պայմանները, երբ համակարգի որոշիչը նույնաբար հավասար է զրոյի: Դրվում է Կոշու խնդիր, ուսումնասիրվում են լուծման միակության հարցերը, երբ համակարգի որոշիչը հավասար չէ զրոյի:

S. H. Anisonyan

About Systems of Ordinary Differential Equations, Not Resolvable with the Respect to the Highest Derivatives

A system of two linear differential equations which is not reducible to a normal system is studied. Necessary and sufficient conditions for the system's solvability are found when the determinant of the matrix is identically equal to zero and the conditions of the uniqueness of solution of the Cauchy problem for the system are studied, when the determinant of the matrix is not equal to zero.

Литература

1. *Понтрягин Л.С.* Обыкновенные дифференциальные уравнения. М. Наука. 1974. 331 с.
2. *Крейн С. Г.* Линейные уравнения в банаховых пространствах. М. Физматлит. 1971. 104 с.
3. *Демиденко Г. В., Успенский С. В.* Уравнения и системы, не разрешенные относительно старшей производной. Новосибирск. Научная книга. 1998. 436 с.
4. *Брычев С. В.* Исследование задачи Коши для вырожденных систем линейных дифференциальных уравнений. Канд. дис. Екатеринбург. 2000 г.
5. *Бояринцев Ю. Е.* Методы решения вырожденных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Новосибирск. Наука. 1988. 154 с.
6. *Ремизов А. О.* Системы дифференциальных уравнений, не разрешенных относительно производных. Канд. дис. М. 2001.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Р. К. Алексанян, В. А. Едоян

О кручении призматического стержня из материала с цилиндрической анизотропией

(Представлено академиком Л.А. Агаловяном 14/XII 2012)

Ключевые слова: *призматический стержень, цилиндрическая анизотропия, логарифмическая спираль.*

1. Предполагается, что материал скручиваемого стержня обладает свойством цилиндрической анизотропии с одной плоскостью упругой симметрии, совпадающей с поперечным сечением стержня, а ось анизотропии материала стержня – совпадающей с осью oz координатой системы. Стержень подвергается кручению моментами M_z, действующими на его торцевых сечениях. Задачам кручения посвящены работы [1-8]. Для однородного стержня рассматриваемая нами задача приближённо решена при помощи рядов по степеням физического малого параметра [2]. В случае составного стержня исследовано поведение напряжений в окрестности угловой точки клиновидного поперечного сечения [3].

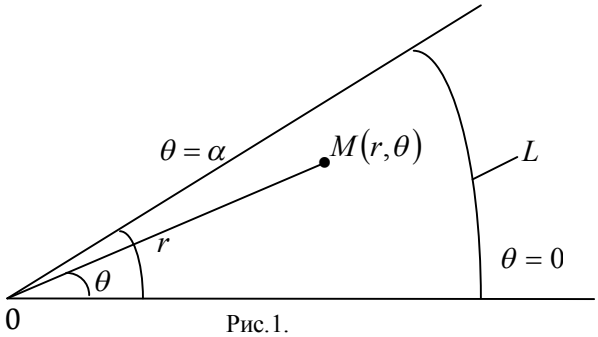


Рис.1.

Поперечное сечение скручиваемого стержня в полярной системе координат показано на рис. 1. Замыкающая часть L контура поперечного сечения стержня будет определена в ходе решения задачи.

Функция напряжений $F(r,\theta)$ при кручении удовлетворяет дифференциальному уравнению [1-3]

$$a_{44}\frac{\partial^2 F}{\partial r^2}-2a_{45}\frac{1}{r}\frac{\partial^2 F}{\partial r\partial\theta}+a_{55}\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 F}{\partial\theta^2}+a_{44}\frac{1}{r}\frac{\partial F}{\partial r}=-2\nu\,, \qquad (1.1)$$

где ν – относительный угол закручивания, a_{ik} – упругие постоянные материала стержня, удовлетворяющие условиям [1, 2]

$$a_{44}>0\,,\ a_{55}>0\,,\ a_{44}a_{55}-a_{45}^2>0\,. \qquad (1.2)$$

Напряжения σ_{rz} и $\sigma_{\theta z}$ определяются при помощи функции напряжения $F(r,\theta)$ следующим образом:

$$\sigma_{rz}=\frac{1}{r}\frac{\partial F}{\partial\theta}\,,\quad \sigma_{\theta z}=-\frac{\partial F}{\partial r}\,. \qquad (1.3)$$

Функция напряжений на контуре области поперечного сечения стержня должна удовлетворять граничным условиям

$$F(r,\theta)\big|_{\theta=0}=0\,,\quad F(r,\theta)\big|_{\theta=\alpha}=0\,. \qquad \text{(a)}$$

$$F(r,\theta)\big|_{L}=0\,. \qquad \text{(b)}$$

Решение однородного уравнения, соответствующего уравнению (1.1), представим в виде

$$\overline{F(r,\theta)}=r^{\lambda}\Phi(\theta)\,. \qquad (1.4)$$

Относительно $\Phi(\theta)$ получим дифференциальное уравнение

$$a_{55}\Phi''(\theta)-2a_{45}\Phi'(\theta)+a_{45}\lambda^2\Phi(\theta)=0\,. \qquad (1.5)$$

Если $\Phi(\theta)=Ae^{k\theta}$, то, удовлетворяя уравнению (1.5), получим характеристическое уравнение относительно k

$$a_{55}k^2-2\lambda a_{45}k+a_{44}\lambda^2=0\,. \qquad (1.6)$$

Решением уравнения (1.6) на основании условий (1.2) является

$$k=\lambda(\delta\pm i\upsilon)\,, \qquad (1.7)$$

где

$$\sigma=\frac{a_{45}}{a_{55}}\,,\ \nu=\frac{\left(a_{44}a_{55}-a_{45}^2\right)^{1/2}}{a_{55}}\,.$$

Общее решение (1.5) представляется в виде суммы независимых решений

$$\Phi(\theta)=A_1e^{\lambda(\sigma+i\nu)\theta}+A_2e^{\lambda(\sigma-i\nu)\theta}$$

или

$$\Phi(\theta)=e^{\lambda\sigma\theta}\left(A\cos\lambda\nu\theta+B\sin\lambda\nu\theta\right). \qquad (1.8)$$

Для функции напряжений $F(r,\theta)$ получим следующее представление:

$$F(r,\theta)=r^{\lambda}e^{\lambda\sigma\theta}\left(A\cos\lambda\nu\theta+B\sin\lambda\nu\theta\right)+F_0(r,\theta)\,, \qquad (1.9)$$

где $F_0(r,\theta)$ – частное решение уравнения (1.1).

Удовлетворяя граничным условиям (a), на основании (1.8) получим систему уравнений

$$\begin{cases} r^{\lambda}\left(A\cdot 1+B\cdot 0\right)=0 \\ r^{\lambda}e^{\lambda\sigma\alpha}\left(A\cos\lambda\nu\alpha+B\sin\lambda\nu\alpha\right)=0. \end{cases} \tag{1.10}$$

Из условия существования нетривиального решения получим

$$A=0\,,\ \sin\lambda\nu\alpha=0\ \Rightarrow\ \lambda_k=\frac{\pi\kappa}{\nu\alpha}\,. \tag{1.11}$$

В случае, когда точка $r=0$ принадлежит области поперечного сечения стержня, собственные значения должны быть положительными – $\lambda_k>0\ \left(k=1,2...\right)$. В обратном случае $\lambda=\pm 1,\pm 2...$.

В первом случае $F\left(r,\theta\right)$ представим в виде

$$F\left(r,\theta\right)=F_0\left(r,\theta\right)+\sum_{k=1}^{\infty}B_k e^{\lambda_k\left(\sigma\theta+\ln r\right)}\cdot\sin\lambda_k\nu\theta\,. \tag{1.12}$$

Во втором случае имеем представление

$$F\left(r,\theta\right)=F_0\left(r,\theta\right)+\sum_{k=1}^{\infty}\left[B_k e^{\lambda_k\left(\sigma\theta+\ln r\right)}+B_{-k}e^{-\lambda_k\left(\sigma\theta+\ln r\right)}\right]\sin\lambda_k\nu\theta$$

или

$$F\left(r,\theta\right)=F_0\left(r,\theta\right)+\sum_{k=1}^{\infty}\left[C_k ch\lambda_k\left(\sigma\theta+\ln r\right)+D_k sh\lambda_k\left(\sigma\theta+\ln r\right)\right]\sin\lambda_k\nu\theta\,. \tag{1.13}$$

Частное решение $F_0\left(r,\theta\right)$ уравнения (1.1) представим в виде

$$F_0\left(r,\theta\right)=r^2 f_0\left(\theta\right)+C_0 r^2\,, \tag{1.14}$$

где

$$f_0\left(\theta\right)=e^{2\sigma\theta}\left[A_0\cos 2\nu\theta+B_0\sin 2\nu\theta\right],$$

где A_0, B_0, C_0 – произвольные постоянные.

Удовлетворяя граничным условиям (а) и уравнению (1.1), получим систему уравнений

$$\begin{cases} 4C_0 a_{44}=-2\nu \\ r^2\left(A_0+C_0\right)=0 \\ r^2 e^{2\sigma\alpha}\left[A_0\cos 2\nu\theta+B_0\sin 2\nu\theta\right]+C_0 r^2=0. \end{cases} \tag{1.15}$$

Из системы уравнений (1.15) имеем

$$C_0=-\frac{\nu}{2a_{44}}\,,\ A_0=-C_0\,,\ B_0=C_0\frac{\cos 2\nu\alpha-e^{-2\delta\alpha}}{\sin 2\nu\alpha}\,. \tag{1.16}$$

2. На основании (1.3) находим следующие значения для касательных напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_r &= r^2 f_0'\left(\theta\right)+\sum_{(\lambda_k)}r^{\lambda_k-1}\Phi_k'\left(\lambda_k,\theta\right), \\ \sigma_{\theta z} &= -\sum_{(\lambda_k)}\lambda_k r^{\lambda_k-1}\Phi_k'\left(\lambda_k,\theta\right)-2rf_0\left(\theta\right). \end{aligned} \tag{2.1}$$

В случае, когда точка $r=0$ принадлежит секториальной области поперечного сечения стержня, напряжения, определяемые по формулам (2.1), неограниченно возрастают при $r\to 0$, если

$$0<\lambda_1<1 \quad \text{или} \quad 0<\frac{\pi}{\alpha}\frac{a_{55}}{\left(a_{44}a_{55}-a_{45}^2\right)^{1/2}}<1, \tag{2.2}$$

в случае скручиваемого стержня из ортотропного материала имеем

$$0<\frac{\pi}{\alpha}\sqrt{\frac{a_{55}}{a_{44}}}<1, \tag{2.3}$$

а в случае изотропного материала получим условие

$$0<\frac{\pi}{\alpha}<1 \quad \text{или} \quad \alpha>\pi. \tag{2.4}$$

3. Рассмотрим возможности удовлетворения граничных условий на замыкающих частях области поперечного сечения. Ясно, что эти возможности необходимо оценить с точки зрения точного или приближенного удовлетворения рассматриваемых граничных условий. Сама форма построенных фундаментальных решений задачи указывает на существование семейства кривых, на которых граничные условия можно точно удовлетворить.

В случае, когда $r=0$ принадлежит области поперечного сечения, имеем общее решение задачи в форме

$$F(r,\theta)=F_0(r,\theta)+\sum_{k=1}^{\infty}B_k e^{\lambda_k(\sigma\theta+\ln r)}\cdot\sin\lambda_k\nu\theta, \tag{3.1}$$

которое удовлетворяет граничным условиям на лучах $\theta=0$ и $\theta=\alpha$.

Если предположить, что замыкающая часть L контура поперечного сечения стержня определяется уравнением

$$\sigma\theta+\ln r=\ln r_0 \text{ или } r=r_0 e^{-\sigma\theta},$$

то, удовлетворяя граничному условию (b), получим

$$F(r,\theta)\big|_L=0 \;\Rightarrow F_0(r,\theta)\big|_L+\sum_{k=1}^{\infty}B_k e^{\lambda_k\ln r_0}\cdot\sin\lambda_k\nu\theta=0$$

или

$$\sum_{k=1}^{\infty}B_k r_0^{\lambda_k}\cdot\sin\lambda_k\nu\theta=-F_0\left(r_0e^{-\sigma\theta},\theta\right),$$

откуда

$$B_k=\frac{2}{\alpha\, r_0^{\lambda_k}}\cdot\int_0^{\alpha}F_0\left(r_0e^{-\sigma\theta},\theta\right)\sin\frac{k\pi}{\alpha}\theta\,d\theta.$$

В случае, когда $r=0$ не принадлежит области поперечного сечения стержня, предположим, что замыкающие контуры L_1 и L_2 области сечения определяются уравнениями

$$\sigma\theta+\ln r=\ln r_1,\quad \sigma\theta+\ln r=\ln r_2,\quad r_1<r_2. \tag{3.2}$$

Определенная по формуле (1.13) функция напряжений на этих кривых должна удовлетворять условиям

$$\sum_{k=1}^{\infty}\left[C_k ch\left(\lambda_k \ln r_1\right)+D_k sh\left(\lambda_k \ln r_1\right)\right]\cdot \sin\frac{\kappa\pi}{\alpha}\theta = -F_0\left(r_1 e^{-\sigma\theta},\theta\right),$$
$$\sum_{k=1}^{\infty}\left[C_k ch\left(\lambda_k \ln r_2\right)+D_k sh\left(\lambda_k \ln r_2\right)\right]\cdot \sin\frac{\kappa\pi}{\alpha}\theta = -F_0\left(r_2 e^{-\sigma\theta},\theta\right). \qquad (3.3)$$

Из системы уравнений для C_k и D_k получим значения

$$C_k = \frac{1}{\Delta}\left[a_k sh\left(\lambda_k \ln r_2\right) - b_k sh\left(\lambda_k \ln r_1\right)\right],$$
$$D_k = \frac{1}{\Delta}\left[b_k ch\left(\lambda_k \ln r_1\right) - a_k ch\left(\lambda_k \ln r_2\right)\right],$$

где

$$\Delta = sh\left(\lambda_k \ln\frac{r_2}{\varepsilon_1}\right),$$
$$a_k = -\frac{2}{\alpha}\int_0^{\alpha} F_0\left(r_1 e^{-\sigma\theta},\theta\right)\sin\frac{k\pi}{\alpha}\theta\, d\theta,$$
$$b_k = -\frac{2}{\alpha}\int_0^{\alpha} F_0\left(r_2 e^{-\sigma\theta},\theta\right)\sin\frac{k\pi}{\alpha}\theta\, d\theta,$$
$$\Delta = sh\left(\lambda_k \ln r_2\right)ch\left(\lambda_k \ln r_1\right) - sh\left(\lambda_k \ln r_1\right)ch\left(\lambda_k \ln r_2\right).$$

4. В [6, 7] рассматривались задачи кручения призматических однородных или составных анизотропных стержней с поперечными сечениями в виде секториальных областей.

Имеются следующие однородные уравнения, соответствующие неоднородным уравнениям для функций напряжений при кручении:

а) в случае прямолинейной анизотропии с одной плоскостью упругой симметрии

$$a_{44}F_{xx} - 2a_{45}F_{xy} + a_{55}F_{yy} = 0; \qquad (4.1)$$

б) в случае ортотропного материала

$$a_{44}F_{xx} + a_{55}F_{yy} = 0; \qquad (4.2)$$

в) в случае цилиндрической анизотропии с одной плоскостью упругой симметрии

$$a_{44}F_{rr} - 2a_{45}\frac{1}{r}F_{r\theta} + a_{55}\frac{1}{r^2}F_{\theta\theta} + a_{44}\frac{1}{r}F_r = 0. \qquad (4.3)$$

Решения рассматриваемых уравнений, удовлетворяющие на $\theta = \text{const}$ линиях нулевым граничным условиям, на выбранных замыкающих частях контура области поперечного сечения ортогональны в интервалах изменения полярного угла θ или в соответствующих интервалах изменения “приведенных” углов. Таким образом, получается, что в зависимости от характера анизотропии каждое уравнение определяет соответствующие семейства кривых, на которых решения уравнений ортогональны. В случаях

а) и б) выбраны контуры дуги эллипсов, в случае в) – дуги логарифмических спиралей.

Уравнения (4.1) и (4.2), когда $a_{44} = a_{55}$ и $a_{45} = 0$ станут уравнениями Лапласа, и уравнение (4.3) при $a_{45} = 0$ имеют решения, ортогональные на дугах $r = \text{const}$.

Ереванский государственный университет
архитектуры и строительства

Р. К. Алексанян, В. А. Едоян

О кручении призматического стержня из материала с цилиндрической анизотропией

Рассматривается задача кручения призматического стержня из материала с цилиндрической анизотропией, имеющего одну плоскость упругой симметрии, совпадающую с плоскостью поперечного сечения в виде сектора. Функция напряжений определяется в виде суммы собственных функций соответствующей однородной и частным решением неоднородной краевой задачи. На непрямолинейных краях сечения в виде дуг логарифмических спиралей, обусловленных анизотропией, собственные функции ортогональны в рассматриваемом интервале полярного угла. На основе ортогональности системы собственных функций удовлетворяются также гетерогенные граничные условия на непрямолинейные края.

Ռ. Կ. Ալեքսանյան, Վ. Հ. Եդոյան

Գլանային անիզոտրոպիա ունեցող նյութից պրիզմատիկ ձողի ոլորման մասին

Դիտարկվում է առաձգական սիմետրիայի մեկ հարթություն ունեցող գլանային անիզոտրոպ նյութից պատրաստված պրիզմատիկ ձողի ոլորման խնդիրը, երբ ձողի սեկտորի տեսքով ընդլայնական հատվածքի և առաձգական սիմետրիայի հարթությունները համընկնում են: Լարումների ֆունկցիան որոշվում է համապատասխան համասեռ եզրային խնդրի սեփական ֆունկցիաների և ոլորման խնդրի մասնակի լուծման գումարի տեսքով: Ձողի ընդլայնական հատվածքի ոչ ուղղագծային եզրերի վրա նյութի գլանային անիզոտրոպիայով պայմանավորված լոգարիթմական սպիրալային աղեղների վրա սեփական ֆունկցիաները օրթոնորմալ են բևեռային անկյան փոփոխման դիտարկվող միջակայքում: Սեփական ֆունկցիաների համակարգի օրթոգոնալության հիման վրա բավարարվում են նաև անհամասեռ եզրային պայմանները ոչ ուղղագծային եզրերի վրա:

R. K. Aleksanyan, V. H. Edoyan

On Torsion of a Prismatic Rod Made of a Material with the Cylindrical Anisotropy

The problem of a prismatic rod torsion made of a material with the cylindrical anisotropy, having a plane of the elastic symmetry coinciding with the plane of cross-

section in the form of sector is considered. The function of stresses is determined in the form of respective boundary problem's eigenfunctions sum satisfying homogeneous boundary conditions on the straight-line edges of the rod's cross-section. On non straight-line edges of the cross-section in the form of logarithmic helical arcs, conditioned by cylindrical anisotropy, eigenfunctions are orthogonal within the considered interval of polar angle. On the basis of the eigenfunctions system orthogonality heterogeneous boundary conditions on non straight-line edges are also satisfied.

Литература

1. *Мусхелишвили* Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. Изд. АН СССР. М. 1954. 707 с.
2. *Векуа И.Н., Рухадзе А.К.* - ПММ.1933. Т.1. Вып.2. С.167-178.
3. *Чобанян К.С.* Напряжения в упругих составных телах. Ереван. Изд. АН АрмССР. 1987. 338 с.
4. *Саркисян В.С.* - ДАН АрмССР. 1965. Т.40. №2. С.81-87.
5. *Геворкян С.Х.* - Изв. АН АрмССР. Механика. 1968. Т. 21. №4. С.30-39.
6. *Алексанян Р.К., Чобанян К.С.* - Прикладная механика. 1977. Т. 13. №6. С.90-96.
7. *Алексанян Р. К., Мелик-Саркисян С. А.* - Изв. АН АрмССР. Механика. 1978. Т.31. №1. С.40-49.
8. *Лехницкий С. Т.* Теория упругости анизотропного тела. М.-Л., Гостехтеориздат. 1950. 299 с.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Д. К. Гаспарян, К. Б. Казарян

Связанные волны в электро-магнито-упругой пьезоактивной среде

(Представлено чл.-кор. НАН РА А.С.Аветисяном 4/XII 2013)

Ключевые слова: *электро-магнито-упругая пьезоактивная среда, пьезоэлектрик, пьезомагнетик, связанные волны.*

Работа посвящена вопросу распространения связанных волн в электро-магнито-упругой пьезоактивной среде (ЭМУП). Первые результаты относительно магнито-электро-пьезоэффекта были приведены в работе [1]. В ЭМУП материале одновременно проявляются пьезоэлектрические и пьезомагнитные эффекты, этот материал имеет способность взаимно трансформировать энергию магнетизма, упругости или электричества и обладает новым электро-магнито-упругим эффектом, который не существует в однофазных пьезоэлектрических или пьезомагнитных материалах. В природе ЭМУП материалы встречаются редко, и эффекты, возникающие в них, очень слабы. Однако в искусственных композитных материалах электро-магнито-упругие эффекты ярко выражены, что делает их востребованными в технологических применениях. Впервые электро-магнито-упругий материал был получен путем комбинирования пьезоэлектрика $BaTiO_3$ и пьезомагнетика $CoFe_2O_4$ в одном искусственном материале [2]. Обзор исследований, касающихся ЭМУП материалов, приводится в работах [3, 4]. Новый метод синтезирования искусственного кристалла, обладающего сильным электро-магнито-упругим взаимодействием, изложен в [5].

Исследования, связанные с проблемами распространения объемных и поверхностных волн в этих материалах, опубликованы в [6-13]. В квазистатическом приближении были исследованы: интерфейсные поверхностные волны на границе различных сред, волны Гуляева –Блюстейна в однородном и неоднородном полупространстве гексагональной симметрии, поверхностные волны типа Рэлея в средах кубической симметрии, волны Лява в слоистых средах, волны Лемба в пластине. Задачи изгиба

упругой и термоупругой пластин, изготовленных из ЭМУП материалов, рассмотрены в [14, 15].

Все вышеприведенные задачи решались в квазистатической постановке, когда в уравнениях электродинамики Максвелла пренебрегаются производные по времени. Данная постановка с большой точностью описывает эффекты влияния электромагнитного поля на характеристики упругих полей, однако она не может в полной мере определять взаимосвязанный волновой процесс в ЭМУП. В частности, квазистатический подход не позволяет исследовать вопросы отражения и преломления электромагнитных волн [16], эффекты связанности электромагнитного и упругих полей, приводящих к поляритонному взаимодействию (внутреннему резонансу), как это имеет место в пьезоэлектриках с периодической структурой [17].

В отсутствие массовых сил, электрических зарядов и электрического тока уравнения состояния, уравнения равновесия и полная система уравнений электродинамики Максвелла в ЭМУП среде запишутся так [4]:

$$\mathbf{D} = \boldsymbol{\varepsilon}\cdot\mathbf{E} + \mathbf{g}\cdot\mathbf{H} + \mathbf{e}:\mathbf{S}, \qquad \mathbf{B} = \boldsymbol{\mu}\cdot\mathbf{H} + \mathbf{g}\cdot\mathbf{E} + \mathbf{d}:\mathbf{S};$$
$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{c}:\mathbf{S} - \mathbf{e}\cdot\mathbf{E} - \mathbf{d}\cdot\mathbf{H} = 0, \qquad (1)$$
$$\vec{\nabla}\cdot\boldsymbol{\sigma} = \rho\frac{\partial^2\mathbf{U}}{\partial t^2};\ \vec{\nabla}\times\mathbf{H} = \frac{\partial\mathbf{D}}{\partial t}; \qquad \vec{\nabla}\times\mathbf{E} = -\frac{\partial\mathbf{B}}{\partial t}; \qquad \vec{\nabla}\cdot\mathbf{B} = 0;\ \vec{\nabla}\cdot\mathbf{D} = 0.$$

Здесь необходимо отметить, что в случае пьезоэлектрической среды имеем $\mathbf{d} = 0;\ \mathbf{g} = 0$, а в случае пьезомагнитной среды $\mathbf{e} = 0;\ \mathbf{g} = 0$.

Волновой процесс в ЭМУП рассмотрим для трансверсально изотропной среды гексогональной симметрии, когда плоскость (x, y) является плоскостью симметрии, а ось z совпадает с направлением кристаллографической оси [15].

Уравнения состояния этой среды имеют вид:

$$\begin{aligned}
B_x &= d_{15}(\partial_z U_x + \partial_x U_z) + g_{11}E_x + \mu_{11}H_x;\\
B_y &= d_{15}(\partial_z U_y + \partial_y U_z) + g_{11}E_y + \mu_{11}H_y;\\
B_z &= d_{31}(\partial_x U_x + \partial_y U_y) + d_{33}\partial_z U_z + g_{33}E_z + \mu_{33}H_z;\\
D_x &= e_{15}(\partial_z U_x + \partial_x U_z) + \varepsilon_{11}E_x + g_{11}H_x;\\
D_y &= e_{15}(\partial_z U_y + \partial_y U_z) + \varepsilon_{11}E_y + g_{11}H_y;\\
D_z &= e_{31}(\partial_x U_x + \partial_y U_y) + e_{33}\partial_z U_z + \varepsilon_{33}E_z + g_{33}H_z;\\
\sigma_{yz} &= c_{44}(\partial_z U_y + \partial_y U_z) - e_{15}E_y - d_{15}H_y;\\
\sigma_{xz} &= c_{44}(\partial_z U_x + \partial_x U_z) - e_{15}E_x - d_{15}H_x;\\
\sigma_{xy} &= \frac{(c_{11} - c_{12})}{2}(\partial_y U_x + \partial_x U_y);\\
\sigma_{xx} &= c_{11}\partial_x U_x + c_{12}\partial_y U_y + c_{13}\partial_z U_z - e_{31}E_z - d_{31}H_z;\\
\sigma_{yy} &= c_{12}\partial_x U_x + c_{11}\partial_y U_y + c_{13}\partial_z U_z - e_{31}E_z - d_{31}H_z;\\
\sigma_{zz} &= c_{13}\partial_x U_x + c_{13}\partial_y U_y + c_{33}\partial_z U_z - e_{31}E_z - d_{31}H_z;
\end{aligned} \qquad (2)$$

$$\left(\partial_z \equiv \partial/\partial z, \partial_x \equiv \partial/\partial x, \partial_y \equiv \partial/\partial y\right).$$

В (1,2) $\sigma_{xx}, \sigma_{xy}, \sigma_{xz}\ \sigma_{xy}, \sigma_{xz}, \sigma_{yz}$ есть компоненты тензора напряжений $\boldsymbol{\sigma}$ второго ранга, U_x, U_y, U_z – компоненты вектора упругого перемещения $\mathbf{U}$, B_x, B_y, B_z – компоненты вектора магнитной индукции $\mathbf{B}$, D_x, D_y, D_z –компоненты вектора электрической индукции $\mathbf{D}$, H_x, H_y, H_z – компоненты вектора магнитного поля **H,** E_x, E_y, E_z – компоненты вектора электрического поля **E,** **c** –тензор упругости четвертого ранга, c_{11}, c_{12}, c_{13}, c_{33}, c_{44} – модули упругости, $\mathbf{S} = 0.5\left(\vec{\nabla}\cdot\mathbf{U} + \left(\vec{\nabla}\cdot\mathbf{U}\right)^T\right)$ – тензор деформации второго ранга, $\boldsymbol{\mu}$ – тензор магнитной проницаемости второго ранга, μ_{11}, μ_{33} – коэффициенты магнитной проницаемости, $\boldsymbol{\varepsilon}$ – тензор электрической проницаемости второго ранга $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{33}$ – коэффициенты электрической проницаемости, **e** – тензор пьезоэлектрических модулей третьего ранга, e_{31}, e_{15}, e_{33} – коэффициенты пьезоэлектрических модулей, **d** – тензор пьезомагнитных модулей третьего ранга, d_{31}, d_{15}, d_{33} – коэффициенты пьезомагнитных модулей, **g** – тензор обменных электромагнитных модулей третьего ранга, g_{11}, g_{33} – электромагнитные обменные модули, соответственно, $\vec{\nabla}$ – набла вектор, ρ – плотность среды, знак $(\cdot)$ соответствует операции свертки тензоров, знак (:) соответствует операции двойной свертки тензоров, знак $(\times)$ соответствует операции векторного произведения векторов.

Подставив соотношения (1) в уравнения (2), придем к системе трехмерных уравнений относительно функций $U_x, U_y, U_z, H_x,\ H_y, H_z, E_x, E_y, E_z$.

Рассмотрим сначала вопрос распространения электромагнитных волн в недеформированной среде в формальном предположении $\mathbf{U} = 0$. Представив решения в виде монохроматичных волн

$$\mathbf{H} = \tilde{\mathbf{H}}\exp[i(k_x x + k_y y + rz - \omega t)];\ \mathbf{E} = \tilde{\mathbf{E}}\exp[i(k_x x + k_y y + rz - \omega t)],$$

где k_x, k_y, r – волновые числа, ω – частота электромагнитных волн, мы придем к следующей однородной системе уравнений:

$$\begin{pmatrix} \omega\varepsilon_{11} & 0 & 0 & g_{11}\beta & -r & k_y \\ 0 & -\omega\varepsilon_{11} & 0 & -r & -g_{11}\beta & k_x \\ 0 & 0 & \omega\varepsilon_{33} & -k_y & k_x & g_{33}\omega \\ -g_{11}\omega & -r & k_y & -\omega\mu_{11} & 0 & 0 \\ -r & g_{11}\omega & k_x & 0 & \omega\mu_{11} & 0 \\ -k_y & k_x & -g_{33}\omega & 0 & 0 & -\omega\mu_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{E}_x \\ \tilde{E}_y \\ \tilde{E}_z \\ \tilde{H}_x \\ \tilde{H}_y \\ \tilde{H}_z \end{pmatrix} = 0. \qquad (3)$$

Приравняв определитель системы (3) к нулю, получим следующее дисперсионное уравнение:

$$j_1^2 j_3 \omega^4 - j_1\omega^2(2j_3 r^2 + p^2 j_{13}) + j_1 p^4 + r^2(j_3 r^2 + p^2 j_{13}) = 0, \qquad (4)$$

где

$$p = \sqrt{\mathrm{k}_x^2 + \mathrm{k}_y^2},$$

$$j_1 = \varepsilon_{11}\mu_{11} - g_{11}^2, \quad j_3 = \varepsilon_{33}\mu_{33} - g_{33}^2,$$

$$j_{13} = \varepsilon_{33}\mu_{11} + \varepsilon_{11}\mu_{33} - 2g_{11}g_{33}.$$

Из (4) найдем частоты электромагнитных волн

$$\omega_1^2 = \frac{p^2\left(j_{13} - \sqrt{j_{13}^2 - 4j_1j_3}\right) + 2j_3r^2}{2j_1j_3}; \omega_2^2 = \frac{p^2\left(j_{13} + \sqrt{j_{13}^2 - 4j_1j_3}\right) + 2j_3r^2}{2j_1j_3}. \quad (5)$$

Для любых значений p и r $\omega_{1,2}^2$ должно быть положительным. Это обстоятельство накладывает следующие ограничения на материальные постоянные материала:

$$j_1 > 0; \quad j_3 > 0; \quad j_{13}^2 > 4j_1j_3. \quad (6)$$

Отметим также, что первые два условия (6) были получены в [4] из энергетических соотношений.

При $\mathbf{g} = 0$ имеем

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{p^2}{\varepsilon_{11}\mu_{33}} + \frac{r^2}{\varepsilon_{11}\mu_{33}}}; \omega_2 = \sqrt{\frac{p^2}{\varepsilon_{33}\mu_{11}} + \frac{r^2}{\varepsilon_{11}\mu_{11}}}. \quad (7)$$

Рассмотрим теперь вопрос распространения связанных электро-магнито-упругих волн в плоскости (x, y). Представив перемещения U_x, U_y посредством потенциалов $\varphi(x, y, \mathrm{t})$, $\psi(x, y, t)$

$$U_x = \partial_x\varphi - \partial_y\psi; \quad U_y = \partial_y\varphi + \partial_x\psi, \quad (8)$$

подставив соотношения (1) в уравнения (2), двумерные уравнения, описывающие волновой процесс, после некоторых преобразований запишем как

$$\hat{L}_t\psi = 0; \quad (9)$$

$$c_{11}\hat{L}_e\varphi = e_{31}E_z + d_{31}H_z;$$

$$\varepsilon_{11}\hat{L}_\varepsilon E_z + \hat{L}_g H_z = j_1e_{31}\frac{\partial^2(\Delta\varphi)}{\partial t^2}; \quad (10)$$

$$\hat{L}_g E_z + \mu_{11}\hat{L}_\mu H_z = j_1d_{31}\frac{\partial^2(\Delta\varphi)}{\partial t^2};$$

$$c_{44}\left(1 + \frac{r_\varepsilon^2 + r_\mu^2 - 2r_\varepsilon r_\mu\gamma}{1-\gamma^2}\right)\Delta U_z = \rho\frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}; \quad (11)$$

$$j_1\frac{\partial \mathbf{E_0}}{\partial t} = -\left(e_{15}\mu_{11} - d_{15}g_{11}\right)\vec{\nabla}\left(\frac{\partial U_z}{\partial t}\right) + \vec{\nabla}\times\left[\mathbf{i}_z\left(g_{11}E_z + \mu_{11}H_z\right)\right];$$

$$j_1\frac{\partial \mathbf{H}_0}{\partial t} = -\left(d_{15}\,\varepsilon_{11} - e_{15}\,g_{11}\right)\vec{\nabla}\left(\frac{\partial U_z}{\partial t}\right) - \vec{\nabla}\times\left[\mathbf{i}_z\left(\varepsilon_{11}E_z + g_{11}H_z\right)\right]. \quad (12)$$

Здесь $\mathbf{E_0} = (\mathrm{E}_x, \mathrm{E}_y); \mathbf{H_0} = (H_x, H_y)$, $\mathbf{i_z}$ – орт вектор оси z, r_ε^2 есть безразмерный коэффициент электромеханической связи, r_μ^2 – безразмерный коэффициент магнитомеханической связи, $\gamma(\gamma < 1)$ – безразмерный коэффициент обменной связи

$$r_\varepsilon^2 = e_{15}^2 \big/ \left(\varepsilon_{11} c_{44}\right); r_\mu^2 = d_{15}^2 \big/ \left(\mu_{11} c_{44}\right);\ \gamma = g_{11} \big/ \sqrt{\varepsilon_{11}\mu_{11}}\,,$$

а операторы $\hat{L}_\varepsilon, \hat{L}_\mu, \hat{L}_g, \hat{L}_e, \hat{L}_t$ имеют вид

$$\hat{L}_\varepsilon \equiv \Delta - \frac{\mathrm{j}_1 \varepsilon_{33}}{\varepsilon_{11}} \frac{\partial^2}{\partial t^2}; \hat{L}_\mu \equiv \Delta - \frac{\mathrm{j}_1 \mu_{33}}{\mu_{11}} \frac{\partial^2}{\partial t^2}; \qquad \hat{L}_g \equiv g_{11}\Delta - \mathrm{j}_1 g_{33} \frac{\partial^2}{\partial t^2};$$

$$\hat{L}_e \equiv \Delta - \frac{\rho}{c_{11}} \frac{\partial^2}{\partial t^2}; \hat{L}_t \equiv \Delta - \frac{2\rho}{\left(c_{11} - c_{12}\right)} \frac{\partial^2}{\partial t^2}; \Delta \equiv \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}.$$

Из анализа уравнений (9-12) следует, что в отличие от пьезоэлектрической среды [17], для ЭМУП среды не имеет места разделение уравнений плоской деформации и антиплоской деформации.

Раздельные уравнения плоской и антиплоской деформаций для пьезоэлектрической среды можно получить из уравнений (9-12) при

$$d_{31} = d_{15} = 0; \mathrm{g}_{11} = g_{33} = 0:$$

а) плоская деформация

$$\begin{gathered} \hat{L}_t \psi = 0;\ c_{11} \hat{L}_e \varphi = e_{31} E_z; \\ \varepsilon_{11} \hat{L}_\varepsilon E_z = \mathrm{j}_1 e_{31} \frac{\partial^2 \left(\Delta\varphi\right)}{\partial t^2}; \quad \mathrm{j}_1 \frac{\partial \mathbf{H_0}}{\partial t} = -\vec{\nabla} \times \left(\varepsilon_{11} E_z \mathbf{i_z}\right); \end{gathered} \tag{13}$$

б) антиплоская деформация

$$\begin{gathered} c_{44}\left(1 + r_\varepsilon^2\right) \Delta U_z = \rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}; \hat{L}_\mu H_z = 0; \\ \mathrm{j}_1 \frac{\partial \mathbf{E_0}}{\partial t} = -e_{15}\mu_{11} \vec{\nabla}\left(\frac{\partial U_z}{\partial t}\right) + \vec{\nabla} \times \left(\mu_{11} H_z \mathbf{i}_z\right). \end{gathered} \tag{14}$$

Раздельные уравнения для пьезомагнитной среды при $e_{31} = e_{15} = 0;$ $\mathrm{g}_{11} = g_{33} = 0$ имеют вид:

а) плоская деформация

$$\begin{gathered} \mathrm{j}_1 \frac{\partial \mathbf{E_0}}{\partial t} = \vec{\nabla} \times \left(\mu_{11} H_z \mathbf{i}_z\right); \\ \hat{L}_t \psi = 0;\ c_{11} \hat{L}_e \varphi = d_{31} H_z; \\ \mu_{11} \hat{L}_\mu H_z = \mathrm{j}_1 d_{31} \frac{\partial^2 \left(\Delta\varphi\right)}{\partial t^2}; \end{gathered} \tag{15}$$

б) антиплоская деформация

$$\begin{gathered} c_{44}\left(1 + r_\mu^2\right) \Delta U_z = \rho \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}; \hat{L}_\varepsilon E_z = 0; \\ \mathrm{j}_1 \frac{\partial \mathbf{H}_0}{\partial t} = -d_{15}\,\varepsilon_{11} \vec{\nabla}\left(\frac{\partial U_z}{\partial t}\right) - \vec{\nabla} \times \left(\varepsilon_{11} E_z \mathbf{i}_z\right). \end{gathered} \tag{16}$$

Отметим, что для пьезоэлектрической среды разделение плоского и антиплоского состояний в рамках полной системы уравнений Максвелла имеет место также и в краевых задачах, а именно, разделяются как уравнения, так и граничные(контактные) условия [16, 17].

В квазистатической постановке в рамках уравнений электро-магнитостатики [13]

$$\vec{\nabla} \times \mathbf{H} = 0; \qquad \vec{\nabla} \times \mathbf{E} = 0; \qquad \vec{\nabla} \cdot \mathbf{B} = 0; \qquad \vec{\nabla} \cdot \mathbf{D} = 0 \tag{17}$$

имеем следующие уравнения, описывающие плоское и антиплоское состояния:

$$\hat{L}_t\psi = 0; \qquad c_{11}\hat{L}_e\varphi = 0; \qquad H_z = 0; \qquad E_z = 0; \tag{18}$$

$$g_{11}\vec{\nabla}\cdot\mathbf{H}_0 + \varepsilon_{11}\vec{\nabla}\cdot\mathbf{E}_0 = -e_{15}\Delta U_z; \quad \mu_{11}\vec{\nabla}\cdot\mathbf{H}_0 + g_{11}\vec{\nabla}\cdot\mathbf{E}_0 = -d_{15}\Delta U_z. \tag{19}$$

$$\mathbf{H}_0 = -\vec{\nabla}f; \mathbf{E}_0 = -\vec{\nabla}\phi;$$

$$c_{44}\left(1+\frac{r_\varepsilon^2 + r_\mu^2 - 2r_\varepsilon r_\mu\gamma}{1-\gamma^2}\right)\Delta U_z = \rho\frac{\partial^2 U_z}{\partial t^2}. \tag{20}$$

Отметим, что в квазистатической постановке в плоском состоянии электромагнитный эффект отсутствует.

Для волн в безграничной среде, представляя в (9-12) решения в виде

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_0\exp[i(k_x x + k_y y - \omega t)], \qquad \mathbf{E} = \mathbf{E}_0\exp[i(k_x x + k_y y - \omega t)],$$

$$\mathbf{U} = \mathbf{U}_0\exp[i(k_x x + k_y y - \omega t)],$$

придем к следующим соотношениям для фазовых скоростей $a = \omega/p$ связанных волн:

$$a_v = \sqrt{(c_{11} - c_{12})/2\rho}; \quad a_t = p\sqrt{c_{44}(1 + r_\varepsilon^2 + r_\mu^2 - 2r_\varepsilon r_\mu\gamma)\rho^{-1}\left(1-\gamma^2\right)^{-1}}; \tag{21}$$

$$1 - \frac{j_1 j_3 a^6}{a_l^2} - \frac{a^2}{a_l^2}\left[1 + a_l^2 j_{13} + a_l^2\varepsilon_{11}\mu_{11}\left(f_\varepsilon^2 + f_\mu^2 - 2\gamma f_\varepsilon f_\mu\right)\right] + \frac{a^4}{a_l^2}\left[j_{13} + a_l^2 j_3 j_1 + a_l^2\varepsilon_{33}\mu_{33}j_1\left(s_\varepsilon^2 + s_\mu^2 - 2\vartheta s_\varepsilon s_\mu\right)\right] = 0. \tag{22}$$

Здесь

$$a_l = \sqrt{c_{11}/\rho},\ f_\varepsilon = e_{31}^2/(\varepsilon_{11}c_{11}),\ f_\mu = d_{15}^2/(\mu_{11}c_{11}),$$

$$s_\varepsilon = e_{31}^2/(\varepsilon_{33}c_{11}), s_\mu = d_{31}^2/(\mu_{33}c_{11}); \vartheta_3 = g_{33}/\sqrt{\varepsilon_{33}\mu_{33}}.$$

В (22) a_v есть скорость чисто упругой поперечной SV-волны, a_t – скорость упругой поперечной SH-волны, для которой электромагнитный эффект может привести к существенному увеличению ее скорости [2, 3]. Уравнение (22) имеет три решения, соответствующие двум быстрым квазиэлектромагнитным волнам, и имеющие различные скорости и одной медленной квазиупругой продольной P-волне. Для пьезоэлектрической [18] или пьезомагнитной среды уравнение (22) распадается на уравнения, соответственно, имеющие в качестве решения одну чисто электромагнитную волну, и решения, соответствуюшие квазиупругой волне продольной P-волны и квазиэлектромагнитной волне:

$$\left[a_l^2 r_{3\mu}^2 a^2 - \left(a_l^2 - a^2\right)\left(\frac{1}{\varepsilon_{11}\mu_{33}} - a^2\right)\right]\left(\frac{1}{\varepsilon_{33}\mu_{11}} - a^2\right) = 0; \tag{23}$$

$$\left[a_l^2 r_{3\varepsilon}^2 a^2 - \left(a_l^2 - a^2 \right) \left(\frac{1}{\varepsilon_{33}\mu_{11}} - a^2 \right) \right] \left(\frac{1}{\varepsilon_{11}\mu_{33}} - a^2 \right) = 0. \qquad (24)$$

Несмотря на связанный характер системы уравнений в (9-12) эту систему уравнений можно решить последовательно решая: уравнение (9) относительно функции $\psi(x,y,t)$, связанную систему (10) относительно функций $\varphi(x,y,\mathrm{t}), E_z(x,y,\mathrm{t}), H_z(x,y,\mathrm{t})$, уравнение (11) относительно функции $U_z(x,y,t)$. Используя решение этих уравнений, из системы (12) можно определить остальные функции

$$E_x(x,y,t), E_y(x,y,t), \;\; H_x(x,y,t), E_y(x,y,t).$$

Заключение. На основе динамического подхода в рамках полной системы уравнений электродинамики Максвелла получены двумерные связанные уравнения распространения электро-магнито-упругих волн в электро-магнито-упругой пьезоактивной среде гексагональной симметрии, позволяющие решение нового класса задач, в частности, задач распространения и внутреннего резонанса электро-магнито-упругих волн в периодических структурах. Установлено, что в отличие от квазистатического подхода динамический подход не допускает разделения уравнений плоской и антиплоской деформаций.

Институт механики НАН РА

Д. К. Гаспарян, К. Б. Казарян

Связанные волны в электро-магнито-упругой пьезоактивной среде

В рамках полной системы уравнений электродинамики и уравнений теории упругости получены двумерные уравнения, описывающие связанный волновой процесс в электро-магнито-упругой пьезоактивной среде гексагональной симметрии.

Դ. Կ. Գասպարյան, Կ. Բ. Ղազարյան

Կապակցված ալիքները էլեկտրա-մագնիսա-առաձգական պիեզոակտիվ միջավայրում

Էլեկտրոդինամիկայի հավասարումների լրիվ համակարգի և առաձգականության տեսության հավասարումների հիման վրա դուրս են բերվել երկչափ հավասարումներ, որոնք նկարագրում են ալիքային գործընթացները էլեկտրա-մագնիսա-առաձգական հեքսագոնալ համաչափությամբ պիեզոակտիվ միջավայրում:

D. K. Gasparyan, K. B. Ghazaryan

Coupled Waves in Piezoactive Electro-Magneto-Elastic Medium

Based on complete system of electrodynamics equations and the theory of elasticity equations, the two-dimensional equations describing the coupled wave process in piezoactive electro-magneto-elastic medium of hexagonal symmetry are received.

Литература

1. *Suchtelen Van J.* - Philips Research Reports, 1972. V. 27. P. 28-37.
2. *Boomgaard J. Van Den, Run A.M.J.G.Van, Suchtelen J.Van* – Ferroelectrics. 1976. V. 14. P. 727-728.
3. *Eerenstein W., Mathur N. D., Scott J. F.* - Nature. 2006. V. 442. P. 759-765.
4. *Nan C. W., Bichurin M.I., Dong S.X., Viehland D., Srinvasan G.* - Journal of Applied Physics. 2008. V. 103. P.0131101/1-34.
5. *Srinivas A., Raja M.M., SivaprahasamD., Saravanan P.* - Processing and Application of Ceramics. 7. 1.(2013). P. 29–35.
6. *Zakharenko A. A.* - Waves in Random and Complex Media. 2013. V. 23. N 4. P. 373-382.
7. *Peng Li, Feng Jin ,Zhenghua Qian* - European J. Mech. A/Solids. 2013. V. 37. P.17-23.
8. *Piliposyan D.,* - Multidiscipline Modeling in Materials and Structures. 2012. V. 8. Iss: 3. P. 417 – 426.
9. *Zakharenko A. A.* - Open Journal of Acoustics. 2012. N 2. P.104-114.
10. *Feng W. J., Pan E., Wang X., Jin J.* - Acta Mech. 2009. V. 202. P. 127-134.
11. *Du J.K., Jin X.Y. ,Wang J.* - Science in China. Series G , Physics Mechanics & Astronomy. 2008. V. 51. P. 617-631.
12. *X. Wu, Y. Shen, Q. Sun,*. Applied Acoustics. 68(2007). P.1224-1240.
13. *Melkumyan A.* - International Journal of Solids and Structures. 2007. V. 44. P. 3594-3599.
14. *Kondaiah P., Shankar K., Ganesan N.* - Coupled Systems Mechanics. 2013. V. 2. N 1. P.1-22.
15. *Mei-Feng Liu* - Applied Mathematical Modelling. 2011. V. 35. P. 2443–2461
16. *Белубекян М. В.* В кн.:Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред. Ереван. Изд. «Гитутюн» НАН РА. 2008. С. 125-130.
17. *Piliposyan D. G., Ghazaryan K. B., Piliposian G. T.* - Ultrasonics. 2014. V. 54. N 2. P. 644–654
18. *Auld B. A.* Acoustic Fields and Waves in Solids. V. 1. 1973. Wiley. N. Y. 423 p.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.837

А. К. Матевосян

Критерий электрохимической заряженности геоэлектрической среды

(Представлено академиком Р.Т. Джрбашяном 29/VIII 2013)

Ключевые слова: *электроразведка, вызванная поляризация, переходная характеристика, критерий.*

Метод **вызванной поляризации (ВП)** основан на изучении вторичных электрохимических (поляризационных) полей в исследуемой геологической среде под действием электрического тока [1-3]. Измерения электрических полей проводятся различными временными режимами как в паузе между импульсами тока, так и во время пропускания тока (*при обеспечении требуемой стабильности поляризующего тока*).

Важнейшим условием удовлетворительной регистрации электрических (*особенно вторичных*) полей и их правильного толкования является соблюдение времени разрядки. Неполная разрядка среды исключает воспроизводимость результатов измерений и приводит к ложным заключениям. При этом основной мерой в удостоверении возврата среды в первоначальное (*исходное*) состояние перед следующим измерением является величина электрического поля (*разности потенциалов, напряженности*) между приемными электродами установки измерений. Согласно известным теоретическим и экспериментальным исследованиям и действующим электроразведочным инструкциям погрешность работ методом ВП не должна превышать 5%. Следовательно, при уменьшении вторичного электрического поля после возбуждения среды импульсом постоянного тока до значений, не превышающих нескольких процентов ее максимальной величины, это считается вполне достаточным для выполнения очередного измерения. На практике допускается, что это достигается, когда продолжительность разрядки соразмерна времени зарядки.

Следует также отметить, что в подавляющем большинстве случаев в применяемой измерительной аппаратуре, перед выполнением очередного измерения (*возбуждения электрического поля*), производится ручная или автоматическая компенсация (*что предусмотрено самой методикой работ методом ВП*) суммарной величины напряженности естественного поля и остаточной напряженности вторичного поля, возникшей после пре-

дыдущего/их измерений. При этом даже в процессе контрольных или повторных наблюдений компенсируемая величина напряженности электрического поля обычно не поддается учету или попросту игнорируется, поскольку считается несущественной.

Целью настоящей статьи является выявление закономерностей протекания разрядки геоэлектрической среды после внешнего электрического воздействия по особенностям вторичного поля. На основании их анализа предложен эффективный критерий электрохимической заряженности среды.

Путем математического моделирования и численных расчетов ВТОричных электрических процессов геоэлектрической среды с использованием **интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации (ИАВП ВП**) [4] проанализированы основные особенности зарядки и разрядки поляризующейся среды при ее возбуждении одиночным прямоугольным импульсом тока.

Основные результаты исследований приведены в табл. 1 - 4 и проиллюстрированы на рис. 1, где использованы следующие обозначения:

η_k – кажущаяся поляризуемость;

F(T) – **переходная характеристика (ПХ)** ВП:

логарифмическая зависимость

$$F(T) = \frac{1}{2\ln B}\ln\frac{(T_o + BT)B}{BT_o + T},$$

здесь B – параметр, характеризующий форму (крутизну) ПХ; интеграл вероятности

$$F(T) = 1 - \exp\left(\frac{T}{T_0\sqrt{\pi}}\right) erfc\sqrt{\frac{T}{T_0\sqrt{\pi}}};$$

T_0 – абсцисса максимума первой производной ПХ ВП по десятичному логарифму времени – постоянная времени;

$t_з$ – продолжительность зарядки (*пропускания прямоугольного импульса тока*);

при зарядке – $T/t_з$ – момент времени при пропускании тока в единицах $t_з$;

$E_0(T)$ – напряженность первичного электрического поля;

$E_{ВП}(T)$ – напряженность вторичного электрического (*электрохимического, поляризационного*) поля при зарядке в момент времени T;

$Q_з = \eta_к E_0 \int_0^{t_з} \left[1 - F(T)\right] dT$ – ИАВП ВП по заряду (*количеству электричества*) при полной зарядке;

$Q_з(T) = \eta_к E_0 \int_0^{T} \left[1 - F(T)\right] dT$ – ИАВП ВП по заряду в процессе пропускания тока в момент времени T;

$E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ – величина напряженности вторичного поля в момент времени Т, нормированная по значению напряженности вторичного поля в конце зарядки (*по максимальной величине вторичного поля*);

$Q_з(T)$ – величина ИАВП ВП $Q_з$ к моменту времени T;

$Q_з(T)/Q_з(t_з)$ – нормированная величина $Q_з(T)$ в момент времени T по ее максимальной величине в конце зарядки;

на спаде – $T/t_з$ – момент времени на спаде в единицах $t_з$;

$E_{ВП}^{*}(T)$ – напряженность вторичного поля на спаде (*при разрядке*) в момент Т;

$Q_c = \eta_к E_0 \int_0^{\infty} \left[F\left(T + t_з\right) - F\left(T\right) \right] dT$ – ИАВП ВП по заряду при полной разрядке;

$Q_c(T) = \eta_к E_0 \int_0^{T} \left[F\left(T + t_з\right) - F\left(T\right) \right] dT$ – ИАВП ВП по заряду на спаде в момент времени T;

$E^{*}_{ВП}(T)$ – напряженность вторичного поля на спаде в момент времени T;

$E^{*}_{ВП}(T)/E^{*}_{ВП}(0)$ – величина напряженности вторичного поля в момент времени Т, нормированная по значению напряженности вторичного поля в начале спада (*по максимальной величине вторичного поля*);

$Q_c(T)$ – величина ИАВП ВП Q_c к моменту T;

$Q_c(T)/Q_c$ – нормированная величина $Q_c(T)$ в момент T по ее максимальной величине в конце спада.

Отметим, что при допущении линейности процессов ВП справедливы равенства $E_{ВП}(t_з)=E^{*}_{ВП}(0)$ и $Q_з(t_з) \equiv Q_з = Q_c \equiv Q_c(\infty)$. [1, 2, 4]. Определение ИАВП ВП при изучении неоднородной геологической среды основано на результатах измерений возбужденного первичного и вторичного электрических полей в данном пункте наблюдений. Поэтому отмеченные параметры зависят не только от особенностей пространственного распределения электрических свойств (*удельного электрического сопротивления и поляризуемости*) среды, но и от конкретной примененной установки измерений. Поэтому они считаются кажущимися параметрами (*наряду с кажущимся сопротивлением и кажущейся поляризуемостью*) [4-6].

В табл. 1 - 4 приведены значения нормированной напряженности вторичного электрического поля и ИАВП ВП при зарядке (для трех случаев: T_0 равном $t_з/16$, $t_з$ и $16t_з$) $Q_з$ и на спаде Q_c при возбуждении геоэлектрической среды одиночным прямоугольным импульсом. Переходная характеристика ВП аппроксимировалась логарифмической функцией (при $B = \sqrt{1000}$) и интегралом вероятности [1, 2]. Расчеты как при пропускании, так и на спаде выполнены с временным шагом, равным 0.002 $t_з$. Моменты времени при зарядке выбраны таким образом, чтобы величина отношения $E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ увеличивалась приблизительно на величину 0.1 (*от 0 до 1 – для 11 моментов времени*) (табл.1), а на спаде – $E^{*}_{ВП}(T)/E^{*}_{ВП}(0)$

уменьшалась на 0.1 (*от 1 до 0.1 – для 10 моментов времени*) и дополнительно при 0.02, 0.01 0.002, 0.001 и 0 (табл.2).

Таблица 1

Нормированные моменты времени (*по длительности зарядки*) и величины ИАВП $Q_з$ за равные (*с шагом 0.1*) интервалы изменения нормированной напряженности вторичного поля в процессе пропускания импульса постоянного тока длительностью $t_з$ при различных T_o

	$E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$	$T_o=t_з/16$		$T_o=t_з$		$T_o=16t_з$	
		$T/t_з$	$Q_з(T)/Q_з(t_з)$	$T/t_з$	$Q_з(T)/Q_з(t_з)$	$T/t_з$	$Q_з(T)/Q_з(t_з)$
при аппроксимации ПХ ***логарифмической функцией***							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.002	0.007	0.014	0.022	0.058	0.063
3	0.2	0.004	0.013	0.032	0.048	0.124	0.134
4	0.3	0.010	0.030	0.058	0.084	0.196	0.211
5	0.4	0.018	0.050	0.094	0.132	0.276	0.294
6	0.5	0.036	0.090	0.148	0.198	0.366	0.386
7	0.6	0.066	0.148	0.222	0.284	0.468	0.489
8	0.7	0.122	0.240	0.326	0.395	0.580	0.600
9	0.8	0.230	0.384	0.478	0.547	0.704	0.720
10	0.9	**0.456**	**0.615**	**0.692**	**0.743**	**0.844**	**0.854**
11	1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
при аппроксимации ПХ ***функцией интеграла вероятности***							
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0.1	0.002	0.006	0.004	0.006	0.008	0.009
3	0.2	0.004	0.013	0.016	0.024	0.032	0.036
4	0.3	0.008	0.023	0.040	0.057	0.072	0.079
5	0.4	0.018	0.047	0.080	0.109	0.132	0.143
6	0.5	0.034	0.082	0.138	0.181	0.212	0.227
7	0.6	0.062	0.136	0.222	0.278	0.316	0.334
8	0.7	0.110	0.214	0.338	0.402	0.442	0.462
9	0.8	0.216	0.355	0.502	0.565	0.598	0.616
10	0.9	**0.426**	**0.572**	**0.730**	**0.773**	**0.782**	**0.794**
11	1.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Таблица 2

Нормированные моменты времени (*по длительности зарядки*) и величины ИАВП Q_c при определенных значениях нормированной напряженности вторичного поля на спаде после импульса постоянного тока длительностью $t_з$ при различных T_o

	$E_{ВП}^*(T)/E_{ВП}^*(0)$	$T_o=t_з/16$		$T_o=t_з$		$T_o=16t_з$	
		$T/t_з$	$Q_c(T)/Q_c$	$T/t_з$	$Q_c(T)/Q_c$	$T/t_з$	$Q_c(T)/Q_c$
при аппроксимации ПХ ***логарифмической функцией***							
1	1.0	0	0	0	0	0	0
2	0.9	0.002	0.005	0.014	0.010	0.092	0.015
3	0.8	0.004	0.011	0.034	0.024	0.212	0.033
4	0.7	0.010	0.024	0.062	0.041	0.366	0.053
5	0.6	0.020	0.043	0.108	0.064	0.574	0.076
6	0.5	0.036	0.070	0.176	0.094	0.870	0.104
7	0.4	0.068	0.114	0.290	0.134	1.32	0.139
8	0.3	0.132	0.181	0.492	0.190	2.06	0.184
9	0.2	0.274	0.288	0.914	0.272	3.56	0.247
10	0.1	**0.682**	**0.464**	**2.17**	**0.411**	**8.03**	**0.355**
11	0.02	2.78	0.748	10.3	0.684	41.4	0.592
12	0.01	4.44	**0.821**	17.8	**0.768**	78.4	**0.681**
13	0.002	11.58	0.920	53.1	0.893	-	-
14	0.001	16.96	**0.943**	80.6	**0.924**	-	-
15	0	∞	1.000	∞	1.000	∞	1.000
при аппроксимации ПХ ***функцией интеграла вероятности***							
1	1.0	0	0	0	0	0	0
2	0.9	0.001	0.003	0.004	0.000	0.008	0.002
3	0.8	0.003	0.007	0.014	0.010	0.036	0.006
4	0.7	0.008	0.018	0.040	0.025	0.092	0.015
5	0.6	0.018	0.036	0.084	0.047	0.192	0.028
6	0.5	0.034	0.059	0.156	0.079	0.360	0.047
7	0.4	0.064	0.099	0.278	0.122	0.658	0.075
8	0.3	0.120	0.155	0.496	0.182	1.22	0.115
9	0.2	0.238	0.238	0.938	0.268	2.48	0.178
10	0.1	**0.584**	**0.378**	**2.16**	**0.404**	**6.59**	**0.296**
11	0.02	2.58	0.626	9.20	0.644	36.38	0.552
12	0.01	4.38	**0.699**	15.67	**0.716**	66.60	**0.639**
13	0.002	13.82	0.816	49.13	0.831	-	-
14	0.001	22.45	**0.851**	78.66	**0.865**	-	-
15	0	∞	1.000	∞	1.000	∞	1.000

Таблица 3

Динамика изменения нормированной напряженности вторичного поля и величины ИАВП Q_c на спаде после импульса постоянного тока длительностью $t_з$ при различных T_o

$T/t_з$	$T_o=t_з/16$		$T_o=t_з$		$T_o=16t_з$	
	$E_{ВП}^*(T)$ $/E_{ВП}^*(0)$	$1-Q_c(T)$ $/Q_c$	$E_{ВП}^*(T)$ $/E_{ВП}^*(0)$	$1-Q_c(T)$ $/Q_c$	$E_{ВП}^*(T)$ $/E_{ВП}^*(0)$	$1-Q_c(T)$ $/Q_c$
*при аппроксимации ПХ **логарифмической функцией***						
0	1	1	1	1	1	1
0.01	0.692	0.976	0.923	0.992	0.988	0.998
0.02	0.590	0.957	0.864	0.985	0.977	0.997
0.05	0.448	0.910	0.739	0.966	0.943	0.992
0.1	0.341	0.850	0.614	0.940	0.893	0.984
0.2	0.242	0.762	0.475	0.900	0.808	0.969
0.5	0.130	0.600	0.297	0.808	0.632	0.932
1	**0.069**	**0.455**	**0.187**	**0.715**	**0.466**	**0.885**
2	0.031	0.312	0.107	0.603	0.307	0.820
5	0.008	0.163	0.045	0.440	0.152	0.710
10	**0.003**	**0.092**	**0.021**	**0.321**	**0.082**	**0.614**
*при аппроксимации ПХ **функцией интеграла вероятности***						
0	1	1	1	1	1	1
0.01	0.677	0.978	0.842	0.993	0.889	0.998
0.02	0.583	0.961	0.784	0.987	0.847	0.996
0.05	0.441	0.917	0.680	0.970	0.769	0.991
0.1	0.329	0.863	0.580	0.945	0.690	0.984
0.2	0.225	0.785	0.465	0.905	0.593	0.971
0.5	0.115	0.648	0.303	0.817	0.446	0.939
1	**0.060**	**0.530**	**0.193**	**0.723**	**0.332**	**0.900**
2	0.027	0.414	0.109	0.610	0.228	0.843
5	0.008	0.285	0.042	0.452	0.124	0.741
10	**0.003**	**0.212**	**0.018**	**0.344**	**0.071**	**0.645**

На рисунке представлены временные зависимости изменения нормированных напряженностей поля ВП и ИАВП в процессе пропускания одиночного прямоугольного импульса ($t_з=1\tau$) и на спаде ($t_c=100\tau$) при разных T_0 (временные параметры представлены в единицах времени τ).

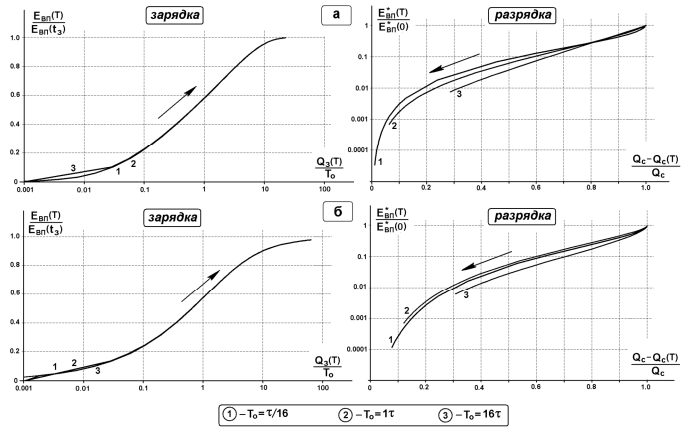
Таблица 4

Приращения ИАВП $\Delta Q_з$ и $\Delta Q_с$ за равные (*с шагом 0.1*) интервалы изменения нормированной напряженности вторичного поля при зарядке и на спаде для различных $T_о$

	Интервал изменения $E_{ВП}/E_{ВП}(t_з)$ *или* $E^*_{ВП}/E^*_{ВП}(0)$	$T_о=t_з/16$		$T_о=t_з$		$T_о=16t_з$	
		$\Delta Q_з/Q_з$	$\Delta Q_с/Q_с$	$\Delta Q_з/Q_з$	$\Delta Q_с/Q_с$	$\Delta Q_з/Q_з$	$\Delta Q_с/Q_с$
при аппроксимации ПХ ***логарифмической функцией***							
1	0.0-0.1	0.006	**0.536**	0.022	**0.589**	0.063	**0.645**
2	0.1-0.2	0.007	0.176	0.026	0.139	0.071	0.108
3	0.2-0.3	0.017	0.106	0.036	0.082	0.076	0.063
4	0.3-0.4	0.020	0.068	0.047	0.056	0.083	0.045
5	0.4-0.5	0.040	0.044	0.067	0.040	0.092	0.035
6	0.5-0.6	0.058	0.026	0.085	0.030	0.103	0.028
7	0.6-0.7	0.092	0.019	0.112	0.024	0.111	0.023
8	0.7-0.8	0.144	0.013	0.151	0.017	0.120	0.020
9	0.8-0.9	0.231	0.005	0.196	0.013	0.134	0.018
10	0.9-1.0	**0.385**	0.005	**0.257**	0.010	**0.146**	0.015
при аппроксимации ПХ ***функцией интеграла вероятности***							
1	0.0-0.1	0.006	**0.622**	0.006	**0.594**	0.009	**0.704**
2	0.1-0.2	0.007	0.140	0.018	0.136	0.027	0.118
3	0.2-0.3	0.010	0.083	0.033	0.086	0.043	0.063
4	0.3-0.4	0.024	0.056	0.052	0.060	0.064	0.040
5	0.4-0.5	0.035	0.040	0.072	0.043	0.084	0.028
6	0.5-0.6	0.054	0.023	0.097	0.032	0.107	0.019
7	0.6-0.7	0.078	0.018	0.124	0.022	0.128	0.013
8	0.7-0.8	0.141	0.011	0.163	0.015	0.154	0.009
9	0.8-0.9	0.217	0.004	0.208	0.010	0.178	0.004
10	0.9-1.0	**0.428**	0.003	**0.227**	0.001	**0.206**	0.002

Анализируя приведенные данные можно сделать следующие выводы:

- **При зарядке** постепенное увеличение отношения $E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ приблизительно на величину 0.1 приводит к неравномерному замедленному увеличению отношения $Q_з(T)/Q_з(t_з)$, что свидетельствует об основном (*доминирующем*) перераспределении электрических зарядов в исследуемой среде за последние интервалы нормированной напряженности вторичного поля. В частности, согласно табл. 1 и 4, при аппроксимации ПХ логарифмической функцией и при $T_о=t_з$ за первый промежуток времени T от 0 до $0.014t_з$ (*т.е. в течение первых* **1.4%** *времени зарядки*) отношение $E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ увеличивается на **~10%** (т.е. на 0.1), в то время как $Q_з(T)/Q_з(t_з)$ – на **~2.2%** (т.е. на 0.022). За последний промежуток времени T от 0.692 до $1.0t_з$ (*т.е. в течение последних* **~30%** *времени зарядки*) отношение $E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ также увеличивается на **10%**, в то время как $Q_з(T)/Q_з(t_з)$ – на **~26%**.



Временные зависимости изменения нормированных напряженностей вторичного электрического поля и интегральных амплитудно-временных параметров ВП в процессе пропускания одиночного импульса постоянного тока ($t_з$=1τ) и на спаде (t_c=100τ) при разных величинах T_o. Стрелкой показано направление изменения представленных зависимостей во времени. **а** – логарифмическая ПХ; **б** – ПХ, выраженная интегралом вероятности.

- **На спаде** постепенное уменьшение отношения $E^*_{ВП}(T)/E^*_{ВП}(0)$ на величину 0.1 приводит к неравномерному замедленному уменьшению отношения $Q_c(T)/Q_c$, что свидетельствует об основном перераспределении электрических зарядов в среде также за последние интервалы времени. В частности, согласно табл. 2 и 4 при логарифмической ПХ и при $t_з=T_o$ за первый промежуток времени T от 0 до $0.014t_з$ (т.е. в течение первых 1.4% времени спада) отношение $E^*_{ВП}(T)/E^*_{ВП}(0)$ *(принятый нормированный параметр, по которому судят о разрядке среды*) уменьшается на **10%** (от 1.0 до 0.9), в то время как $Q_c(T)/Q_c$ изменяется всего на 0.010 (т.е. среда разряжается на **1%**). За предпоследний промежуток времени от 0.914 до $2.17t_з$ также при уменьшении отношения $E^*_{ВП}(T)/E^*_{ВП}(0)$ на **10%** (от 0.2 до 0.1) отношение $Q_c(T)/Q_c$ уменьшается на **14%**, а за последний интервал $0<E^*_{ВП}(T)/E^*_{ВП}(0)<0.1$ (*за время спада от $2.17t_з$ до ∞ – прихода среды в первоначальное исходное состояние*) среда разряжается на **59%**. Здесь же следует особо обратить внимание, что при величине $0.01E^*_{ВП}(0)$ (*т.е. при всего лишь **1%** от максимального значения вторичного поляризационного поля – что достигается на спаде к моменту времени **~$18t_з$***) среда успела разрядиться только на **~77%** (0.768), а при $0.001E^*_{ВП}(0)$ (*при **0.1%** от максимального значения вторичного поля – что на практике однозначно считается возвратом среды в первоначальное состояние*) среда еще поляризована на **7.6%** ($Q_c(T)/Q_c=0.924$).

- С увеличением $t_з/T_o$ при зарядке величина расхождения (*несоответствия*) между отношениями $E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ и $Q_з(T)/Q_з(t_з)$ увеличивается (табл. 1), а на спаде (*при разрядке*) расхождение между $E^*_{ВП}(T)/E^*_{ВП}(0)$ и $Q_c(T)/Q_c$ уменьшается (табл. 2).
- Время разрядки существенным образом зависит от параметра T_o, и оценочно можно считать, что для обеспечения требуемой точности исследований оно должно не менее, чем на порядок, превышать время зарядки. В частности, согласно представленным в табл. 3 данным, при $t_з=T_o$ за время спада, превышающее время зарядки в 10 раз, при величине $\sim 0.02E^*_{ВП}(0)$, среда поляризована более чем на **30%**. Очевидно, что при такой степени заряженности среды считать, что она пришла в первоначальное состояние, нет оснований, несмотря на то, что величина напряженности вторичного поля составляет лишь **2%** от максимальной величины.
- **При зарядке** при нормировании ИАВП $Q_з(T)$ по величине временного параметра среды T_o представленные на рис. 1 зависимости для различных значений отношения $t_з/T_o$ практически совмещаются. **При разрядке** наблюдается некоторое отклонение графиков друг от друга, однако в целом характер зависимости не меняется.
- Сопоставление приведенных данных (табл. 1 - 4) и временных зависимостей (рисунок) свидетельствует о том, что выбор формы ПХ (*в частности, выраженной логарифмической функцией или интегралом вероятности*) в определенной степени количественно сказывается на проявлении амплитудно-временных характеристик ВП, однако это не приводит к качественному изменению выявленных закономерностей.

Таким образом, изменения используемых основных интерпретируемых нормированных параметров напряженности вторичного поля $E_{ВП}(T)/E_{ВП}(t_з)$ при пропускании тока и $E^*_{ВП}(T)/E^*_{ВП}(0)$ на спаде, искаженно отражают состояние поляризованности (*заряжаемость и разряжаемость*) геоэлектрической среды. Для достижения указанной цели предлагается в качестве таковых применять нормированные интегральные амплитудно-временные параметры $Q_з(T)/Q_з(t_з)$ при пропускании тока и $Q_c(T)/Q_c$ на спаде.

Под **критерием электрохимической заряженности C_Q** геоэлектрической среды в момент времени T после внешнего электрического воздействия предлагается принять

$$C_Q(T) = \left(1 - \frac{Q_c(T)}{Q_з}\right) \cdot 100\% .$$

Следует подчеркнуть, что согласно определениям интегральных амплитудно-временных параметров ВП [4] данный параметр также считается кажущимся и его можно использовать при произвольном возбуждении поля [5], а также при векторной съемке [6].

Выявление систематической (*методической*) ошибки, связанной с отсутствием достоверного критерия по оценке состояния электрохимической заряженности геоэлектрической среды в требуемый момент времени после внешнего электрического воздействия (*на примере прямоугольного импульса тока*), диктует необходимость корректировки действующих электро-

разведочных методических руководств и инструкций с учетом рассмотренного искажающего фактора. И не случайно, что погрешность даже грамотно и тщательно проведенных измерений методом ВП по действующим методическим инструкциям в ряде случаев достигает нескольких десятков процентов и более и обычно объясняется одновременным влиянием многих разнохарактерных неподдающихся в процессе экспериментальных исследований учету искажающих факторов. Следует также заметить, что несмотря на хорошие физико-химические предпосылки изучения геологической среды и современные научно-технические достижения за последние несколько десятилетий практически не наблюдается повышения эффективности электроразведочных работ в области разведочной геофизики (*отсутствуют весомые результаты как экспериментальных, так и теоретических исследований*).

Институт геологических наук НАН РА

А. К. Матевосян

Критерий электрохимической заряженности геоэлектрической среды

В результате математического моделирования и численных расчетов на конкретных примерах геоэлектрических сред выявлены новые закономерности разрядки после внешнего воздействия по особенностям вторичного электрического поля. На основании анализа интегральных амплитудно-временных параметров вызванной поляризации предложен критерий электрохимической заряженности среды.

Ա. Կ. Մաթևոսյան

Երկրաէլեկտրական միջավայրի էլեկտրաքիմիական լիցքավորման չափորոշիչը

Մաթեմատիկական մոդելավորման և թվային հաշվարկների արդյունքների հիման վրա որոշակի երկրաէլեկտրական միջավայրերի համար հայտնաբերված են արտաքին էլեկտրական ազդեցությունից հետո երկրորդական դաշտի առանձնահատկությունների միջոցով նոր լիցքաթափման օրինաչափությունները: Առաջարկված է միջավայրի էլեկտրաքիմիական լիցքավորման չափորոշիչ՝ հիմնվելով հարուցված բևեռացման ինտեգրալ ամպլիտուդաժամանակային չափանիշների վերլուծության վրա:

A. K. Matevosyan

Criterion of the Electrochemical Charging of Geoelectrical Medium

The new regularities of discharge after external influence on particularity of the secondary electric field are revealed as a result of the mathematical modeling and

numerical calculations on the specific examples of the geoelectric media. The criterion of the electrochemical charging of the geoelectric medium is offered on the basis of analysis of the integral amplitude-time parameters of induced polarizations.

Литература

1. *Комаров В.А.* Электроразведка методом вызванной поляризации. Л. Недра. 1980. 391 с.
2. Инструкция по электроразведке. Л. Недра. 1984. 352 с.
3. *Электроразведка.* Справочник геофизика. М. Недра. 1989. В двух книгах – 438 с., 378 с.
4. *Матевосян А.К.* – ДНАН Армении. 2001. Т. 101. №1. С. 76-83.
5. *Матевосян А.К.* – ДНАН Армении. 2001. Т. 101. №2. С. 150-157.
6. *Матевосян А.К.* – ДНАН Армении. 2011. Т. 111. №2. С. 157-163.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

ГЕОХИМИЯ

УДК 532.5

Академик С. В. Григорян, Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян

Взаимосвязь гидрогеохимических параметров минеральных вод Центральной Армении с сейсмичностью

(Представлено 21 /X 2013)

Ключевые слова: *деформация, минеральные источники, тектоника, гидрогеохимические эффекты, геодинамика.*

Мониторинговые наблюдения за геохимическим режимом вод минеральных источников центральной части Армении Суренаван, Веди, Азатаван, Арзни, Бжни ведутся в течение нескольких лет. Анализ полученных данных позволил выделить наиболее информативные параметры химического состава минеральных вод. К ним относится прежде всего газовый компонент − углекислый газ (CO_2), из макрокомпонентного состава выделены: магний (Mg), хлор (Cl), сульфат (SO_4), карбонат (HCO_3), из которых рассмотрены Mg и Cl.

Задачей настоящей работы является выявление взаимосвязи сейсмической активности с гидрогеохимическими параметрами минеральных вод за 2011-2012 гг.

Места выхода исследуемых минеральных вод приурочены к активным глубинным разломам региона. Краткая характеристика природных условий мест расположения минеральных источников описана в работе [1]. Геодинамические процессы, имевшие место в центральной части региона, отражаются на динамике изменения компонентов химического состава вод. Для макрокомпонентного состава характерным эффектовым признаком является уменьшение или увеличение среднего значения их концентраций, максимум или минимум которого фиксируется за сутки − месяцы до землетрясения. Проявлением эффекта для углекислого газа, в отличие от макрокомпонентного состава, является резкое изменение его концентрации [2]. Таким образом, гидрогеохимические эффекты можно отнести к среднесрочным и краткосрочным группам предвестников землетрясений. В качестве примера связи сейсмичности и состава минеральных вод можно привести месторождение Арзни, эксплуатируемое тремя скважинами (1/62, 3/62 и 6/64). Следует отметить, что на общую мине-

рализацию источника сильно повлияли Спитакское, а также Рачинское и Турецкое землетрясения (рис.1) [3].

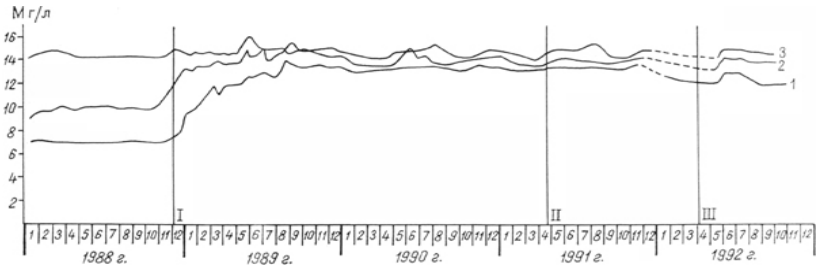
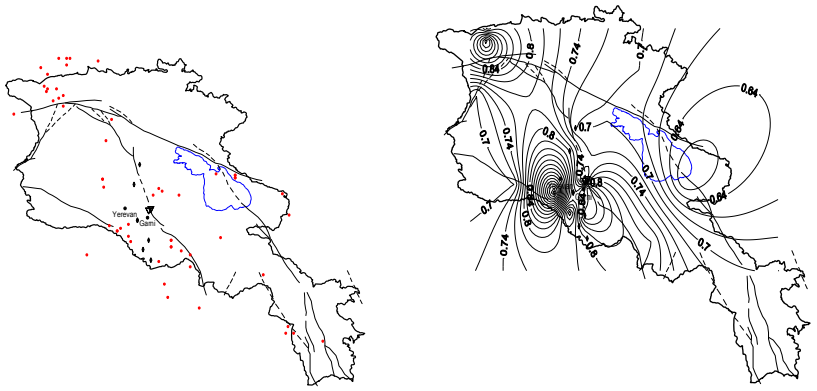


Рис.1. Изменение минерализации в Арзнинских водах: 1−скважина 6/64, 2−скважина 3/62, 3−скважина 6/64. Землетрясения: I− Спитакское, 07.12.88, M=7.0, II −, Рачинское, 29.04.91, M= 6.3, III – Турецкое, 02.04.92,M= 4.7. Данные по сейсмическим наблюдениям региона Армении получены из НССЗ РА.

Сейсмический режим территории Армении. Ниже рассматривается каталог землетрясений с $M \geq 2.5$, произошедших в период с 2011 по 2012 гг. За этот период произошло 57 сейсмических событий (рис.2,а). Как видно из рисунка, наибольшее количество землетрясений имело место в центральной и северной части региона: на карте напряженного состояния выделяются напряженные участки в аналогичных местах региона (рис.2, б). Произошедшие землетрясения относятся к внутрикоровым. Их гипоцентры расположены в основном на глубинах от 5 до 10 км.



а) б)

• - эпицентр землетрясения деформации

♦ - минеральные источники

- изолинии

Рис.2. Карта сейсмичности (а) и напряженного состояния (б) региона за 2011-2012 гг.

Землетрясение с максимальной магнитудой M=3.6 имело место в 9 км от месторождения Арзни 14.10.11 г. Расчетная деформация, которая развивалась на участке выхода минеральной воды Арзни, составляла ε=4.64 E -07 (табл. 1), т.е. на порядок ниже приливной деформации.

Рассмотрены вариации содержания геохимических компонентов, предшествующие сейсмическим событиям. Определялась взаимосвязь параметров химического состава с теми сейсмическими событиями, эпицентральные расстояния и деформация которых определялись на основании известной методики [3]

$$\varepsilon = \left(\frac{d}{10^{0.413\mathrm{M}-2.66}} - \right)^{-3},$$

где ε – деформация, d – эпицентральное расстояние, M – магнитуда землетрясения. Основное количество предполагаемых гидрогеохимических предвестников регистрируется в зоне, совпадающей по своему размеру с зоной распространения деформаций. Радиус зоны проявления определялся по формуле $R = 10^{-0.43M}$ (км).

В табл. 1 приводятся параметры землетрясений, по которым была выявлена связь с концентрацией растворенного вещества и газа в воде минеральных источников.

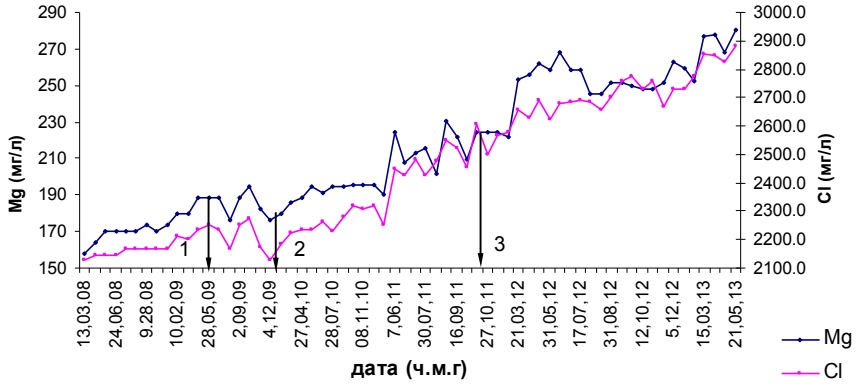


Рис. 3. Вариации содержания химических элементов (Mg, Cl) в воде минерального источника Арзни. 1–3 землетрясения: 18.06.09, M=4.1; 17.01.10, M=3.2; 14.10.11, M=3.6.

Таблица 1

Дата Землетрясения, м.ч.г	Координаты землетрясения		Магнитуда, M	Энергет. класс K	Минеральн. ист.	Эпицент. рас. d км	Деформаци, ε	Зона проявления Предвест R
	широта	долгота						
10.14.2011	40.27	44.77	3.6	10.48	Бжни	29	1.27E-08	36.2
10.14.2011	40.27	44.77	3.6	10.48	Арзни	21	3.33E-08	36.2
10.14.2011	40.30	44.66	3.6	10.48	Арзни	9	4.64E-07	36.2
10.14.2011	40.30	44.66	3.6	10.48	Гоар	21	3.33E-08	36.2
10.14.2011	40.30	44.66	3.6	10.48	Бжни	22	2.75E-08	36.2
10.14.2011	40.30	44.66	3.6	10.48	Гоар	19	4.50E-08	36.2
10.19.2011	40.02	44.48	3.4	10.12	Веди	30	6.66E-09	29.7
10.19.2011	40.02	44.48	3.4	10.12	Азатаван	30	6.66E-09	29.7
12.28.2011	39.92	44.57	3.1	9.58	Суренаван	26	4.48E-09	22.0
12.28.2011	39.92	44.57	3.1	9.58	Веди	18	1.29E-08	22.0
12.28.2011	39.92	44.57	3.1	9.58	Азатаван	18	1.29E-08	22.0
02.13.2012	40	44.73	2.3	8.14	Веди	8	1.58E-08	9.9
03.17.2012	39.77	44.82	2.6	8.68	Суренаван	8	3.61E-08	13.4

Исследованы содержания CO_2, Mg, Cl в водах минеральных источников Центральной Армении. Выявлен сезонный ход общей минерализации источника Суренаван по ряду наблюдаемых лет, также отмечен тренд на понижение по годовому ходу общей минерализации вод минерального месторождения Бжни. На графике вариаций содержания химических элементов Mg и Cl во времени для вод Арзни нанесены землетрясения, произошедшие за период наблюдений (рис. 3). Как видно из рисунка, изменение содержания этих элементов происходит синхронно, приблизительно с равной амплитудой колебания;

Наблюдается тренд на повышение их концентрации. По кривой изменения содержания углекислого газа (рис. 4) также наблюдается тренд на

повышение. Вариации содержания химических элементов на фоне тренда (повышение, понижение) указывают на деформационные процессы (сжатие, растяжение), имевшие место в местах выхода минеральных вод в связи с геодинамическими процессами в земной коре исследуемого региона. В приведенном случае можно предположить, что в водовмещающих породах месторождения Арзни происходит процесс сжатия (рис.2, б), что указывает на повышенную активность тектонических движений Ереван-Ордубадского блока, куда входят месторождения вод Арзни и Бжни [4]. Месторождения минеральных вод Азатаван, Веди и Суренаван расположены в Цахкунк-Зангезурской тектонической зоне, которая характеризуется за время наблюдений более стабильной геодинамикой.

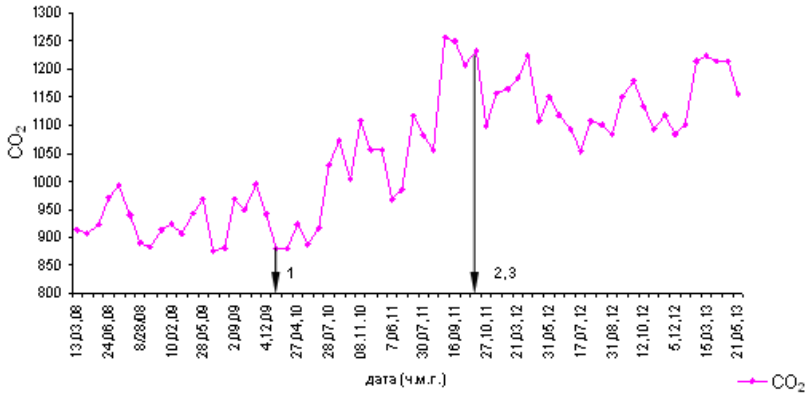


Рис. 4. Вариации содержания газового компонента – углекислого газа (CO_2) в минеральной воде Арзни.

Для выделения гидрогеохимических предвестников землетрясений необходимо было исключить вариации различных показателей химического состава вод, не связанные с сейсмической активностью. Для этой цели определялись фоновые вариации минеральных и газовых компонентов подземных вод. Аномалии, выходящие за пределы интервалов фоновых концентраций, сопоставлялись с сейсмической активностью. Для этой цели проводилась статистическая обработка рядов гидрогеохимических элементов во времени. В статистическую обработку данных входили определение среднего значения фоновых концентраций химических компонентов, среднеквадратичное отклонение от фонового значения, корреляционный анализ. Результаты корреляционного анализа показали, что существует статистически значимая связь между параметрами геохимических предвестников и характеристиками сейсмических событий [3]. В табл. 2 приводятся данные по выявлению аномальных значений концентраций CO_2, Mg, Cl в воде минеральных месторождений в связи с произошедшими землетрясениями (табл. 1) за указанный период.

Таблица 2

Минеральный источник	Землетря-сение		Фоновое значение концентрации хим. элементов Σ , мг/л			Среднеквадратичное отклонение концентрации хим.элементов S, мг/л			Дисперсия δ		
	Дата	**M**	**CO_2**	**Mg**	**Cl**	**CO_2**	**Mg**	**Cl**	**CO_2**	**Mg**	**Cl**
Арзни	01.17.2010	3.2	1049	215	2445	61	3	56	3 S	1 S	2 S
	10.14.2011	3.6	1049	215	2445	135	4	106	1 S	1 S	2 S
	10.14.2011	3.6	1049	215	2445	135	4	106	1 S	1 S	2 S
Бжни	10.14.2011	3.6	935	70	448	8	2	46	28 S	3 S	5 S
	10.14.2011	3.6	935	70	448	8	2	46	28 S	3 S	5 S
Веди	10.19.2011	3.4	945	107	118	50	5	4	4 S	1 S	1 S
	12.28.2011	3.1	945	107	118	34	15	4	6 S	1 S	1 S
	10.19.2011	3.4	640	91	17928	42	17	426	3 S	1 S	12S
Азатаван	12.28.2011	3.1	640	91	17928	34	9	274	4 S	6 S	11S
Суренаван	12.28.2011	3.1	279	341	463	26	7	3	4 S	3 S	3 S
	03.17.2012	2.6	279	341	463	42	18	7	2 S	1 S	1 S

Выводы. Изучение природы фоновых изменений концентрации химических компонентов является необходимым условием для обоснованного выделения гидрогеохимических предвестников землетрясений.

Аномалии газового и макрокомпонентого состава подземных вод являются отражением напряженного состояния горных пород. Изменение концентрации химических компонентов под влиянием тектонической деятельности происходит в определенной последовательности. На напряженное состояние горных пород первым реагирует газовый состав − углекислый газ, вторым − макрокомпонентный состав − Mg,Cl.

Институт геологических наук НАН РА

Академик С. В. Григорян, Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян

Взаимосвязь гидрогеохимических параметров минеральных вод Центральной Армении с сейсмичностью

Приводятся мониторинговые наблюдения по геохимии минеральных вод Центральной Армении за 2011-2012 гг. Показана взаимосвязь сейсмичности региона с гидрогеохимическими компонентами минеральных вод. Рассмотрены параметры произошедших землетрясений, при которых наблюдаются гидрогеохимические эффекты. Рассмотрены результаты статистической обработки временных рядов гидрогеохимических элементов. Выявлены аномальные значения концентраций гидрогеохимических компонентов минеральных вод, связанные с произошедшими землетрясениями. Выделены напряженные участки региона.

Ակադեմիկոս Ս. Վ. Գրիգորյան, Ռ. Ա. Փաշայան, Լ. Վ. Հարությունյան

Կենտրոնական Հայաստանի հանքային ջրերի հիդրոերկրաքիմիական պարամետրերի փոխկապվածությունը սեյսմիկության հետ

Բերվում են Կենտրոնական Հայաստանի հանքային ջրերի մոնիթորինգային ուսումնասիրությունները 2011-2012 թթ.: Ցուցադրվել է փոխկապվածությունը տարածաշրջանի սեյսմիկության և հանքային ջրերի հիդրոերկրաքիմիական բաղադրիչների միջև: Դիտարկվել են տեղի ունեցած երկրաշարժերի պարամետրերը, որոնց դեպքում առկա է հիդրոերկրաքիմիական էֆեկտ: Դիտարկվել են հիդրոերկրաքիմիական բաղադրիչների ժամանակային շարքերի ստատիկ մշակման արդյունքները: Բացահայտվել են հանքային ջրերի հիդրոերկրաքիմիական բաղադրիչների կոնցենտրացիաների անոմալ արժեքները կապված տեղի ունեցած երկրաշարժերի հետ: Առանձնացվել են տարածաշրջանի լարվածային հատվածները:

Academician S. V. Grigoryan, R. A. Pashayan, L.V. Harutyunyan

The Interconnection of Hydrogeochemical Parametres of Mineral Water of Central Armenia with Seismicity

The monitoring observations on geochemistry of mineral water of Central Armenia for 2011-2012 are brought. The interconnection between seismicity of the region and geochemical components of mineral water is demonstrated. There were considered the parameters of the occurred earthquakes during which hydrogeochemical effects were observed. The results of statistical processing of time series of hyrogeochemical elements were examined. The abnormal values of the concentration of hydrogeochemical components of mineral water in connection to the occurred earthquakes were revealed. The stressed areas of the region were distinguished.

Литература

1. *Пашаян Р. А.* − Известия НАН РА. Науки о Земле. 2008. Т. 61. N 3. С. 32-37.
2. *Пашаян Р. А., Багумян Л. С.* − Доклады НАН РА. 2011. Т. 111. N 4. С. 364-372.
3. *Пашаян Р. А.* Исследование гидрогеодинамических эффектов как предвестников землетрясений на территории Армении. Канд. дис. Ереван. 1998. 163 с.
4. *Пашаян Р. А., Туманян Г. А., Ахвердян Л. А.* В кн.: Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск. 2013. С. 242-246.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

БИОХИМИЯ

УДК 577.152.35

Академик М. А. Давтян, Н. Н. Айрапетян, М. А. Хачатрян, А. П. Григорян

Гуаниндезаминаза и гуанозиндезаминаза в различных биологических объектах

(Представлено 12/VI 2013)

Ключевые слова: *гуаназа, гуанозиндезаминаза, изоэнзимы.*

Ферментативные нарушения пуринового обмена при иммунодефицитных состояниях были впервые обнаружены в 1972 г. В последние годы возрос интерес к ферментам пуринового метаболизма, в частности к ферментам гуаниновой ветви пуринового обмена. Очевидно, что катаболизм гуанина и гуанозина занимает определенное и немаловажное место в общем пуле пуринового обмена, а значимость гуаназы и гуанозиндезаминазы в метаболизме пуриновых соединений неоспорима. Заметное изменение активностей ферментов, дезаминирующих гуанин и гуанозин, наблюдается при различных патогенетически неоднородных заболеваниях (подагра, остеоартроз, некоторые аутоиммунные заболевания) [1]. Показано, что изменения активностей гуанозиндезаминазы (ГЗДА) и гуаниндезаминазы (ГДА) зависят от клинических особенностей этих болезней, от стадии заболевания и некоторых других показателей. Литературные данные свидетельствуют, что в зависимости от характера патологии и тяжести заболевания эти ферменты могут проявлять разную активность [2]. Известно, например, что при остеоартрозе (ОА) в лимфоцитах больных выявлено заметное понижение гуаниндезаминазной активности, но повышение гуанозиндезаминазной активности, что указывает на усиление катаболизма гуанозина в лимфоцитах, что может влиять на функциональную деятельность последних, в эритроцитах же заметна инактивация обоих ферментов. В плазме крови таких больных ГДА активизируется, а ГЗДА, наоборот, проявляет более слабую активность. При подагре в лимфоцитах, эритроцитах, плазме крови также отмечена зависимость активностей ГДА и ГЗДА от тяжести заболевания [3]. Зарегистрирован резкий рост активности ферментов пуринового метаболизма в плазме крови (более чем в 10 раз относительно показателей здоровых лиц), отражающий определенные

закономерности патогенеза инфаркта, в частности, поступление ферментов в плазму из разрушенных клеток миокарда, а также изменения метаболизма кардиомиоцитов, происходящие при ишемии. Считается приемлемым использование уровня активности ГДА и ГЗДА в качестве достоверного критерия в ранней диагностике определенных болезней, а также рассматривается возможность использования ГДА и ГЗДА в качестве энзимных тестов для дополнительной диагностики ОА, подагры, гепатита [4, 5].

В настоящей статье проведено одновременное исследование свойств ГДА и ГЗДА. Представлены результаты исследования активности этих ферментов на разных биологических объектах (лягушка, кролик), а также их изоэнзимный спектр.

Методы и результаты обсуждения. Активность исследуемых ферментов определялась в гомогенатах печени, почек кроликов и лягушек. Готовились 20%-ные гомогенаты органов в 0.1М К-фосфатном буфере (pH 7.4). Пробы инкубировались 2 ч при 37˚С, реакцию останавливали 20%-ным раствором ТХУ. Активность ферментов определялась колориметрическим методом, основанным на измерении освобожденного NH_3 с реактивом Несслера.

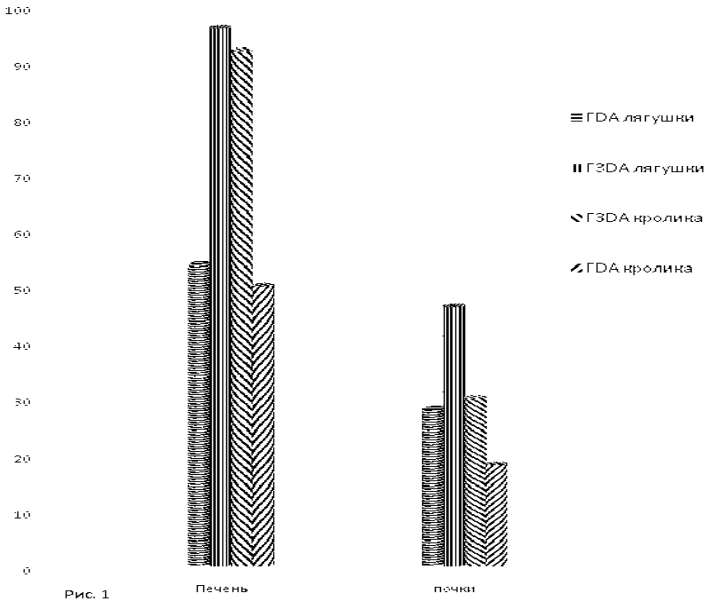


Рис. 1

Рис. 1. Распределение активности гуаназы и гуанозиндезамназы в гомогентах органов лягушки и кролика (мкм NH_3 в 1 г св. тк.)

Полученые значения активностей ферментов свидетельствуют, что активности ГДА и ГЗДА разнятся как в зависимости от организма, так и в зависимости от органов. Как видим, в гомогенатах как печени, так и почек кролика гуаназа проявляет более слабую активность, чем гуанозиндезаминаза (примерно в 2 раза слабее).

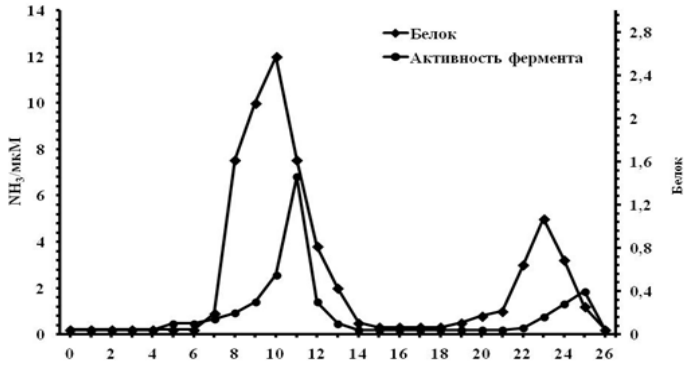


Рис. 2. Изоэнзимный спектр гуаниндезаминазы печени кролика

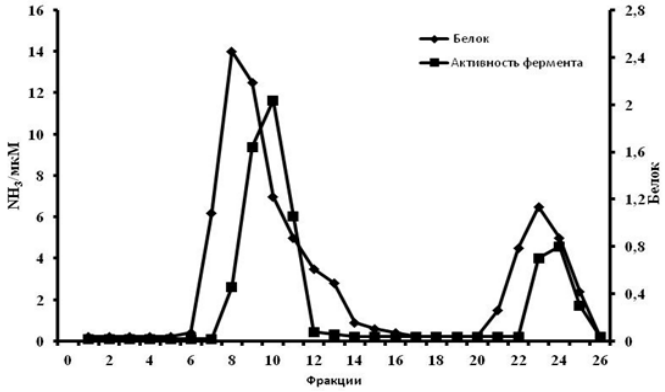


Рис. 3. Изоэнзимный спектр гуаниндезаминазы печени кролика.

В гомогенатах органов лягушки выявлена та же закономерность, здесь также активность гуанозиндезаминазы значительно превалирует (рис. 1). Однако надо отметить, что как гуанозиндезаминаза, так и гуаназа гомогената почек лягушки проявляют более высокую активность, чем ферменты почек кролика (рис. 2).

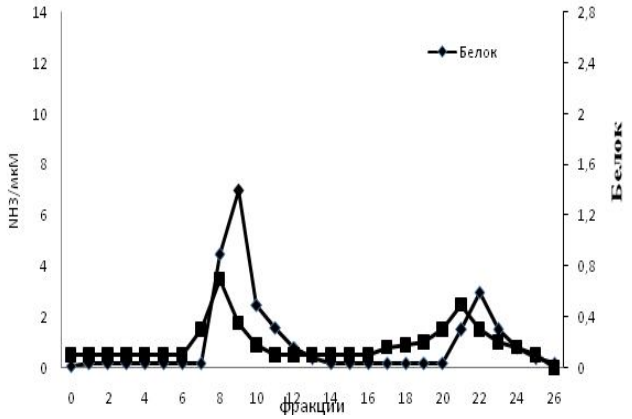


Рис. 4. Изоэнзимный спектр гуаниндезаминазы почек кролика.

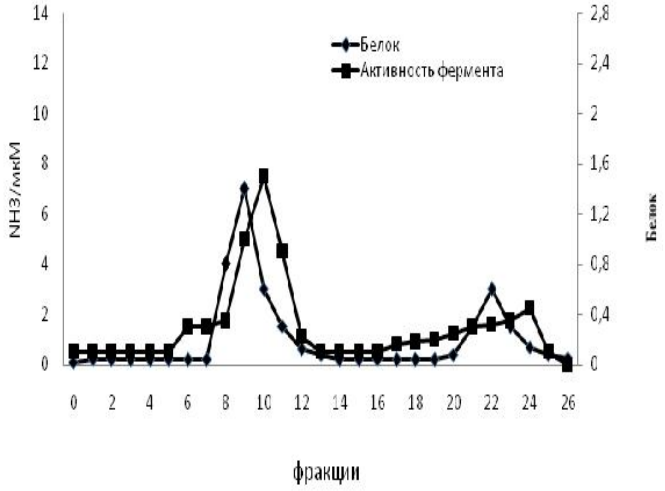


Рис. 5. Изоэнзимный спектр гуаниндезаминазы почек кролика.

С целью выявления изоэнзимного спектра данных ферментов проводилась гельфильтрация надосадков гомогенатов печени, почек лягушки и кролика. Гельфильтрация через Sefadex G-150 проводилась в колонке 2.5х60 см, объем фракций 5 мл, в активных фракциях определялась активность ферментов. При гельфильтрации надосадка печени кролика активности и гуаназы, и гуанозиндезаминазы проявляются в виде 2 пиков, причем

I пик по активности преобладает и фильтруется с фракцией высокомолекулярных белков, а II пик – с фракцией низкомолекулярных белков (рис. 2, 3).

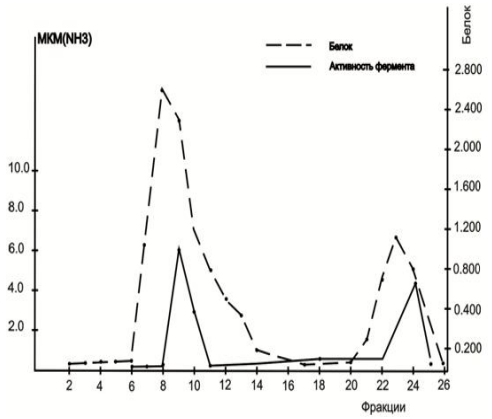


Рис. 6. Изоэнзимный спектр гуаниндезаминазы почек лягушки.

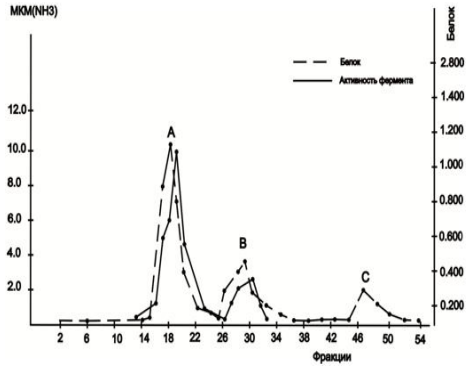


Рис. 7. Изоэнзимный спектр гуанозиндезаминазы почек лягушки.

Изоэнзимы четко разделяются от белковых фракций. Та же картина наблюдается в результате гельфильтрации надосадков гомогената почек кролика и лягушки. Гуаназа и гуанозиндезаминаза представлены двумя изоэнзимами, только разница активностей высокомолекулярного изоэнзима гуаниндезаминазы почек как кролика, так и лягушки от низкомолекулярного выражена слабее (рис. 4-7). При гельфильтрации же экстракта печени лягушки выявлены 3 пика гуанозиндезаминазной активности, причем активность низкомолекулярных изоэнзимов, соответствующих низкомолекулярным белкам, значительно выше по сравнению с высокомолекулярными.

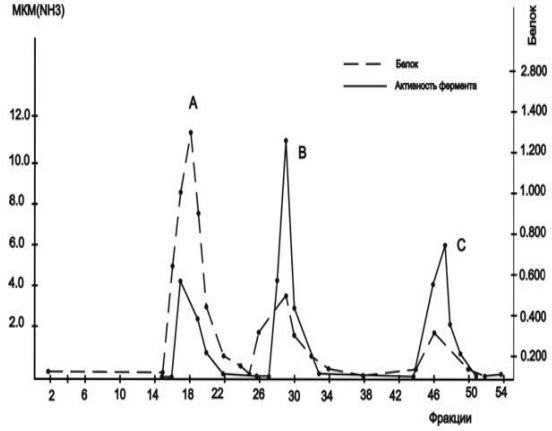


Рис. 8. Изоэнзимный спектр гуанозиндезаминазы печени лягушки.

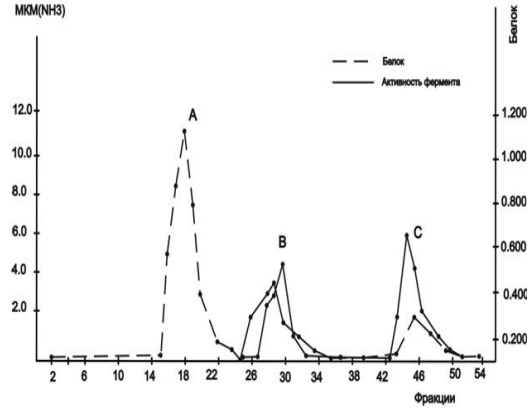


Рис. 9. Изоэнзимный спектр гуаниндезаминазы печени лягушки.

В экстракте печени лягушки проявляются два пика гуаниндезаминазной активности, здесь по активности преобладает низкомолекулярный изоэнзим (рис. 8, 9).

Ереванский государственный университет

Академик М. А. Давтян, Н. Н. Айрапетян, М. А. Хачатрян, А. П. Григорян

Гуаниндезаминаза и гуанозиндезаминаза в различных биологических объектах

Представлены результаты исследования активностей ферментов гуаниновой ветви пуринового метаболизма: гуаниндезаминазы и гуанозиндезаминазы в гомо-

генатах некоторых органов кролика и лягушки. Также представлены изоэнзимные спектры этих ферментов в экстрактах исследуемых органов.

Ակադեմիկոս Մ. Ա. Դավթյան, Ն. Ն. Հայրապետյան, Մ. Հ. Խաչատրյան, Ա. Պ. Գրիգորյան

Գուանինդեզամինազան և գուանոզինդեզամինազան տարբեր կենսաբանական օբյեկտներում

Ներկայացվում են պուրինային մետաբոլիզմի գուանինային ճյուղի գուանազա և գուանոզինդեզամինազա ֆերմենտների ակտիվության ուսումնասիրությունների արդյունքները ճագարի և գորտի որոշ օրգանների հոմոգենատներում: Ներկայացվում է նաև այդ ֆերմենտների իզոէնզիմային սպեկտրը ուսումնասիրվող օրգանների էքստրակտներում:

Academician M. A. Davtyan, N. N. Hayrapetyan, M. H. Khachatryan, A. P. Grigoryan

Guanindeaminase and Guanosindeaminase in Different Biological Objects

The activity of guanase and guanosindeaminase enzymes in biological organisms have been shown in our previous studies. In this article we present the results of simultaneous studies on the enzymes of guanine branch of purine metabolism, in homogenates of some organs of rabbits and frogs. The article also presents the isoenzymes of these enzymes in the extracts of above-mentioned organs.

Литература

1. *Кудряков Р.Ш.* Клинико-диагностическое значение исследования активности гуаниндезаминазы, гуанозиндезаминазы, пуриннуклеозидфосфорилазы в сыворотке крови больных с ограниченными и системными формами склеродермии и красной волчанки. Автореф. канд. дис. Волгоград. 2004.
2. *Григорьянц С. Р., Мозговая Е. Э.* В кн.: Материалы XII международной научн. конф. молодых ученых “Ломоносов”. Изд-во МГУ. 2005. С. 430-431.
3. *Герусов Ю. И., Евдокимова Е. В.* - Мед. акад. журн. 2010. Т.10. N 2. С.77-83.
4. *Григорьянц С. Р.* Клинико-диагностическое значение исследования активности гуаназы, гуанозиндезаминазы, гуанозинфосфорилазы в лизатах лимфоцитов, эритроцитов и в плазме крови больных остеопорозом и подагрой. Автореф. канд. дис. Волгоград. 2005.
5. *Xiroko M., Xiroxito N.* - The Journal of Medical Investigation. 2003. V. 50. P.64-71.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

БИОХИМИЯ

УДК 615.277.3, 543.852.6

П. А. Казарян[1,2], Г. М. Галоян[2]

Изучение транспортных АТФазных систем плазматических мембран эритроцитов и гепатоцитов при саркоме-45 и после применения нового производного циансодержащих лактонов

(Представлено чл.- кор. НАН РА А.А. Трчуняном 7/II 2014)

Ключевые слова: *саркома-45, активность АТФаз, противоопухолевая активность, новое производное циансодержащих лактонов*

Прогресс в химиотерапии опухолевых заболеваний, в первую очередь, определяется разработкой и созданием новых противоопухолевых препаратов, что часто затруднено из-за высокой токсичности и избирательности действия биологически активных веществ. В этом плане особый интерес представляют ненасыщенные циансодержащие лактоны – бутенолиды (ЦТБО), многие представители которых успешно применяются в онкологии [1]. Вместе с тем доказано, что одним из структурно-функциональных локусов, вовлекаемых в механизмы канцерогенеза различной этиологии, являются биомембраны [2-5].

Важнейшие достижения молекулярной биологии за последние годы связаны с изучением биологических мембран и транспортных АТФаз. Активность ферментных систем и характер липид-липидных соотношений в биомембранах может отражать способность клетки реагировать на происходящие в тканях и органах изменения при злокачественном росте и в динамике химиотерапии [2]. Транспортные АТФазы, встроенные в биологические мембраны, образуют ионные насосы, изучение которых является ведущей проблемой для целого ряда лабораторий, ей посвящены многочисленные исследования как в нашей стране, так и за рубежом [6-9].

Ранее нами было доказано, что опухолевый процесс и некоторые высокотоксичные противоопухолевые препараты оказывают положительное действие на структурно-функциональное состояние организма, в

частности, на мембранные структуры гепатоцитов и эритроцитов [9-11]. Исходя из того, что важнейшим свойством мембран, в том числе и иммунокомпетентных клеток, является обеспечение избирательной проницаемости ионов и различных веществ, а также из роли АТФазной системы в обеспечении активного транспорта через плазматические мембраны представляло интерес изучение активности Na/K- и Mg-АТФаз – важнейших регуляторов клеточного метаболизма.

Цель настоящего исследования–изучение некоторых патогенетических механизмов развития опухолевого процесса при саркоме-45 и после примененения ЦТБО (2-циан-3,4,4-триметил-2-бутен-4-олид) путем исследования активности Na/K- и Mg-АТФаз в мембранах эритроцитов и гепатоцитов.

Материал и методы. Эксперименты проводились на 36 беспородных белых крысах-самцах линии Вистар массой 140-160 г, разделенных на три опытные группы. Первая контрольная группа состояла из 12 интактных животных. Животным второй и третьей группы (12 крыс в каждой) подкожно был перевиван штамм саркомы-45 [12]. Перевивку производили в стерильных условиях в специальном боксе лаборатории токсикологии и химиотерапии ИТОХ НАН РА. Саркома-45 (С-45) – экспериментальная опухоль веретеноклеточного происхождения, полученная в результате введения диметилбензантрацена в подкожную клетчатку животных в 1957 г. (Е.Е. Погосянц). Штамм саркомы-45 был получен из опухолевого банка Онкологического научного центра МЗ РФ (Москва) [12].

Начиная с пятого дня перевивки, после регистрации роста опухоли, животные взвешивались, затем близкие по весу тела и размерам опухолей разделялись по группам. Животным третьей группы ежедневно в течение 8 дней вводился испытуемый препарат ЦТБО в виде крахмального раствора в дозе 17.5 мг/кг, обладающий противоопухолевой активностью [9-11].

Животных декапитировали под легким эфирным наркозом на 15-й день опыта, исследуемые органы изолировались в холодных условиях (0-4^{0}C). В наших опытах использовали мембраны эритроцитов и гепатоцитов, полученные общепринятыми методами дифференциального центрифугирования.

Активность АТФаз определяли по модифицированному методу Фиске и Собарроу, основанному на регистрации прироста неорганического фосфора в среде в ходе АТФазной реакции [13]. Среда определения Na^+,K-АТФазы, помимо необходимых катионов, содержала 0.1 мМ уабаина. Реакцию начинали добавлением в пробы раствора АТФ нужной концентрации, прекращали с помощью 5%-ного раствора ТХУ.

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

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

Результаты и обсуждение. В условиях эксперимента при оценке противоопухолевой активности по степени ингибирования роста опухоли (в % к контролю) установлено, что ЦТБО при внутрибрюшинном введении приводит к угнетению роста опухоли на 45.4%. По нашим данным, при С-45 наблюдаются значительные изменения активности липидзависимых и мембраносвязанных АТФаз как в эритроцитах, так и в гепатоцитах (рис. 1, 2). При этом в мембранах эритроцитов крови (рис.1) установлено резкое (почти четырехкратное), статистически достоверное ($p<0.01$) увеличение Na/K-АТФазной активности с одновременным значительным (двукратным) снижением активности Mg-АТФазы.

После введения препарата ЦТБО в мембранах эритроцитов крови активность Na/K-АТФазы приближается к норме, хотя не доходит до уровня контрольных величин, а активность Mg- АТФазы продолжает снижаться.

Существенные изменения в активности АТФаз наблюдаются также в мембранах гепатоцитов при саркоме-45. Так, при этом активность Na/K-АТФаз достоверно ($p<0.001$) снижается.

После внутрибрюшинного введении ЦТБО активность Na/K АТФаз в гепатоцитах приближается к норме. Примечательно, что в этих условиях активность Mg-АТФаз и общая АТФазная активность увеличиваются как при саркоме-45, так и после применения исследуемого препарата, что, по-видимому, связано с увеличением концентрации АТФ [10].

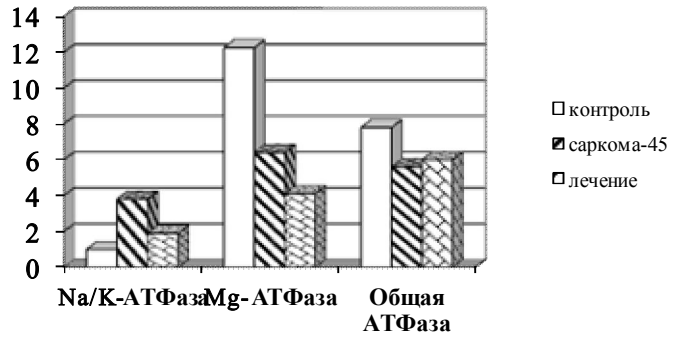


Рис. 1. Изменение активности АТФаз в мембранах эритроцитов крови крыс при саркоме-45 (в мкг Фн/мг белка) и после применения ЦТБО.

По современным представлениям [5,14] изменение активности АТФаз главным образом связано с модификацией липидных компонентов биомембран, нарушением липид-липидных соотношений, изменением физико-химических свойств мембранных структур клеток. Физиологическая роль липидной фазы мембранных структур заключается в создании микроокружения, обеспечивающего конформационную стабильность мембраносвязанных белков–ферментов, в том числе и АТФаз [3, 6].

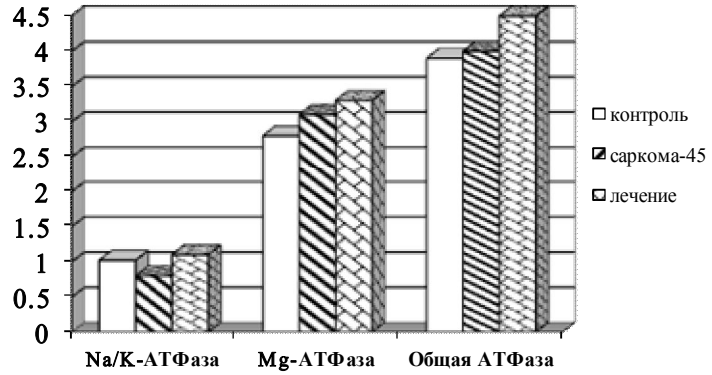


Рис. 2. Изменение активности АТФаз в гепатоцитах крыс при саркоме-45 (в мкг Фн/мг белка) и после применения ЦТБО.

Ранее нами были проведены также исследования по изучению активности процессов деградации фосфатидов-глицеридов биомембран, изменения адениновых нуклеотидов при С-45 и после применения ЦТБО [9, 10]. Установлено, что при С-45 в эритроцитах и гепатоцитах многократно повышаются коэффициент соотношения ЛФХ/ФХ и активность фосфолипазы A_2. Наблюдается статистически достоверное снижение концентрации АТФ как в гепатоцитах, так и в мембранах эритроцитов [9-11].

Таким образом, саркома (С-45) характеризуется нарушением деятельности мембраносвязанных ферментов, обмена адениннуклеотидов и изменением качественного и количественного состава ФЛ биомембран. Наблюдаемые при этом нарушения липид-липидных и липид-белковых взаимоотношений сопровождаются существенными изменениями со стороны важнейших функций мембранных образований, включая транспортные и мессенджерные процессы, рецепцию эндогенных метаболически активных соединений, механизмы клеточных контактов. Это в свою очередь может явиться серьезной предпосылкой для нарушения функционального состояния биомембран при саркоме-45.

Полученные нами данные позволяют заключить, что ЦТБО характеризуется мембраностабилизирующим свойством в плане регуляции нарушенных метаболических процессов при саркоме-45.

[1] Гематологический центр им. Р.О.Еоляна МЗ РА
[2] Ереванский государственный университет

П. А. Казарян, Г. М. Галоян

Изучение транспортных АТФазных систем плазматических мембран эритроцитов и гепатоцитов при саркоме-45 и после применения нового производного циансодержащих лактонов

Установлено, что после применения нового производного 4-бутенолидов отмечается почти полная нормализация активности Na^+,K^+- и Mg-АТФаз в мембранах как эритроцитов, так и гепатоцитов (за исключением активности Mg-АТФаз).

Պ. Ա. Ղազարյան, Գ. Մ. Գալոյան

Տրանսպորտային ԱԵՖազային ակտիվության ուսումնասիրությունը էրիթրոցիտների և հեպատոցիտների թաղանթներում սարկոմա-45-ի ժամանակ և ցիան խումբ պարունակող լակտոնների նոր ածանցյալի օգտագործումից հետո

Բացահայտված է, որ 4-բութենօլիդների նոր ածանցյալի օգտագործումից հետո նկատվում է Na/K- և Mg-ԱԵՖազաների ակտիվության գրեթե լրիվ նորմավորում ինչպես էրիթրոցիտների, այնպես էլ հեպատոցիտների թաղանթներում (բացառությամբ Mg-ԱԵՖազային ակտիվության):

P. A. Ghazaryan, G. M. Galoyan

The Study of Transport ATPase Activity of Membranes of Erythrocytes and Hepatocytes in Sarcoma-45 and after Application Cyan Containing New Derivative of Lactones

It has been established that almost complete normalization of the activity of Na/K-, and Mg-ATPases in blood erythrocytes and hepatocytes membranes (except Mg-ATPase activity) is indicated after application of a new derivative of 4-butenolides.

Литература

1. *Аветисян А. А., Токмаджян Г. Г.* - Хим.журн. Армении. 1993. Т. 46. N 3-4. С. 219-236.
2. *Шапот В. С.* Биохимические аспекты опухолевого роста. Медицина. М. 1975. 304 с.
3. *Крепс Е. М.* - Липиды клеточных мембран. Л. Наука. 1981. 340 с.
4. *Владимиров Ю. А.* - Соросовский образовательный журнал. 2000. N6 (12). С.13-19.
5. *Ghazaryan P. A., Panosyan T. R., Ghochikyan T. V. et al.* - Blood. 2010. N1(10). P.25.
6. *Թոչունյան Ա. Ա.* - Կենսաբանական թաղանթներ, Զանգակ - 97. Երևան, 2001, էջ 95-105.
7. *Болдырев А. А.*- СОЖ. 1998. N4. С. 2-9.

8. *Болдырев А. А.* - Современное состояние проблемы транспортных АТФаз и транспортные аденозинтрифосфатазы. М. МГУ. 1977. С. 115.
9. *Казарян П. А., Галоян Г. М., Аветисян А. А. и др.* – Вестник МАНЭБ. СПб. 2006. Т. 11. N8. Вып.2. С.261-264.
10. *Пепанян А. А., Казарян П. А., Аветисян А. А., Галоян Г. М. и др.* – Новое в геометрии и трансфузиологии, Киев. 2007. N6. С.112-120.
11. *Галоян Г. М., Казарян П. А., Саакян Л. С. и др*. – Кровь. Ереван. 2008. N2(8). С.53
12. *Першин Г. Н.* – В кн.: Методы в экспериментальной химиотерапии. М. Медицина. 1971. С. 364-365.
13. *Захарова Н. Б., Рубин В. И.* - Лабораторное дело. 1980. N12. С. 735-738.
14. *Надирадзе Н. И., Грекулова А. Н., Ковтарадзе В. Г.* - Бюл. эксперим. биол. и мед. 1993. Т. 125. N2. С. 135.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

ЭКОЛОГИЯ

УДК 502:656. 629:113

Г. С. Ерицян

Изменение силы сопротивления качению шин в горных условиях эксплуатации и его влияние на экологичность автомобиля

(Представлено чл.-кор. НАН РА С. П. Давтяном 15/XI 2013)

Ключевые слова: *сопротивление качению, расход топлива, внутреннее давление шины, экологическая эффективность, скорость движения.*

В горных условиях эксплуатации снижение скорости движения автомобиля осуществляется по следующим основным причинам:

- увеличение общего (суммарного) дорожного сопротивления движению;
- ухудшение тягово-динамической характеристики автомобиля [1].

Снижение скорости влечет за собой снижение количества фактического груза, находящегося в кузове автомобиля, и его производительности (т.е. снижение экономической эффективности). Этим явлениям одновременно сопутствует увеличение расхода топлива, что приводит к изменению экологической эффективности подвижного состава.

Г. Р. Ленашвили указывает: "По своему влиянию на тягово-скоростные свойства автомобиля снижение мощности двигателя из-за высотного фактора равноценно соответствующему увеличению коэффициента сопротивления движению, поэтому его величину можно представить в виде трех слагаемых:

$$K_Д = \Delta\psi_0 + \Delta\psi_R + \Delta\psi_Д , \qquad (1)$$

где ψ_0 – коэффициент сопротивления движению, обусловленный макро- и микропрофилем опорной поверхности; $\Delta\psi_R$ – прирост коэффициента сопротивления движению от криволинейности траектории; $\Delta\psi_Д$ – условное приращение его, равное по величине снижению динамического фактора автомобиля от высоты местности над уровнем моря" [1].

Формула (1) показывает, что если в равнинной местности, где высота близка к уровню моря, суммарное дорожное сопротивление движению составляет $\Delta\psi_0$, то в горных условиях оно возрастает и достигает $K_Д$.

В горных условиях снижению скорости движения подвижного состава способствуют следующие обстоятельства:

1. По мере увеличения высоты при снижении внутреннего давления шины [2], конечно, увеличиваются коэффициент f и сила сопротивления качению P_f. Одновременно по мере снижения плотности воздуха сила сопротивления воздушной среды уменьшается. Но это снижение происходит медленнее, чем снижение динамического фактора автомобиля [3].

2. С целью снижения энергонагруженности тормозных систем и обеспечения безопасности движения на спусках водители пользуются низшими передачами.

Хотя при малых скоростях невысока и сила P_f, однако увеличение коэффициента сопротивления качению шин в горных условиях заметно при всех передачах. В этом можно убедиться простейшими расчетами. Так, при изменении скорости от 20 до 100 км/ч (в 5 раз) коэффициент f увеличивается в 1.47 раза, а при изменении высоты местности от 1000 до 2000 м (в 2 раза) внутреннее давление шины увеличивается приблизительно на 0.04×10^5 Па (в 1.1 раза).

Проведенные нами испытания показали, что при одновременном изменении внутреннего давления передних шин от 0.21 до 0.20 МПа (на 5%) и задних шин от 0.25 до 0.24 МПа (на 4%) коэффициент f меняется в пределах 0.0137...0.0156 (увеличивается на 13.8%). Таким образом, при отмеченных двух обстоятельствах коэффициент f увеличивается. Следовательно, в формуле (1) можно добавить еще одну слагаемое:

$$K'_Д = \Delta\psi_0 + \Delta\psi_R + \Delta\psi_Д + \Delta\psi_B, \qquad (2)$$

где $\Delta\psi_B$ – изменение коэффициента сопротивления качению шины в результате изменения внутреннего давления.

То есть суммарное дорожное сопротивление в горных условиях увеличивается от $\Delta\psi_0$ до $K'_Д$ (очевидно, что $K'_Д > K_Д$). Это в свою очередь приводит к дополнительному увеличению расхода топлива.

Известно, что коэффициент (сила) сопротивления качению шин зависит от следующих параметров: скорости движения автомобиля (V_0), его массы (m_a) и внутреннего давления шины (P_{BH}). Для определения изменения силы сопротивления качению шин P_f и расхода топлива в зависимости от P_f на автомобиле ГАЗ - 31105 проводились эксплуатационные испытания. Все необходимые опытные и расчетные данные для определения коэффициента сопротивления качению экспериментально-расчетной методикой [2] приведены в таблице и на рис. 1. В таблице представлены значения внутреннего давления шин для передних $\left(P_{B1} = 2.1 \cdot 10^5\ Па\right)$ и задних $\left(P_{B2} = 2.1 \cdot 10^5\ Па\right)$ колес.

Значения коэффициента сопротивления качению и времени выбега при $P_{BH1} = 2.1 \cdot 10^5\ Па, P_{BH2} = 2.5 \cdot 10^5\ Па$, масса автомобиля $m_1 = 1600\ кг$ и $m_2 = 1825\ кг$

V_0, м/с		5.55	8.33	11.11	13.88	16.66
t, c	m_1	52	74	92	105	113
	m_2	50	72	89	102	111
f	m_1	0.0106	0.0109	0.0114	0.0119	0.0129
	m_2	0.0111	0.0113	0.0119	0.0125	0.0137

Примечание: t – время выбега.

Из анализа данных таблицы и графиков (рис. 1) следует:

1. по мере увеличения начальной скорости увеличивается и коэффициент f. Например, при $V_0 = 5.55$ м/с $f = 0.0106$, а при $V_0 = 16.66$ м/с $f = 0.0129$. То есть когда скорость увеличивается в три раза, f увеличивается в 1.22 раза (на 22%);
2. увеличение полной массы автомобиля на 13% приводит к увеличению коэффициента f на 4.5%;
3. при неизменной массе ($m = 1825$ кг) снижение давления шины на 0.1×10^5 Па увеличивает коэффициент f приблизительно на 10...17%, если скорость автомобиля в пределах 20...60 км/ч;
4. на горизонтальном участке дороги первой категории коэффициент сопротивления качению, при средних скоростях, находится в пределах 0.0111 ...0.0134.

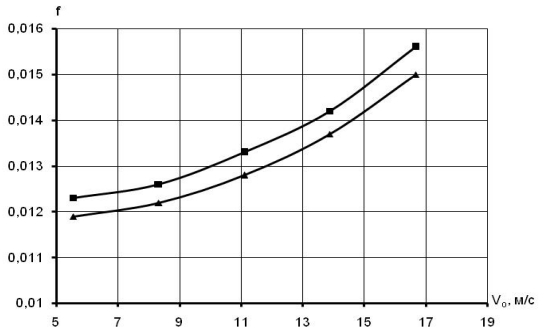


Рис.1. Зависимость коэффициента f от начальной скорости при P_{BH1}=2.0·10^5 Па, P_{BH2}=2.4·10^5 Па, ▲– m=1610кг, ■ – m =1825 кг.

Сопоставление полученных и литературных данных показывает, что последние в некоторой степени преувеличены (примерно на 18...22%). Так, согласно работе [4] коэффициент f легковых автомобилей на дорогах первой категории составляет 0.013...0.014.

На наш взгляд, представляет теоретический и практический интерес также выяснение характера влияния коэффициента сопротивления качению на расход топлива. С этой целью проводились следующие испытания:

1. на участке длиной 5 км дороги Ереван–Арарат автомобиль ГАЗ-31105 (общий вес 1825 кг) двигался с постоянной скоростью 50 км/ч;

2. при различных значениях внутренних давлений шин, принимая коэффициент f постоянным, замерялся расход топлива (объемным способом);

3. опыт повторялся на прямом и обратном направлениях – для каждого направления 3 раза.

По результатам испытаний построен график, представленный на рис. 2. График показывает, что расход топлива в зависимости от силы сопротивления качению меняется по следующей закономерности:

$$Q_S = 0.0073P_f + 7.4774, \qquad (3)$$

где P_f – сила сопротивления качению.

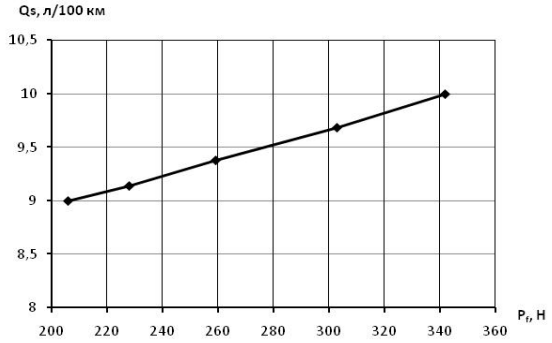


Рис. 2. Зависимость расхода топлива от силы сопротивления качению.

Выводы. В горных условиях меняется сила сопротивления качению шин, в результате чего меняются и расход топлива, следовательно, и экологичность автомобиля.

Государственный инженерный университет Армении

Г. С. Ерицян

Изменение силы сопротивления качению шин в горных условиях эксплуатации и его влияние на экологичность автомобиля

В горных условиях коэффициент сопротивления движению зависит от коэффициентов, обусловленных макро- и микропрофилем опорной поверхности, сопротивлением движению от криволинейности траектории, сопротивлением качению шин. Эксплуатационными испытаниями получены графики, показывающие зависимость коэффициента сопротивления качению шин от внутреннего давления, скорости и массы автомобиля. Установлена связь между расходом топлива и силы сопротивления качению шин.

Գ. Ս. Երիցյան

Շահագործման լեռնային պայմաններում դողերի գլորման դիմադրության ուժի փոփոխությունը և նրա ազդեցությունը ավտոմոբիլի էկոլոգիականության վրա

Լեռնային պայմաններում շարժման դիմադրության գործակիցը կախված է հենման մակերևույթի մակրո և միկրոպրոֆիլով պայմանավորված, հետագծի կորագծայնությունից կախված շարժման դիմադրության, դողի գլորման դիմադրության գործակիցներից: Շահագործական փորձարկումներով ստացվել են դողի ներքին ճնշումից, ավտոմոբիլի արագությունից ու զանգվածից դողի գլորման դիմադրության գործակցի կախվածությունը ցույց տվող գրաֆիկներ: Կապ է սահմանվել վառելիքի ծախսի և գլորման դիմադրության ուժի միջև:

G. S. Yeritsyan

Change of Resistance Force to Rolling of Tires in Mountain Conditions of Exploitation and its Influence on Vehicle Ecological Compatibility

The coefficient of resistance to movement depends on the following coefficients in mountain conditions: conditioned by macro- and micro profile of basic surface, of resistance to movement from curvilinearity of a trajectory, of resistance to tires rolling. The shedules have been received based on exploitation tests showing the dependence of coefficient of resistance to tires rolling on internal pressure, speed and weight of a vehicle. The connection between fuel consumption and resistance force to tires rolling have been established.

Литература

1. *Леиашвили Г. Р.* Повышение эффективности автомобилей в условиях горного региона. Автореф. докт. дис. Минск. 1989. 36 с.
2. *Двали Р. Р., Махалдиани В. В.* Механическая тяга в горной местности. М. Наука. 1970. 235 с.
3. *Ерицян Г. С.* Защита атмосферного воздуха от загрязнения выбросов автомобилей в горных регионах. Автореф. докт. дис. Ереван. 2012. 32 с.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.73+612.468

К. В. Казарян, Н. Г. Унанян, А. В. Мкртчян

Взаимодействие пейсмекерных активностей крайних отделов маточных труб у небеременных крыс

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л.Р.Манвеляном 11/XI 2013)

Ключевые слова: *матка, маточная труба, рог, овариальный отдел, спонтанная активность, разряды активности.*

Известно, что спонтанная электрическая активность может регистрироваться из разных отделов миометрия крысы [1]. Автоматизм матки как небеременной крысы, так и в ранней стадии беременности представляет собой независимые друг от друга нерегулярные асинхронные вспышки активности [2, 3]. Последние характеризуются комплексной природой: периодически появляющиеся разряды потенциалов действия возникают на нерегулярных осцилляторных изменениях мембранного потенциала [4].

При нормальных физиологических условиях пейсмекерная активность может регистрироваться не только из тела матки, но и из маточной трубы. Согласно детальному электрофизиологическому анализу в отличие от тела матки, любой участок которой способен генерировать спонтанные разряды, пейсмекерные области маточных труб у крыс располагаются в конечных их областях [5, 6]. Регулируемое взаимодействие электрических активностей разных ритмогенных зон миометрия, обеспечивающее также направленность распространения разрядов активности, наблюдается в поздние сроки беременности [3,7].

Имея в виду тесное сопряжение между генезом электрической активности и контрактурной деятельностью [6], можно допустить необходимость координации всех пейсмекерных активностей, определяющей полярность ее направления. Исходя из этого нельзя исключить наличия в данном органе локусов со специфическими пейсмекерами, обеспечивающими основную функцию миометрия – направленную перистальтику. В отношении участия в данном процессе как овариальной зоны, так и цервикального отдела рога имеются весьма противоречивые данные [1, 4, 8].

Вместе с тем последующие комплексные электрофизиологические и морфологические исследования овариального локуса маточного рога выявили, что именно в данном отделе миометрия возникает продольная контрактура [9].

Изучение влияния овариального отдела на активность нижерасположенной цервикальной области миометрия позволит в дальнейшем выявить также ведущую роль данного ритмогенного отдела в распространении электрической волны. Анализу данного вопроса и посвящено настоящее исследование.

Методы исследования. Опыты проводили на небременных самках крыс массой 200-250 г, наркотизированных нембуталом (50-55 мг/кг) внутрибрюшинно. Эксперименты были острыми, и после завершения регистраций животные забивались.

Вскрывалась брюшная полость и обнажался корпус матки с расположенными с двух сторон маточными трубами. Матка денервировалась перерезкой корешков нервов plexus hypogastricus, uterinus, uterovaginalis. Регистрация активности проводилась одновременно с поверхности разных отделов матки – овариальной и цервикальной областей левого рога (рис. 1). Спонтанная биоэлектрическая активность из описанных отделов органа отводилась биполярными электродами (межэлектродное расстояние соответствовало 2 мм).

Исключение взаимосвязи между ритмогенными областями осуществлялось путем перерезки маточных рогов в соответствующих им областях (рис.1, I и II).

Биоэлектрическую активность миометрия регистрировали при использовании 8-канального электроэнцефалографа (EEG-8S, Венгрия), а также на 4- канальной аппаратуре, разработанной в Институте физиологии НАН РА для оценки электрической активности гладкой мускулатуры [1]. Аппаратура позволяет проводить одновременную регистрицию с 4-х отделов исследуемой структуры. Отношение сигнал-шум аппаратуры осуществляет достоверную регистрацию отклонений сигналов с амплитудой до 10 мкВ. Проводилась полосовая фильтрация регистрируемых сигналов в диапазоне 3-30 Гц. Коммуникация аппаратуры с ЭВМ осуществлялась с использованием USB порта. Программа, обеспечивающая регистрацию сигналов, разработана с применением пакета программ Lab View.

Последующий статистический анализ характера зарегистрированных сигналов проводился с использованием пакетов программ Origin-8.5, DIA dem 2011 и Sigma Plot 11.0. Оценка достоверности изменения полученных данных проводилась согласно t-критерию Стьюдента.

Все эксперименты были проведены в соответствии с правилами Ереванского 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».

Результаты исследования и обсуждение. На рис.1 схематически представлены маточные трубы с телом матки крысы. Регистрация разрядов

спонтанной активности проводилась одновременно из представленных на рисунке овариальной области (близлежащая к яичникам) и цервикального отдела (приграничная к телу матки). Наблюдались вспышки электрических разрядов в виде потенциалов действия, которые возникали асинхронно, нерегулярно и затухали по истечении определенного времени. Каждая из приведенных кривых представляет собой начало вспышки разрядов до полного ее затухания соответственно для той и другой областей (рис. 1).

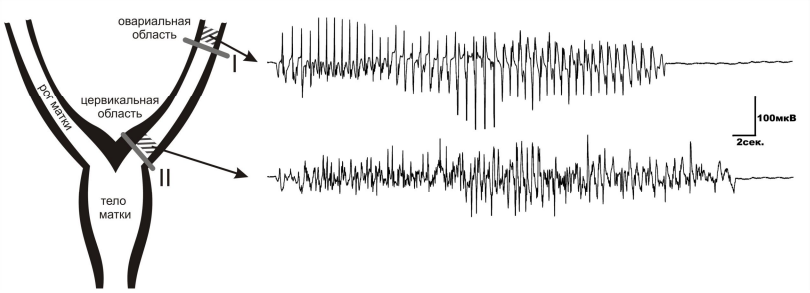


Рис. 1. Схематическое изображение тела и рогов матки с представленными типами спонтанных активностей, зарегистрированных из указанных областей: I и II – области перерезок маточных труб. n=15.

Проведенное нами исследование основных параметров спонтанной активности (частота, амплитудами потенциалов действия, продолжительность генеза отдельной вспышки разрядов, суммарное время активного состояния) показало значительные различия в электрофизиологических свойствах исследуемых областей при нормальных условиях (таблица). При этом если частота и продолжительность разряда отличались друг от друга на небольшую величину для овариального и цервикального локусов рога, то такие характеристики, как амплитуда спайков и продолжительность времени активного состояния значительно превосходили таковые для приграничной к телу матки области.

Как уже отмечалось выше, асинхронные между собой вспышки активностей в крайних зонах рога координируются между собой в поздние сроки беременности, и особенно при родах. В таком случае нельзя исключить наличия определенной взаимосвязи между автономными ритмогенными областями в норме. Исходя из этого изучение взаимовлияния спонтанных активностей овариального и цервикального областей друг на друга определялось при изоляции каждой исследуемой зоны от воздействия другой.

Показатели активностей в норме

Области регистрации и количество измерений	Продолжительность активного состояния, с	Длительность вспышек спайковой активности, с	Частота спайков колеб./мин.	Амплитуда спайков, мкВ
Овариальная обл., n=15	552,1 ± 18,8	34,4 ± 2,7	91,3 ± 3,4	133,3 ± 12,3
Цервикальная обл., n=15	428,8 ± 59,3	39,8 ± 2,3	96,9 ± 5,19	84,6 ± 7,75

Исследование параметров ритмогенеза овариального отдела проводилось после перерезки маточной трубы в области, расположенной несколько ниже данного локуса (рис. 1, I), чтобы исключить возможность повреждения его пейсмекеров. Столь резкое травмирование и нарушение целостности ткани при перерезке рога естественно могут повлечь за собой дестабилизацию активности, и нормализация генеза вспышек наблюдается через 5 мин. Исходя из этого отсчет всех показаний начинался по истечении этого времени. Последующая регистрация активности проводилась еще через 15 мин, что позволяло прослеживать дальнейшие возможные изменения в показаниях каждой из характеристик активности после перестройки ритмогенеза к новым условиям. Данная схема регистраций применялась для всех последующих измерений. Амплитудные и частотные характеристики активности анализировались усреднением их величин как в пределе одного разряда, так и зарегистрированных за весь период эксперимента. Для наглядности все результаты представлены в процентном соотношении к норме.

Как видно из рис. 2, после перерезки рога ни один из рассматриваемых показателей активности овариальной зоны с течением времени почти не претерпевал дальнейших изменений. В отношении изменений параметров активности было обнаружено небольшое уменьшение амплитуды спайков (почти на 23%), в то время как частота активности и продолжительность генеза разрядов оставались приблизительно неизменными.

Таким образом, подтверждаются автономность ритмогенеза овариального отдела маточной трубы и полная ее изоляция отражается небольшим уменьшением амплитуды спайков.

Если при данной перерезке овариальная зона рога изолировалась лишь от влияния цервикального отдела, то последняя в этих условиях остается под воздействием как ритмоводителей тела матки, так и цервикального локуса правого рога (дно матки обеспечивает связь между обоими рогами [9]). Исходя из этого в данной серии экспериментов изоляция цервикальной области проводилась ступенчато: перерезка рога ниже овариального отдела и дополнительно отсечение маточной трубы от тела матки. Как видно из рис.3, исключение влияния овариального локуса рога на данную зону и последующая ее полная изоляция приводят к весьма ощутимым

изменениям лишь амплитудной характеристики активности (на 44.6 %) и продолжительности генеза разрядов (на 23.3%). Все отмеченные изменения наблюдаются при регистрации непосредственно после перерезок I и II (рис.1) соответственно через 5 мин и в дальнейшем через 25 мин. Значения полученных показаний при этом остались почти без изменений.

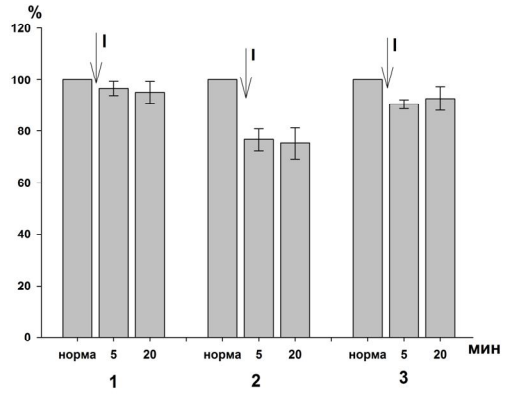


Рис. 2. Влияние перерезки на показатели активности овариальной зоны маточной трубы: 1 – частота активности, 2 – амплитуда спайков, 3 – продолжительность разряда спайков; по оси абсцисс указаны норма и соответствующие промежутки времени регистраций; по оси ординат – величины параметров в процентах; стрелки сверху указывают соответствующие перерезки (рис. 1). n=15.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о взаимосвязи между крайними ритмогенными зонами маточной трубы небеременной крысы. Исходя из наблюдаемых значительных изменений параметров активности цервикальной зоны по сравнению с овариальной областью скорее всего именно последняя оказывает воздействие на ритмогенез дистального от нее отдела рога.

Действительно, именно в овариальной области миометрия генерируются координированные между собой ритмичные высокоамплитудные показатели активности [11]. Показано также, что как амплитуда спайков, так и суммарное время активного состояния являются важными факторами для возникновения согласованной деятельности матки [3,10]. Согласно же полученным в работе результатам данные показатели в норме для овариального отдела рога превосходят таковые для цервикальной зоны и тела матки (таблица).

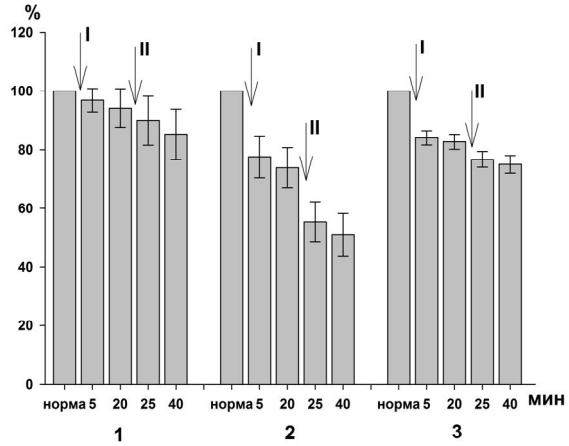


Рис.3. Влияние перерезок на показатели активности цервикальной зоны маточной трубы: 1 – частота активности, 2 – амплитуда спайков, 3 – продолжительность разряда спайков; по оси абсцисс указаны норма и соответствующие промежутки времени регистраций; по оси ординат – величины параметров в процентах; стрелки сверху указывают соответствующие перерезки (рис. 1). n=15.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии определенного направленного взаимодействия между крайними ритмогенными областями маточной трубы у небеременных крыс.

Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА

К. В. Казарян, Н. Г. Унанян, А. В. Мкртчян

Взаимодействие пейсмекерных активностей крайних отделов маточных труб у небеременных крыс

Исследовано взаимовлияние спонтанной электрической активности овариальной и цервикальной областей маточных труб небеременной крысы соответственно на показатели их ритмогенеза. При изоляции каждой из исследуемых зон наблюдается сохранение автономного ритмогенеза с определенными изменениями параметров активности. Выявлено влияние активности овариальной зоны на автоматизм цервикальной области миометрия.

Ք. Վ. Ղազարյան, Ն. Գ. Հունանյան, Ա. Վ. Մկրտչյան

Ոչ հղի առնետների արգանդի փողերի ծայրամասային շրջանների պեյսմեկերային ակտիվությունների փոխազդեցությունը

Ուսումնասիրվել են ոչ հղի առնետի արգանդի փողերի օվարիալ և ցերվիկալ շրջանների ինքնաբուխ էլեկտրական ակտիվությունների փոխադարձ ազդեցու-

թյունները նրանց ռիթմածնության ցուցանիշների վրա: Հետազոտվող յուրաքանչյուր շրջանի մեկուսացման պայմաններում ինքնավար ռիթմածնության պահպանում է դիտվում՝ ակտիվության ցուցանիշների որոշակի փոփոխմամբ: Բացահայտվել է օվարիալ շրջանի դերը արգանդի ցերվիկալ շրջանի ավտոմատիզմում:

K. V. Kazaryan, N. G. Hunanyan, A. V. Mkrtchyan

The Interaction between Pacemaker Activities of the Terminal Horn Areas in Non-Pregnant Rats

The interaction between spontaneous electrical activities of the ovarian and cervical horn areas in non-pregnant rats was investigated. Isolation of the above mentioned areas led to the certain changes in the activity parameters but didn't affect their autonomous rhythmogenesis. The influence of the ovarian horn area on automatism of the cervical horn area was revealed.

Литература

1. *Mancinelli R., Guariglia L., Racanicchi C., Bertuzzi A., Salinari S., Vitelli R.* - Quart. J. Exp. Physiol. 1988. V.73. № 4. P.459-469.
2. *Bengtsson B., Chow E. M., Marshall J. M.* - Am. J. Physiol., 1984. V.246 (3 Pt 1). P. 216–223.
3. *Buhimschi C., Garfield R. E.* - Am. J. Obstet. Gynecol. 1996. V.174. № 2. P. 744-753.
4. *Maul H., Maner W. L., Saade G. R., Garfield R. E.* - Clin. Perinatol., 2003. V.30. P.665-676.
5. Buhimschi C.S., Saade G.R., Buhimschi I.A., Gokdeniz R., Boyle M.B., Garfield R.E. - Am. J. Obstet. Gynecol., 2000, v.183, №1, p.68-75.
6. *Garfield R. E., Maner W. L.* - Semin. Cell. Dev. Biol. 2007. V.18. № 3. P.289-295.
7. *Rabotti C., Mischi M., van Laar I., Ou G., Bergmans J.* - Conf. Proc. IEEE Eng. Med. Biol Soc. 2007. P.4315-4318.
8. *Toutain P.L., Marnet P. G., Laurentie M. P., Garcia-Villar R., Ruckebusch Y.* - Am. J. Physiol. 1985. V.249. R410-R416.
9. *Crane L. H., Martin L.* - Reprod. Fertil. Dev. 1991b. V.3, P.185-199.
10. *Казарян К. В., Ванцян В. Ц., Симонян Л. Г.* - Рос. Физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 2011. Т.97. № 12. С . 1319-1326.
11. *Унанян Н. Г., Казарян К. К.* В кн.: «Физиологические механизмы регуляции деятельности организма». Матер. Междунар. научн. конф. Ереван. 2012. С. 329-334.

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA
ДОКЛАДЫ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ REPORTS

Հատոր Том Volume 114 2014 № 1

ԲԱՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ա. Սահակյան

Մ. թ. II դ. պատմիչ Մարաբ Մծուրնացու աշխարհընկալման և աղբյուրաբանական մեթոդի մասին

(Ներկայացված է ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդան Լ.Հ. Աբրահամյանի կողմից 6/XII 2013)

Առանցքային բառեր: *Վաղարշ II թագավոր, Մարաբ փիլիտափա Մծուրնացի, եվհեմերիստ, ազգի էպոնիմ, սերնդաբանական ցանկ, բանավոր աղբյուր, Մովսես Խորենացի:*

Մարաբ Մծուրնացու մասին որոշ տեղեկություններ կարող ենք քաղել նրա անունով մեզ հասած խորենացիական և սեբիոսյան հատվածների իմաստաբանական ու հոգեբանական վերլուծությամբ:

Ամենից առաջ աչքի է զարնում, որ նա իր ազգաբանական խնդիրները դիտարկում է ընդհանուր մարդկային ծագումնաբանության դաշտում, բայց Ս. Գրքից անկախ:

Մովսես Խորենացին[1], նկատելով Մարաբ Մծուրնացու և Ս. Գրքի Յաբեթյան ժառանգների ցանկերի տարբերությունը, իսկույն միջամտում է. «Արդ ի նոյն մատենէ (Մծուրնացու – Ա. Ս.) սկսեալ ասացից. Յապետոսթե[2], Մերոդ (գ՞), Սիրաթ, Թակլաղ, որ է Յաբեթ, Գոմեր, Թիրաս, Թորգոմ: Յետ որոյ նոյն ժամանակագիր (Մարաբ Մծուրնացին – Ա. Ս.) յառաջ մատուցեալ ասէ. Հայկ, Արամանեակ և զայլսն ի կարգի...» (I, Թ): Եվ սա միակ դեպքը չէ: Որովհետև, Խորենացու ասելով, Մարաբ Մծուրնացու աղբյուրը՝ Աղեքսանդրի պատվերով քաղդեերենից հունարեն թարգմանված մատյանը, նույնպես Նոյի որդիների անունները Ս. Գրքից տարբեր գիտի. «Որոյ սկիզբն լեալ, ասէ, զՋրուանն

[1]Մովսես Խորենացու «Հայոց Պատմությունը» այսուհետ հղվելու է տողամիջում փակագծերում նշված գրքի և գլխի թվահամարներով՝ հռոմեական և հայկական թվանշաններով: Օրինակ՝ (I, Թ) [1]:

[2]«Յապետոս» բառին կցված «թե»-ն հունարենի շաղկապն է, որը Մծուրնացին չի ընկալել և համարել է բառի վերջնամաս, ինչն էլ անցել է Խորենացուն [12]:

և զՏիտանն և զՅապետոսթէ...» (I, Թ)։ Բայց կա նաև երրորդ տարբերությունը Ս. Գրքի հետ։ Մծուրնացին ոչ քրիստոնեական աղբյուրից գիտի Բելին, որ Տիտանի սերնդից է։

Այս երեք տարբերությունները հաշտեցնողը, սակայն, Խորենացին է, և ոչ թե Մծուրնացին, ինչը նշանակում է, որ վերջինս ձեռքի տակ չունի Աստվածաշունչ մատյանը։

Սրան համադրենք ևս մի դիտարկում։

Մծուրնացու բուն մատյանը՝ հայոց նախնյաց պատմությունը, ըստ Խորենացու բառացի մեջբերման, սկսվում է այսպես. «Ահեղք և երևելիք՝ առաջինքն ի դից և աշխարհի մեծամեծ բարեաց պատճառք, որ սկիզբն աշխարհի և բազմամարդութեան։ Եւ ի սոցանէ հատեալ գտան ազգ սկայիցն, անհեդեդք, յաղթանդամք մարմնով և վիթխարիք...» (I, Թ)։ Այստեղ միանշանակ պարզ է դառնում, որ հեղինակը ոչ միայն քրիստոնյա չէ, այլև կանոնավոր հեթանոս էլ չէ, որովհետև բոլոր աստվածներին համամարդկային ընդհանուր ընկալմամբ է ներկայացնում՝ ելնելով այն տրամաբանությունից, որ այն ժամանակ դեռ ազգեր և լեզուներ չկային։ Իսկ երբ ամբարտավան մարդիկ հղացան աշտարակաշինության խորհուրդը, «հողմ ահագին իմն և աստուածային շնչեցեալ ի դիցն ցասմանէ՝ ցրէ զամբարտակն, և մարդկանն անլուր բարբառս իւրաքանչիւր ումեք բաշխեալ, աղմուկ շփոթի ի մէջ արկանէին։ Յորոց մի էր և Յապետոսթեան Հայկ, անուանի և քաջ նախարար, կորովաձիգ և հաստաղեղն» (I, Թ)։ Նախ, քրիստոնյան աշխարհի մեծամեծ բարիքների պատճառ չի կարող համարել աստվածներին և չի ընդունի, որ աշտարակը փլվել է նրանց ցասումից առաջ եկած հողմից, որովհետև, ըստ քրիստոնյաների, աշխարհի և մարդկության սկիզբը դրել է միակ Արարիչ Աստված։ Երկրորդ, ընդհանուր մարդկային նախնու և համամարդկային աստվածների գաղափարը դեմ է կոնկրետ հեթանոսական կրոնական ուսմունքին և հատուկ է նոր տիպի փիլիսոփա ուսյալներին, ում համար ընդհանուր նախնու և ազգերի բաժանման գաղափարները համամարդկային գիտանքներ են, նոր, իսկական գիտելիքներ։ Սակայն, պետք է ասել, որ այս ո՛չ քրիստոնյա և ո՛չ հեթանոս հեղինակը ապակրոնական անհատ չէ, նա համամարդկային գաղափարներով համակված, քաղդեական ուսմունքները հարգող, հունասեր ուսյալ է, ով աստվածապաշտությանը և կրոնին վերաբերում է այնպես, ինչպես, մոտավորապես, կոսմոպոլիտ հրեաները, երբեմն գնոստիկները, կամ էլ, այսպես կոչված, «գլոբալիստ» արարչապաշտները։ Բայց որպես փիլիսոփա՝ Մծուրնացին, իրոք, իր ժամանակի եվհեմերականներից է։ Դա երևում է թեկուզ նրանից, երբ ասում է, թե հին աստվածներից հսկաների ցեղ սերվեց, որ փորձեց կառուցել ամբարտակ։

Հայտնի է, որ եվհեմերականները, որպես մ.թ.ա. IV դ. փիլիսոփա Եվհեմերոս Մեսսենացու հետևորդներ, խոր անցյալում ապրող մարդկանց հետագա մանր մարդկանցից տարբերում էին իրենց վիթխարի չափերով, ֆիզիկական տվյալներով, ձայնով, ոգով, բնույթով և այլն: Դրա համար էլ աստվածացան, երբ փոխվեցին ժամանակները, այսինքըն, երբ առասպելական, նախապատմական կամ էպիկական ժամանակին հաջորդեց պատմական, սոցիալական, կենցաղային ժամանակը նրանք աստվածացան: Վերջինս ակնհայտ զուգորդվում է «Սասնա ծռեր» էպոսի հերոսների էպիկական ժամանակին փոխարինող ետհերոսական, ետմիերյան ժամանակի հետ, այն է՝ պատմական, ժամանակի հետ, երբ մարդիկ, դառնալով իրենց սովորական այժմյան չափերին, մանրացել են ֆիզիկապես ու հոգեպես, երբ այլևս ցորենը մասուրի չափ չէ, մասուրը՝ ընկույզի, իսկ հողն էլ թուլացած՝ չի կարող կրել հերոսին:

Մարաբ Մծուրնացին, կարելի է կարծել, իր մասին որոշ տեղեկություններ է հաղորդում նաև Հայկի և Բելի պատերազմին հաջորդող հատվածում, երբ բնակեցվում ու անուններով են օժտվում Հայկական լեռնաշխարհի վայրերը:

Հայկի անունով երկիրը՝ Հայք, Բելի ընկած վայրը՝ Գերեզմանակք, Հայկի շինած գյուղը՝ Հայկաշեն, հայրերի ապրած տեղը՝ Հարք անվանելուց մինչև Հայկի ժառանգորդների անուններով գավառների անվանակոչումը և տեղական էպոնիմների շարքի ստեղծումը (Շարա – Շիրակ, Ցոլակ – Ցոլակերտ և այլն) գրի առնելու և դրանց հիման վրա յուրահատուկ ազգագրական պատմություն հյուսելու համար առնվազն հարկավոր է եթե ոչ ազգությամբ հայ, ապա գոնե հայախոս լինել: Այլապես օտար գիտունի համար, եթե նա չիմանար կամ վատ իմանար հայերեն, գոնե պետք է աշխատեր հայ բանահավաք՝ այդ հսկա նյութը հավաքելու և ի մի բերելու: Ասվածից պարզ հետևում է, որ Հայոց նախնական պատմության հեղինակը հայ է, որ գրել է հունարեն, իսկ ըստ Խորենացու՝ նաև ասորերեն: Արդեն ասվեց, որ Խորենացին, փոխելով Մարաբ Մծուրնացու անունը (Մար Աբա), ազգությունը (ասորի), լեզուն (նաև ասորերեն), քաղաքը (Մծբին), գործուղման վայրը (Նինվե), նպատակը (պետական դիվանից օգտվելը), փորձել է պատմություն կերտել մ. թ. ա. III-II դդ. Հայաստանի, նրա թագավոր Վաղարշակի ու նրա հաջորդի մասին: Այդ հոդվածում արծարծվել է նաև այն հարցը, թե ինչու Հայոց առաջին Արշակունի թագավորը կոչվեց Վաղարշակ, ի տարբերություն երկու այլ վկայությամբ [3, 4] մեզ հասած Արշակ և, իրական պատմության մեջ մնացած, Տրդատ անունների: Ավելացնենք, որ ասորական թեման Խորենացու ներդրումն է, չէ՞ որ մ. թ. ա . III դ., երբ Հայքում իբր իշխում էին Արշակունիները, դեռ ասորական գիրը գոյություն չուներ:

Մնում է միայն բացահայտել Վաղարշ II և Մարաբ Մծուրնացու կապը:

Բանն այն է, որ Մարաբ Մծուրնացու գործը, ինչպես նշել է Խորենացին, մեծ ջանք էր պահանջում և առանց հովանավոր-պատվիրատուի գլուխ չէր գա: Արդեն ասվեց, որ ազգաբանական թեմաները ավելի հետաքրքրում էին աշխարհիկ վերնախավին: Մանավանդ որ իմաստասեր կայսր Մարկուս Ավրելիուսի շուրջ քսանամյա իշխանության (161-180) ընթացքում իմաստասեր ուսյալների և համամարդկային գիտանքների վարկանիշն աճելով տարածվել էր կայսրության սահմաններից դուրս՝ ձևավորելով մի տեսակ բարձրաշխարհիկ ճաշակ ու հոգևոր պիտույքների պահանջարկ նաև հարևան արքունիքներում ու իշխանական վերնախավերում: Իզուր չէ, որ նոր գիտանքներին վերաբերող գրքերը հաճախ գտնվում էին արքունական արխիվներում, ինչը կարող է նշանակել, որ դրանք նաև հաճախ պատվիրվում էին արքունիքից կամ իշխանական տներից: Պարզ է, որ նման պատվերը տրվում է նախապես հայտնի ուսյալ փիլիսոփայի, դպրատան ծառայողի, արքունական քարտուղարի կամ պարզապես հմուտ գրագետի: Խորենացին ու Սեբիոսը Մարաբ փիլիսոփային կապում են արքունիքի հետ. առաջինը՝ ուղղակի Վաղարշակի միջոցով, երկրորդը՝ Սանատրուկի, բայց շատ անուղղակի ձևով: Իբր թե Սանատրուկի ապարանքի ավերակներից բացվում է Տրդատի օրոք Ագաթանգեղոսի թողած արձանագրությունը մի սյան վրա, որից էլ քաղագրել են Մարաբ Մծուրնացու աշակերտները ուսուցչի մատյանում, որտեղ էլ Սեբիոսը Միջագետքում եղած ժամանակ կարդացել է պարթև և հայ Արշակունիների գահացանկերը: Կեղծարարն անգամ չի նկատել, որ Տրդատն ու Ագաթանգեղոսը չէին կարող արքունի դիվանից քաղել և արձանագրել նման բան, որովհետև նրանց արքունիքը ոչ թե Մծբնում (Մծուրնում), այլ Արտաշատում էր: Այս և արդեն նշված մյուս պատճառներով Սեբիոսի նախաբանի Խոստաբանության տվյալները պետք է համարել հորինածին [4]:

Խորենացին էլ է հորինում իր աղբյուրի ստեղծման պատմությունը, բայց նրա մոտ մի բան հավաստի է, որ պատվիրատուն Մծբնի (կարդա՝ Մծուրքի) արքունիքն է Վաղարշակի օրոք: Իսկ միակ արքան, որ կարող էր լինել Վաղարշակ անվան թելադրողը, գահի ժառանգական իրավունքի սկզբնավորող և Մծուրքում նստավայր ունեցող Վաղարշ Բ Արշակունին է: Եվ հենց նա կարող էր արքունիքում պատվիրել «Հայոց պատմություն» Մարաբ Մծուրնացի փիլիսոփային, ինչն էլ հիմք է տվել Խորենացուն նրան Վաղարշակի անունից գործուղել պարթևների թագավորի մոտ՝ Նինվե: Իրականում, ինչպես պարզվեց, «Հայոց նախնական պատմության» նյութը խիստ հայկական է ու հասու է միայն հայախոս իմաստասերին: Այն չէր կարող թարգմանված լինել քաղդե-

ական մատյաններից հունարեն՝ Ալեքսանդր Մեծի հրամանով: Նրա իսկական աղբյուրը Արամի մասին եղած պատմությունների առիթով հայտնում է Խորենացին՝ առանց վարանելու, որ կարող է ինքն իրեն հակասել, և մեջբերում է Մարաբ Մծուրնացու խոսքը. «Բայց թէպէտ և ոչ ի բուն մատեանսն, սակայն որպէս Մար Աբաս Կատինայ (կարդա Մարաբ փիլիսոփա – Ա. Ս.) պատմէ՝ ի փոքունց ոմանց և յաննշանից արանց, ի գուսանականէն այս գտանի ժողովեալ ի դիւանի արքունեաց» (I, ԺԴ): Ահա՛ Մծուրնացու իսկական աղբյուրը: Ահա՝ ինչպես է նա բացատրում, թե ինչու են քաղդեական մատյաններում բացակայում Արամի այդքան հերոսական գործերի հիշատակագրումները. «Ասէ և այլ իմն պատճառս նոյն այր, թէ, որպէս ուսայ՝ հպարտ եւ անձնասէր գոլով Նինոս... հրամայէ զբազում մատեանս և զզրոյցս առաջնոցն, տեղեաց տեղեաց և ուրուք ուրուք գործոց քաջութեան այրել... և որ ինչ վասն իւր միայնոյ՝ գրել» (I, ԺԴ):

Ակնհայտ է, որ Մարաբ Մծուրնացին, Արամի միջազգային դերը ընդգծելով, իր պարտքն է համարում պատճառաբանել, թե ինչու այդքան մեծ գործերի հեղինակին, որի անունով հույները հայերին կոչում են Արմեն, իսկ պարսիկները և ասորիները՝ Արմենիկ, օտարները չեն ճանաչում: Այստեղ հարմար առիթ է դարձյալ ի բարին հիշելու Ստ. Մալխասյանցին՝ ժխտելու վերոհիշյալ մեջբերմամբ (էջ 10) արտահայտված նրա այն դրույթը, ըստ որի՝ Արամի գործերի համար Խորենացին ուներ այլ աղբյուրներ [5]:

Խորենացու մոտ գտնում ենք ևս մի նուրբ վկայություն, որից երևում է, որ Մարաբ Մծուրնացին Հայկի 7 Բելի պատմությունը նմանապես քաղել է բանավոր ավանդույթից. «Իսկ Նինոս թագաւորեալ ի Նինուէ՝ յիշատակ քինու զնախնւոյն իւրոյ Բելայ ունէր ի մտի, ի զրուցաց ուսեալ և զայս խորհէր հատուցանել յամս ձիգս... բառնալ, ջնջել զամենայն ճետ սերմանեալ յարանց քաջին Հայկայ» (I, ԺԳ): Իբր Նինոսը, զրույցներից լսած լինելով և մտքում պահելով Բելի պատմությունը, քինախնդիր է լինում իր նախնու համար: Այս նուրբ վկայությունն, իրոք, հոգեբանական նշանակություն ունի՝ հասկանալու, որ Մարաբ Մծուրնացու գլխավոր աղբյուրը բանավոր է, եթե ոչ անմիջականորեն իր կողմից գրառված, ապա գոնե արքունի դիվանում պահվող գրառումներից քաղված, կամ էլ և՛ այն, և՛ այն:

Այսինքն, ինչպես Արամի, այնպես էլ Հայկի և Արայի մասին պատմությունները պարտավոր չէին գրանցել Նինվեի մատենագիրները:

Եվ ինչպես Արամի, այնպես էլ Հայկի ու Արայի պատմությունների աղբյուրը հայկական բանավոր ավանդույթն է: Ըստ Խորենացու՝ Մարաբ Մծուրնացին «Ազգերի պատմությունների» մայր մատյանից քաղում է միայն հարկավորը, ինքը՝ Խորենացին, Մարաբից քաղում է միայն նահապետների մասին տվյալները. «Եւ այս կարգ զրուցաբանու-

թեան դադարումն առցէ, զի հանդէս է մեր՝ ոչ զպատմութեանն ողջաբանութիւն գրել, այլ ջանալ ցուցանել զառաջինսն մեր և զբուն հին նախնիս» (I, Թ)։ Կամ. «Բազում ինչ զկնի այսորիկ պատմի ի մատենին (Մարաբի – Ա. Ս.), այլ մեք, որ ինչ պիտոյն մերոյ հաւաքմանս է, շարեսցուք» (I, ԺԲ)։ Փաստորեն Խորենացին բացարձակ ճիշտ է ասում իր մասին, թե ինչպես է ինքն ընտրողաբար նյութ քաղել Մարաբ Մծուրնացու գրքից։ Բայց ահա, թե Մարաբն ինչքանով է ընտրողաբար օգտվել չեղած Նինվեի չեղած մատյանից, ճիշտ կարելի է համարել հարաբերական իմաստով։ Որովհետև, ինչպես տեսանք Աբյուդենոսի օրինակով, օտար ազգաբանական գրքերում կարող էին գտնվել, ի շարս այլ ազգերի, նաև հայոց նախնիների ցանկը՝ Հաբեթից մինչև Արմեն (Հայկ) կամ Արամ, այսինքն՝ մինչև հայոց երկու էպոնիմներ։ Սակայն այդ ցանկերում նշված նահապետների գործերի կամ նրանց ժառանգների մասին եղած սյուժեներ անհնար էր գտնել օտար գրքերում, դրանք լիարժեք ապրում էին հայ ժողովրդական բանահյուսության մեջ կամ էլ մասամբ պահպանվում էին հայոց դիվանական գրառումներում։ Ուրեմն պատմահայրը ճիշտ է այնքանով, որ օտար գրքերից կարելի էր քաղել հայոց նախանահապետների անվանացանկը, բայց ճիշտ չէ, թե այդ գրքերում գրված են նաև հայ նահապետների անունները ու սխրանքները [6]։ Այստեղ պետք է ասել, որ պատմահայրը հենց ինքն է իրեն հերքում՝ ասելով, որ «մանաւանդ զի և ոչ պարծանք ինչ՝ նոցա, և ոչ բարգաւաճանք՝ օտար ազգաց քաջութիւն և գործք արութեան» (I, ԺԴ)։ Արդյոք Մարաբ Մծուրնացին ևս ունեցե՞լ է Խորենացու նման ինչ-որ գրավոր աղբյուր վկայակոչելու մղում, պարզ չէ, բայց երևի՝ այո, որովհետև Խորենացու աղբյուրաբանական նշումները երբեմն կարող էին ծագել հենց Մարաբից։ Օրինակ, Մարաբի մատյանից Պարույրի մասին քաղագրելուց հետո Խորենացին ավելացնում է, պարզ չէ, ի՞ր, թե՞ հենց Մարաբի խոսքը. «Ապա եթէ ասիցես (պատվիրատուն՝ ո՞ւմ – Ա. Ս.), ուստի՞ մեզ և զնախնեացն մերոյ գիտել զանուանսն այսպէս, իսկ զբազմաց՝ և զգործս, ասեմ՝ ի հնոցն դիւանաց Քաղդեացւոց, Ասորեստանեայց և Պարսից, վասն մտելոց անուանց և գործոց նոցա ի քարտէս արքունի, իբրև գործակալաց և վերակացուաց աշխարհիս ի նոցանէ կացելոց և մեծաց կողմնակալաց» (I, ԻԱ)։ Ոմանց կարող է թվալ, թե այս խոսքը միանշանակ Խորենացուն է պատկանում։ Բայց եթե Խորենացին Մարաբ փիլիսոփային գործուղում է Վաղարշակի անունից Նինվեի արքունական դիվան, արդեն ավելորդ են դառնում այդ խոսքում հնչող թե՛ հարցը, թե՛ պատասխանը։ Դրա համար էլ այդ խոսքն առավել պատշաճ է գալիս իրական Մարաբին, որն օգտվում է միայն հայոց դիվանից, իսկ իր հարուցած հարցին տալիս է զուտ տրամաբանական պատասխան առ այն, որ նախնեաց անուններն ու գործերն այդքան էլ անհետ չեն կորել, չնչին չափով ինչ-որ տեղ արձանագրվել

են: Միայն թե արձանագրվել են ոչ թե Նինվեում, այլ մի շարք դիվաններում: Սա է, որ համարվում է ժամանակի ուսյալ մարդու հայացք: Այդ մարդկանց միավորում է ոչ միայն իմաստասիրական մեթոդաբանությունը, այլև տերմինաբանությունը, արտահայտվելու ոճը, գուցե և իրար դիմելու և մեծարելու ձևը (օր. Ով ծեր, իմաստուն և այլն): Այնուամենայնիվ, գրավոր աղբյուր գերադասելը և որևէ տեղեկատվություն, թեկուզ չնչին մասով, գրավոր աղբյուրներին առնչելը հելլենիզմի դարաշրջանի ուսյալների ընդհանուր հատկանիշ կարելի է համարել, որով և նրանք ձգտում էին ավելի հավաստի գիտելիքներ հաղորդել՝ սահմանազատվելով սովորական քրմական կամայական տեղեկատվությունից ու մեկնաբանություններից: Մարաբ փիլիսոփա Մծուրնացին ևս այդ ուսյալներից էր, որ դարձավ մեզ հայտնի առաջին հայ պատմագիրը [7]:

Մատենադարան

Ա. Ա. Սահակյան

Մ.թ. II դ. պատմիչ Մարաբ Մծուրնացու աշխարհընկալման և աղբյուրաբանական մեթոդի մասին

Մովսես Խորենացին, քաղաքրելով Մարաբ Մծուրնացու՝ հեթանոս հելլենասեր, Եվհեմերի հայացքների հետևորդի «Պատմությունից», նրան վերագրել է օտար գրավոր աղբյուրներ: Պարզվում է, որ գոնե հայոց ազգածին նահապետների մասով (Հայկ, Արամ ևն) Մարաբ Մծուրնացու աղբյուրը հայ բանահյուսությունն է: Ուստի Մարաբը եղել է ոչ միայն հայ առաջին պատմիչը, այլև՝ առաջին բանահավաքը:

А. А. Саакян

О мировосприятии и источниковедческом методе историографа II в. н. э. Мараба Мцурнаци

Мовсес Хоренаци, используя в качестве источника «Историю» Мараба Мцурнаци, язычника-эллинофила, последователя философских взглядов Эвгемера Мессенского, приписывал ему пользование иноязычными письменными источниками. Однако, как выявлено в статье, единственным источником для составления списка армянских родоначальников-патриархов (Гайк, Арам и пр.) был армянский фольклор. Таким образом, Мараб становится не только первым армянским историографом, но и первым собирателем устного творчества.

A. A. Sahakyan

On the World-Perception and Source Study Method of the Historiographer Marab Mtsurnatsi (2nd century AD)

Movses Khorenatsi, who has used the pagan philhellene Euhemerist Marab Mtsurnaci's "History" as a source, ascribed to him using of the foreign written sources. However, as it is revealed in the article, the only source for composing the list of Armenian ancestor patriarchs (Hayk, Aram, etc) the Armenian folklore was. Hence Marab was not only the first Armenian historiographer but also the first collector of Armenian folklore.

Գրականություն

1. Մովսիսի Խորենացւոյ Պատմութիւն Հայոց (գննական բնագիրը Մ. Աբեղյանի և Ս. Հարությունյանի, աշխարհաբար թարգմ. և մեկնաբանությունները Ստ. Մալխասյանի), Երևան,1981:
2. *Տեր-Մկրտչյան Գ.*, Հայագիտական ուսումնասիրություններ, գիրք Ա, Երևան, 1979, էջ 85:
3. *Прокопий Кесарийский.* О постройках. Книга 3, I, 4-7. http://myriobiblion.byzantion.ru/prokopij/p_aed3.htm. Տե՛ս նաև Պրոկոպիոս Կեսարացի (թարգմանություն բնագրից առաջաբան և ծանոթագրություններ Հրաչ Բարթիկյանի), Երևան, 1967: «Օտար աղբյուրները Հայաստանի և հայերի մասին 5. Բյուզանդական աղբյուրներ, գիրք Ա»:
4. Պատմութիւն Սեբէոսի (աշխատասիրությամբ Գ. Աբգարյանի), Երևան, 1979:
5. *Մալխասյանց Ստ.*, Խորենացու առեղծվածի շուրջը, Երևան,1940, էջ 260:
6. *Թոփչյան Ա.*, Մովսես Խորենացու հունական աղբյուրների շուրջ, Երևան, 2001, էջ 59-60:
7. *Սահակյան Ա.* – ՀՀ ԳԱԱ Զեկույցներ, 2011, հատոր 111, No 2: