

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

---

ISSN 0321-1339

**ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ**  
**ДОКЛАДЫ**  
**REPORTS**

Համար  
Том  
Volume

121 № 2

---  
AHC 144

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ  
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ

# ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ

ՀԱՏՈՐ 121

№ 2



НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA

**ДОКЛАДЫ**  
**REPORTS**

**ТОМ 121**  
**VOLUME**

**№ 2**

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ГИТУТЮН" НАН РА  
ЕРЕВАН 2021

*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 Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱՂՂԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ. Ս. ՉԱԲԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Լ. Ա. ԹԱՎԱԴՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ Ռ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Մ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Յու. Դ. ՇՈՒԿՈՒՐՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՄՅԱՆ (պատ. քարտուղար)

Главный редактор академик Р. М. МАРТИРОСЯН

Редакционная коллегия: чл.-кор. НАН РА Р. М. АРУТЮНЯН, академик Г. Е. БАГДАСАРЯН, академик В. С. ЗАХАРЯН, академик Э. М. КАЗАРЯН, чл.-кор. НАН РА Л. Р. МАНВЕЛЯН (зам. главного редактора), академик Л. А. ТАВАДЯН, академик Ю. Г. ШУКУРЯН, Г. А. АБРАМЯН (отв. секретарь)

**Editor-in-chief** academician R. M. MARTIROSYAN

**Editorial Board:** corresponding member of NAS RA R. M. AROUTIUNIAN, academician G. E. BAGDASARIAN, academician E. M. KAZARYAN, corresponding member of NAS RA L. R. MANVELYAN (associate editor), academician Yu. H. SHOUKOURIAN, academician L. A. TAVADYAN, academician V. S. ZAKARYAN, 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.am> e-mail: [rnas@sci.am](mailto:rnas@sci.am)*

© НАН РА. Президиум. 2021

© Издательство "Гитутюн"

НАН РА. 2021

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ  
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA

**ДОКЛАДЫ**  
**REPORTS**

**ТОМ 121**  
**VOLUME**

**№ 2**

---

ИЗДАТЕЛЬСТВО "ГИТУТЮН" НАН РА  
ЕРЕВАН 2021

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 Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ. Ս. ԶԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Լ. Ա. ԹԱՎԱԴՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթ, անդամ Ռ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, ակադեմիկոս Է. Ս. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Լ. Ռ. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ (գլխ. խմբագրի տեղակալ), ակադեմիկոս Յու. Հ. ՇՈՒԹՈՒՐՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՅԱՆՅԱՆ (պատ. քարտուղար)

Главный редактор академик Р. М. МАРТИРОСЯН

Редакционная коллегия: чл.-кор. НАН РА Р. М. АРУТЮНЯН, академик Г. Е. БАГДАСАРЯН, академик В. С. ЗАХАРЯН, академик Э. М. КАЗАРЯН, чл.-кор. НАН РА Л. Р. МАНВЕЛЯН (зам. главного редактора), академик Л. А. ТАВАДЯН, академик Ю. Г. ШУКУРЯН, Г. А. АБРАМЯН (отв. секретарь)

Editor-in-chief academician R. M. MARTIROSYAN

Editorial Board: corresponding member of NAS RA R. M. AROUTIUNIAN, academician G. E. BAGDASARIAN, academician E. M. KAZARYAN, corresponding member of NAS RA L. R. MANVELYAN (associate editor), academician Yu. H. SHOUKOURIAN, academician L. A. TAVADYAN, academician V. S. ZAKARYAN, 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.am> e-mail: [mas@sci.am](mailto:mas@sci.am)

© НАН РА. Президиум. 2021

© Издательство “Гитутюн”

НАН РА. 2021

Հայաստանի ԳԱԱ Ձեկույցներ

Հատոր 121, N 2, 2021

Հրատ. պատվեր N 1102

Խմբագրումը և սրբագրումը՝  
*Ա.Ապիյան, Ա. Սահակյան*

Համակարգչային էջադրումը՝ *Վ. Պապյանի*

Ստորագրված է տպագրության  
23.06.2021

Ծավալը՝ 5,75 տպ ծանուկ: Տպարանակը՝ 150: Գինը՝ պայմանագրային:  
ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակչության տպարան  
Երևան, Մարշալ Բաղդամյան պող. 24

## ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

### ՄԵԽԱՆԻԿԱ

<i>Մ. Հ. Սարգսյան</i> – Բարակ թաղանթների մոմենտամեմբրանային տեսության Ռեյսների տիպի վարիացիոն սկզբունքը .....	83
<i>Արա Ս. Ավետիսյան, Ա. Ս. Շահինյան</i> – Հաստատուն գործակիցներով գծային համակարգի հիբրիդային դեկավարման խնդիրը .....	91
<i>Մ. Վ. Բելուբեկյան, Հ. Ա. Գևորգյան</i> – Գազի գերձայնային հոսքով շրջհոսվող վահանակի դիվերգենցիայի խնդիրը լայնական սահքերի հաշվառման դեպքում .....	99
<i>Ս. Մ. Մխիթարյան, Ա. Վ. Գասպարյան, Ա. Ս. Սարգսյան</i> – Առաձգականության մաթեմատիկական տեսության մի կոնտակտային խնդրի ինտեգրալ հավասարման ճշգրիտ լուծման մասին .....	106

### ՆԵՅՐՈՔԻՄԻԱ

<i>Լ. Ս. Հունանյան, Ռ. Գ. Պարոնիկյան, Վ. Ս. Կամարյան, Ե. Գ. Պարոնիկյան</i> – Որոշ նոր նեյրոտրոպ ազոտ պարունակող հետերոցիկլիկ դեղամիջոցների մոլեկուլային մոդելավորումը .....	116
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Լ. Գ. Նիսանյան</i> – Մոծակներով փոխանցվող հիվանդությունների հանրային առողջապահական վտանգը Հայաստանի արդի պայմաններում .....	125
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### ԿԵՆՍԱՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

<i>Հ. Օ. Քոչոյան, Ս. Ո. Ավետիսյան, Մ. Հ. Պարոնյան, Ա. Ս. Հովսեփյան</i> – <i>Geobacillus stearothermophilus</i> թերմոֆիլ մանրէի argJ գենի կիրառումը արգինինի բարձրակտիվ շտամ-արտադրիչի կառուցման համար .....	133
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

<i>Ք. Վ. Ղազարյան, Տ. Ա. Փիլիպոսյան, Ն. Գ. Հունանյան, Ռ. Գ. Չիբուխյան</i> – Առնետների արգանդափողերի ինքնաբուխ էլեկտրական ակտիվության համեմատական վերլուծությունը .....	142
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

### ԲՈՒՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ա. Մ. Հայրապետյան, Հ. Հ. Սոնյան</i> – Հարավային Անդրկովկասի ֆլորայի Salsoloideae (Chenopodiaceae) ենթաընտանիքի որոշ ներկայացուցիչների ծաղկափոշու մորֆոլոգիական առանձնահատկությունները: II. <i>Girgensohnia Bunge ex Fenzl</i> և <i>Anabasis L.</i> ցեղեր .....	148
<i>Շ. Հ. Հովակիմյան</i> – Արարատյան հարթավայրի որոշ հազվագյուտ գիպսոֆիլ բուսատեսակների էկոլոգաֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունները .....	155

### ՀՆԷԱԿԵՆՂԱՆԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ն. Հ. Մանասերյան, Լ. Վ. Բայյան</i> – Հին և միջնադարյան Հայաստանի թռչնաֆաունան .....	163
----------------------------------------------------------------------------------------	-----

## СОДЕРЖАНИЕ

### МЕХАНИКА

- С. О. Саркисян* – Вариационный принцип типа Рейсснера моментно-мембранной теории тонких оболочек ..... 83
- Ара С. Аветисян, А. С. Шагинян* – Задача гибридного управления линейной системой с постоянными коэффициентами ..... 91
- М. В. Белубекян, Г. А. Геворкян* – Задача дивергенции панели в сверхзвуковом потоке газа при учете поперечных сдвигов ..... 99
- С. М. Мхитарян, А. В. Гаспарян, А. С. Саргсян* – О точном решении интегрального уравнения одной контактной задачи математической теории упругости ..... 106

### НЕЙРОХИМИЯ

- Л. С. Унанян, Р. Г. Пароникян, В. С. Камарян, Е. Г. Пароникян* – Молекулярное моделирование некоторых новых нейротропных азотсодержащих препаратов гетероциклического ряда ..... 116

### БИОЛОГИЯ

- Л. Г. Ниазян* – Болезни, передающиеся комарами, как угроза общественному здоровью в Армении в современных условиях. .... 125

### БИОТЕХНОЛОГИЯ

- А. О. Колоян, С. В. Аветисян, М. Г. Паронян, А. С. Овсепян* – Применение гена *argJ* термофильной бактерии *Geobacillus stearothermophilus* для конструирования высокоактивного штамма-продуцента аргинина ..... 133

### ФИЗИОЛОГИЯ

- К. В. Казарян, Т. А. Пилипосян, Н. Г. Унанян, Р. Г. Чибухчян* – Сравнительный анализ спонтанной электрической активности маточных труб крысы ..... 142

### БОТАНИКА

- А. М. Айрапетян, А. О. Сосян* – Морфологические особенности некоторых представителей подсемейства *Salsoloideae* (*Chenopodiaceae*) флоры Южного Закавказья. II. Роды *Girgensohnia Bunge ex Fenzl* и *Anabasis L.* .... 148
- Ж. О. Овакимян* – Эколого-физиологические особенности некоторых редких видов гипсофильных растений Араратской равнины ..... 155

### ПАЛЕОЗООЛОГИЯ

- Н. У. Манасерян, Л. В. Баян* – Авифауна древней и средневековой Армении ..... 163

## **C O N T E N T S**

### MECHANICS

- S. H. Sargsyan* – The Variation Principle of Reissner Type of Moment-Membrane Theory of Thin Shells ..... 83
- Ara S. Avetisyan, A. S. Shahinyan* – A Hybrid Control Problem for a Linear System with Constant Coefficients ..... 91
- M. V. Belubekyan, H. A. Gevorgyan* – The Divergence Problem of the Panel in a Supersonic Gas Flow with Transverse Shears Taken into Account ..... 99
- S. M. Mkhitarian, A. V. Gasparyan, A. S. Sargsyan* – On the Precise Solution of Integral Equation of One Contact Problem of the Mathematical Theory of Elasticity ..... 106

### NEUROCHEMISTRY

- L. S. Hunanyan, R. G. Paronikyan, V. S. Ghamaryan, E. G. Paronikyan* – Molecular modeling of some new neurotropic nitrogen-containing drugs of the heterocyclic series ..... 116

### BIOLOGY

- L. G. Niazyan* – Mosquito-Borne Diseases as a Public Health Threat in Modern Conditions of Armenia ..... 125

### BIOTECHNOLOGY

- H. O. Koloyan, S. V. Avetisyan, M. H. Paronyan, A. S. Hovsepyan* – Application of the *argJ* Gene of the Thermophilic Bacterium *Geobacillus stearothermophilus* for the Construction of a Highly Active Arginine-Producing Strain ..... 133

### PHYSIOLOGY

- K. V. Kazaryan, T. A. Piliposyan, N. G. Hunanyan, R. G. Chibukhchyan* – Comparative Analysis of Spontaneous Electrical Activity of the Uterine Tubes in Rats ..... 142

### BOTANY

- A. M. Hayrapetyan, H. H. Sonyan* – Morphological Peculiarities of Some Representatives of the Subfamily Salsoloideae (Chenopodiaceae) in South Transcaucasia. II. Genera *Girgensohnia Bunge ex Fenzl* and *Anabasis L.* ..... 148
- J. H. Hovakimyan* – Ecologo-Physiological Features of Some Rare Gypsophilous Plant Species of the Ararat Plain ..... 155

### PALEOZOLOGY

- N. H. Manaseryan, L. V. Balyan* – Avifauna of Ancient and Medieval Armenia ..... 163



гости с независимыми полями перемещений и вращений представим в виде

$$I = \iiint_V (\sigma_{ij} \gamma_{ij} + \mu_{ij} \chi_{ij} - W_{\sigma, \mu} - X_i v_i - c_i \omega_i) dV - \iint_{(S)_{\sigma, \mu}} (p_i^* v_i + m_i^* \omega_i) dS - \iint_{(S)_{v, \omega}} [p_i (v_i - v_i^*) + m_i (\omega_i - \omega_i^*)] dS, \quad (1.1)$$

где  $\sigma_{ij}, \mu_{ij}$  – компоненты тензоров напряжений и моментных напряжений;  $\gamma_{ij}, \chi_{ij}$  – компоненты тензоров деформаций и изгибов-кручений;  $v_i, \omega_i$  – компоненты векторов перемещения и свободного поворота;  $W_{\sigma, \mu}$  – объёмная плотность потенциальной энергии деформации, выраженной через напряжения и моментные напряжения;  $p_i = \sigma_{ji} n_j, m_i = \mu_{ji} n_j$ ;  $n_i$  – компоненты вектора нормали к поверхности  $(S)$  тела;  $(V)$  – область тела;  $X_i, c_i$  – компоненты векторов объёмных сил и моментов;  $(S)_{\sigma, \mu}$  – часть поверхности  $(S)$ , на которой заданы напряжения и моментные напряжения;  $(S)_{v, \omega}$  – часть поверхности  $(S)$ , на которой заданы перемещения и поворота;  $i, j = 1, 2, 3$ .

Объёмная плотность потенциальной энергии деформации выражается так [8]:

$$W_{\sigma, \mu} = \frac{1}{2} [\lambda' \theta_\sigma^2 + 2\mu' (\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + \sigma_{33}^2) + (\mu' + \alpha') (\sigma_{12}^2 + \sigma_{21}^2 + \sigma_{13}^2 + \sigma_{31}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{32}^2) + 2(\mu' - \alpha') (\sigma_{12} \sigma_{21} + \sigma_{13} \sigma_{31} + \sigma_{23} \sigma_{32}) + \beta' \theta_\mu^2 + 2\gamma' (\mu_{11}^2 + \mu_{22}^2 + \mu_{33}^2) + (\gamma' + \varepsilon') (\mu_{12}^2 + \mu_{21}^2 + \mu_{13}^2 + \mu_{31}^2 + \mu_{23}^2 + \mu_{32}^2) + 2(\gamma' - \varepsilon') (\mu_{12} \mu_{21} + \mu_{13} \mu_{31} + \mu_{23} \mu_{32})], \quad (1.2)$$

где

$$\theta_\sigma = \sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33}, \quad \theta_\mu = \mu_{11} + \mu_{22} + \mu_{33}, \quad (1.3)$$

$$\mu' = \frac{1}{4\mu}, \quad \alpha' = \frac{1}{4\alpha}, \quad \gamma' = \frac{1}{4\gamma}, \quad \varepsilon' = \frac{1}{4\varepsilon},$$

$$\lambda' = -\frac{\lambda}{6\mu K}, \quad K = \lambda + \frac{2}{3}\mu, \quad \beta' = -\frac{\beta}{6\gamma\Omega}, \quad \Omega = \beta + \frac{2}{3}\gamma,$$

$\lambda, \mu$  – упругие постоянные Ламе,  $\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$  – упругие постоянные.

На основе функционала Рейсснера (1.1) можно получить вариационное уравнение ( $\delta I = 0$ ), из которого следуют уравнения равновесия, соотношения упругости, силовые граничные условия на  $(S)_{\sigma, \mu}$  и геометрические граничные условия на  $(S)_{v, \omega}$ :  
уравнения равновесия

$$\sigma_{ji,j} + X_i = 0, \quad \epsilon_{ijk} \sigma_{jk} + \mu_{ji,j} + c_i = 0; \quad (1.4)$$

соотношения упругости

$$\begin{aligned} \gamma_{ii} &= \lambda' \theta_\sigma + 2\mu' \sigma_{ii}, \quad \gamma_{ij} = (\gamma' + \varepsilon') \mu_{ij} + (\gamma' - \varepsilon') \mu_{ji}, \\ \chi_{ii} &= \beta' \theta_\mu + 2\gamma' \mu_{ii}, \quad \chi_{ij} = (\gamma' + \varepsilon') \mu_{ij} + (\gamma' - \varepsilon') \mu_{ji}; \end{aligned} \quad (1.5)$$

граничные условия на  $(S)_{\sigma,\mu}$

$$p_i = p_i^*, \quad m_i = m_i^*; \quad (1.6)$$

граничные условия на  $(S)_{v,\omega}$

$$v_i = v_i^*, \quad \omega_i = \omega_i^*. \quad (1.7)$$

Отметим, что приведённые выше уравнения и соотношения моментной теории упругости изложены в декартовой системе координат  $x_i$ . Для установления функционала Рейсснера (инвариантное выражение) для моментно-мембранной теории оболочек, используем триортогональные координаты  $\alpha_i, z (i=1,2)$ , где  $\alpha_1, \alpha_2$  – линии главных кривизн срединной поверхности оболочки ( $z=0$ ), а прямолинейная ось  $z$  направлена по нормали к этой поверхности. Коэффициенты Ламе этой координатной системы имеют вид [11]

$$H_i = A_i \left( 1 + \frac{z}{R_i} \right), \quad i=1,2, \quad H_3 = 1, \quad (1.8)$$

где  $A_i, R_i$  – коэффициенты первой квадратичной формы и главные радиусы кривизны срединной поверхности оболочки.

Представим вариационный функционал Рейсснера (1.1) для тела оболочки толщиной  $2h$  с использованием системы координат  $\alpha_i, z (i=1,2)$ :

$$\begin{aligned} & \iint_{(S)^{-h}} \int_{-h}^h (\sigma_{mn} \gamma_{mn} + \mu_{mn} \chi_{mn} - W_{\sigma,\mu}) H_1 H_2 d\alpha_1 d\alpha_2 dz - \\ & - \iint_{(S^+)} (q_n^+ v_n + m_n^+ \omega_n) H_1 H_2 |_{z=h} d\alpha_1 d\alpha_2 + \\ & + \iint_{(S^-)} (q_n^- v_n + m_n^- \omega_n) H_1 H_2 |_{z=-h} d\alpha_1 d\alpha_2 + \iint_{(\Sigma_1)} (\sigma_{2n}^* v_n + \mu_{2n}^* \omega_n) H_1 d\alpha_1 dz + \\ & + \iint_{(\Sigma_1')} [\sigma_{2n} (v_n - v_n^*) + \mu_{2n} (\omega_n - \omega_n^*)] H_1 d\alpha_1 dz - \iint_{(\Sigma_2)} (\sigma_{1n}^* v_n + \mu_{1n}^* \omega_n) H_2 d\alpha_2 dz - \\ & - \iint_{(\Sigma_2')} [\sigma_{1n} (v_n - v_n^*) + \mu_{1n} (\omega_n - \omega_n^*)] H_2 d\alpha_2 dz, \end{aligned} \quad (1.9)$$

где  $W_{\sigma,\mu}$  сохраняет свой вид (1.2). В (1.9) принято, что  $X_n = 0, c_n = 0$  ( $n=1,2,3$ ).

**2. Основные гипотезы. Перемещения и повороты. Деформации и изгибы-кручения, напряжения и моментные напряжения.** В основе моментно-мембраной теории оболочек лежат две гипотезы:

1) Кинематическая гипотеза—это предположение о постоянстве всех компонент вектора перемещения и вектора свободного поворота по толщине оболочки, т.е. по координате  $z$  :

$$v_i = u_i(\alpha_1, \alpha_2), \quad v_3 = w(\alpha_1, \alpha_2), \quad \omega_k = \Omega_k(\alpha_1, \alpha_2) \quad (i=1,2; k=1,2,3). \quad (2.1)$$

2) Статической гипотезой в физических соотношениях моментной теории упругости пренебрегается:  $\sigma_{33}$  — относительно  $\sigma_{ii}$ ;  $\mu_{33}$  — относительно  $\mu_{ii}$ ;  $\sigma_{3i}$  — относительно  $\sigma_{i3}$ ;  $\mu_{3i}$  — относительно  $\mu_{i3}$  ( $i=1,2$ ).

Здесь считаем, что оболочка тонкая, т.е.  $\frac{h}{R_0}$  ( $R_0$  — меньший из главных радиусов кривизны срединной поверхности оболочки) значительно меньше единицы.

Отметим, что принятые гипотезы соответствуют исходному приближению асимптотического метода интегрирования граничной задачи моментной теории упругости с независимыми полями перемещений и вращений [12, 13].

На основе принятых гипотез, используя геометрические и физические соотношения моментной теории упругости с независимыми полями перемещений и вращений [3], для деформаций, изгибов кручений, напряжений и моментных напряжений, получим:  
для деформаций и изгибов-кручений

$$\begin{aligned} \gamma_{ii} &= \Gamma_{ii}(\alpha_1, \alpha_2), \quad \gamma_{ij} = \Gamma_{ij}(\alpha_1, \alpha_2), \quad \gamma_{i3} = \Gamma_{i3}(\alpha_1, \alpha_2), \\ \gamma_{3i} &= \Gamma_{3i}(\alpha_1, \alpha_2), \quad \gamma_{33} = 0, \quad \chi_{ii} = k_{ii}(\alpha_1, \alpha_2), \\ \chi_{ij} &= k_{ij}(\alpha_1, \alpha_2), \quad \chi_{i3} = k_{i3}(\alpha_1, \alpha_2), \quad \chi_{3i} = 0, \quad \chi_{33} = 0, \quad (i \neq j = 1, 2), \end{aligned} \quad (2.2)$$

где

$$\begin{aligned} \Gamma_{ii} &= \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} u_j + \frac{w}{R_i}, \quad \Gamma_{i3} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial w_i}{\partial \alpha_i} - \frac{u_i}{R_i} + (-1)^j \Omega_j, \\ \Gamma_{ij} &= \frac{1}{A_i} \frac{\partial u_j}{\partial \alpha_i} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} u_i + (-1)^j \Omega_3, \quad \Gamma_{3i} = (-1)^j \Omega_j, \\ k_{ii} &= \frac{1}{A_i} \frac{\partial \Omega_i}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \Omega_j + \frac{\Omega_3}{R_i}, \quad k_{ij} = \frac{1}{A_i} \frac{\partial \Omega_j}{\partial \alpha_i} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} \Omega_i, \\ k_{i3} &= \frac{1}{A_i} \frac{\partial \Omega_3}{\partial \alpha_i} - \frac{\Omega_i}{R_i} \quad (i \neq j = 1, 2); \end{aligned} \quad (2.3)$$

для напряжений и моментных напряжений

$$\begin{aligned}
\sigma_{ii} &= \frac{E}{1-\nu^2}(\Gamma_{ii} + \nu\Gamma_{jj}), \quad \sigma_{ij} = (\mu + \alpha)\Gamma_{ij} + (\mu - \alpha)\Gamma_{ji}, \\
\sigma_{i3} &= G^*\Gamma_{i3}, \quad G^* = \frac{4\mu\alpha}{\mu + \alpha}, \\
\mu_{ii} &= \frac{2\gamma}{\beta + 2\gamma} [2(\beta + \gamma)k_{ii} + \beta k_{jj}], \quad \mu_{ij} = (\gamma + \varepsilon)k_{ij} + (\gamma - \varepsilon)k_{ji}, \\
\mu_{i3} &= Bk_{i3}, \quad B = \frac{4\gamma\varepsilon}{\gamma + \varepsilon}.
\end{aligned} \tag{2.4}$$

В теории оболочек вместо напряжений и моментных напряжений удобно оперировать статически эквивалентными им внутренними усилиями и моментами, отнесёнными к единице длины соответствующей координатной линии  $\alpha_1, \alpha_2$  срединной поверхности. Так как по формулам (2.4)

$\sigma_{ii}, \sigma_{ij}, \sigma_{i3}, \mu_{ii}, \mu_{ij}, \mu_{i3}$  не зависят от  $z$ , имеем

$$\begin{aligned}
T_{ii} &= \int_{-h}^h \sigma_{ii} dz = 2\sigma_{ii}h, \quad S_{ij} = \int_{-h}^h \sigma_{ij} dz = 2\sigma_{ij}h, \quad N_{i3} = \int_{-h}^h \sigma_{i3} dz = 2\sigma_{i3}h, \\
L_{ii} &= \int_{-h}^h \mu_{ii} dz = 2\mu_{ii}h, \quad L_{ij} = \int_{-h}^h \mu_{ij} dz = 2\mu_{ij}h, \quad L_{i3} = \int_{-h}^h \mu_{i3} dz = 2\mu_{i3}h.
\end{aligned} \tag{2.5}$$

**3. Вариационный принцип типа Рейсснера моментно-мембранной теории тонких оболочек.** Если принять за основу функционал Рейсснера (1.9) моментной теории упругости с независимыми полями перемещений и вращений, подставляя в него перемещения и повороты (2.1), деформации и изгибы-кручения (2.2), напряжения и моментные напряжения (2.4), после выполнения интегрирования по  $z$  от  $-h$  до  $+h$ , придем к функционалу Рейсснера моментно-мембранной теории оболочек:

$$\begin{aligned}
I_0 &= \iint_{(S)} (T_{11}\Gamma_{11} + T_{22}\Gamma_{22} + S_{12}\Gamma_{12} + S_{21}\Gamma_{21} + N_{13}\Gamma_{13} + N_{23}\Gamma_{23} + L_{11}k_{11} + L_{22}k_{22} + \\
&\quad + L_{12}k_{12} + L_{21}k_{21} + L_{13}k_{11} + L_{23}k_{23} - W_0) A_1 A_2 d\alpha_1 d\alpha_2 - \\
&- \iint_{(S)} \left\{ (q_1^+ - q_1^-) \mu_1 + (q_2^+ - q_2^-) \mu_2 + (q_3^+ - q_3^-) w + [(m_1^+ - m_1^-) + h(p_2^+ + p_2^-)] \Omega_1 + \right. \\
&\quad \left. + [(m_2^+ - m_2^-) - h(p_1^+ + p_1^-)] \Omega_2 + (m_3^+ - m_3^-) \Omega_3 \right\} A_1 A_2 d\alpha_1 d\alpha_2 + \\
&+ \int_{\Gamma_1^*} (S_{21}^* u_1 + T_{22}^* u_2 + N_{23}^* w + L_{21}^* \Omega_1 + L_{22}^* \Omega_2 + L_{23}^* \Omega_3) A_1 d\alpha_1 + \\
&+ \int_{\Gamma_1^*} [S_{21}^* (u_1 - u_1^*) + T_{22}^* (u_2 - u_2^*) + N_{23}^* (w - w^*) + L_{21}^* (\Omega_1 - \Omega_1^*) +
\end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
& + L_{22}^*(\Omega_2 - \Omega_2^*) + L_{23}^*(\Omega_3 - \Omega_3^*) \Big] A_1 d\alpha_1 - \\
& - \int_{\Gamma_2'} (T_{11}^* u_1 + S_{12}^* u_2 + N_{13}^* w + L_{11}^* \Omega_1 + L_{12}^* \Omega_2 + L_{13}^* \Omega_3) A_2 d\alpha_2 - \\
& - \int_{\Gamma_2''} [T_{11}^*(u_1 - u_1^*) + S_{12}^*(u_2 - u_2^*) + N_{13}^*(w - w^*) + L_{11}^*(\Omega_1 - \Omega_1^*) + \\
& + L_{12}^*(\Omega_2 - \Omega_2^*) + L_{13}^*(\Omega_3 - \Omega_3^*)] A_2 d\alpha_2,
\end{aligned}$$

где  $W_0$  – поверхностная плотность потенциальной энергии деформации оболочки

$$\begin{aligned}
W_0 = & \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2h} [\lambda'(T_{11} + T_{22})^2 + 2\mu'(T_{11}^2 + T_{22}^2) + \\
& + (\mu' + \alpha')(S_{12}^2 + S_{21}^2 + N_{13}^2 + N_{23}^2) + \\
& + 2(\mu' - \alpha')S_{12}S_{21} + \beta'(L_{11} + L_{22})^2 + 2\gamma'(L_{11}^2 + L_{22}^2) + \\
& + (\gamma' + \varepsilon')(L_{12}^2 + L_{21}^2 + L_{13}^2 + L_{23}^2) + 2(\gamma' - \varepsilon')L_{12}L_{21}]
\end{aligned} \quad (3.2)$$

На основе функционала Рейсснера можно получить вариационное уравнение, варьируя (3.1) по всем 18 функциональным аргументам:  $\delta u_1, \delta u_2, \delta w, \delta \Omega_1, \delta \Omega_2, \delta \Omega_3, \delta T_{11}, \delta T_{22}, \delta S_{12}, \delta S_{21}, \delta N_{13}, \delta N_{23}, \delta L_{11}, \delta L_{22}, \delta L_{12}, \delta L_{21}, \delta L_{13}, \delta L_{23}$ , и утверждать, что равенство  $\delta I_0 = 0$  справедливо лишь при условии равенства нулю коэффициентов при этих вариациях. Приравнявая нулю выражения в скобках при вариациях  $\delta u_1, \dots, \delta L_{23}$ , получим физические соотношения упругости и уравнения равновесия моментно-мембранной теории оболочек во всех точках срединной поверхности ( $S$ ), а также граничные условия, справедливые на  $\Gamma_1'$  и  $\Gamma_1''$ ;  $\Gamma_2'$  и  $\Gamma_2''$ :  
физические соотношения упругости

$$\begin{aligned}
\Gamma_{ii} = & \frac{1}{2h} \frac{1}{E} (T_{ii} - \nu T_{jj}), \Gamma_{ij} = -\frac{1}{2h} \left( \frac{\mu + \alpha}{4\mu\alpha} S_{ij} - \frac{\mu - \alpha}{4\mu\alpha} S_{ji} \right), \\
\Gamma_{i3} = & \frac{1}{2G^*h} N_{i3}, G^* = \frac{4\mu\alpha}{\mu + \alpha}, \\
k_{ii} = & \frac{1}{2h} \frac{1}{2\gamma(3\beta + 2\gamma)} [2(\beta + \gamma)L_{ii} - \beta L_{jj}], k_{ij} = \frac{1}{2h} \left( \frac{\gamma + \varepsilon}{4\gamma\varepsilon} L_{ij} - \frac{\gamma - \varepsilon}{4\gamma\varepsilon} L_{ji} \right), \\
k_{i3} = & \frac{1}{2Bh} L_{i3}, B = \frac{4\gamma\varepsilon}{\gamma + \varepsilon};
\end{aligned} \quad (3.3)$$

дифференциальные уравнения равновесия

$$\begin{aligned}
& \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial(A_j T_{ii})}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial(A_i S_{ji})}{\partial \alpha_j} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} S_{ij} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} T_{jj} + \frac{N_{i3}}{R_i} = \\
& \quad = -(p_i^+ - p_i^-), \\
& \quad \frac{T_{11}}{R_1} + \frac{T_{22}}{R_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial(A_2 N_{13})}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial(A_1 N_{23})}{\partial \alpha_2} = (p_3^+ - p_3^-), \\
& \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial(A_i L_{ii})}{\partial \alpha_i} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial(A_i L_{ji})}{\partial \alpha_j} + \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_j} L_{ij} - \frac{1}{A_i A_j} \frac{\partial A_j}{\partial \alpha_i} L_{jj} + \frac{L_{i3}}{R_i} + \\
& \quad + (-1)^j N_{j3} = -(m_i^+ - m_i^-) + (-1)^j h(p_j^+ + p_j^-), \\
& \frac{L_{11}}{R_1} + \frac{L_{22}}{R_2} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial(A_2 L_{13})}{\partial \alpha_1} - \frac{1}{A_1 A_2} \frac{\partial(A_1 L_{23})}{\partial \alpha_2} - (S_{12} - S_{21}) = \\
& \quad = (m_3^+ - m_3^-), \quad i \neq j = 1, 2;
\end{aligned} \tag{3.4}$$

граничные условия

$$\begin{aligned}
& \text{на } \Gamma_1': S_{21} = S_{21}^*, T_{22} = T_{22}^*, N_{23} = N_{23}^*, L_{21} = L_{21}^*, L_{22} = L_{22}^*, L_{23} = L_{23}^*, \\
& \text{на } \Gamma_1'': u_1 = u_1^*, u_2 = u_2^*, w = w^*, \Omega_1 = \Omega_1^*, \Omega_2 = \Omega_2^*, \Omega_3 = \Omega_3^*, \\
& \text{на } \Gamma_2': T_{11} = T_{11}^*, S_{12} = S_{12}^*, N_{13} = N_{13}^*, L_{11} = L_{11}^*, L_{12} = L_{12}^*, L_{13} = L_{13}^*, \\
& \text{на } \Gamma_2'': u_1 = u_1^*, u_2 = u_2^*, w = w^*, \Omega_1 = \Omega_1^*, \Omega_2 = \Omega_2^*, \Omega_3 = \Omega_3^*.
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Таким образом, доказана

**Теорема.** Вариационное уравнение  $\delta I_0 = 0$  содержит в качестве (дифференциальных) уравнений Эйлера соотношения упругости и условия равновесия, а в качестве естественных граничных условий – статические (на  $\Gamma_1', \Gamma_2'$ ) и геометрические (на  $\Gamma_1'', \Gamma_2''$ ) условия.

Ширакский государственный университет им М. Налбандяна  
e-mail: s\_sargsyan@yahoo.com

**Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян**

### **Вариационный принцип типа Рейсснера моментно-мембранной теории тонких оболочек**

На основе принятых предположений устанавливается вариационный принцип типа Рейсснера моментно-мембранной теории тонких оболочек, созданной для изучения деформаций наноматериалов. Выводятся соотношения упругости, уравнения равновесия, статические и геометрические граничные условия этой теории.

## ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ս. Հ. Սարգսյան

### Բարակ թաղանթների մոմենտամեմբրանային տեսության Ռեյսների տիպի վարիացիոն սկզբունքը

Կատարված ընդունելությունների հիման վրա հաստատվում է բարակ թաղանթների մոմենտամեմբրանային տեսության Ռեյսների տիպի վարիացիոն սկզբունքը նանոնյութերի դեֆորմացիաների ուսումնասիրության համար: Դուրս են բերվում այս տեսության առաձգական առընչությունները, հավասարակշռության հավասարումները, ստատիկական և երկրաչափական եզրային պայմանները:

**Corresponding member of NAS RA S. H. Sargsyan**

### The Variation Principle of Reissner Type of Moment-Membrane Theory of Thin Shells

On the basis of the accepted assumptions, a Reissner-type variation principle of the moment-membrane theory of shells is established, to study the deformation of nanomaterials. Elastic relations, equilibrium equations, static and geometric boundary conditions of this theory are derived.

### Литература

1. *Панкович П. Ф.* Теория упругости. Киев. Оборонгиз. 1939. 640 с.
2. *Лейбензон Л. С.* Курс теории упругости. М. – Л. ГИТТЛ. 1947. 464 с.
3. *Новацкий В.* Теория упругости. М. Мир. 1975. 872 с.
4. *Колтунов М. А., Васильев Ю. Н., Черных В. А.* Упругость и прочность цилиндрических тел. М. Высшая школа. 1975. 526 с.
5. *Образцов И. Ф., Булычев Л. А., Васильев В. В. и др.* Строительная механика летательных аппаратов. М. Машиностроение. 1986. 536 с.
6. *Пелех Б. Л.* Теория оболочек с конечной сдвиговой жесткостью. Киев. Наукова думка. 1973. 247 с.
7. *Подстригач Я. С., Швец Р. Н.* Термоупругость тонких оболочек. Киев. Наукова думка. 1978. 344 с.
8. *Nowacki W.* Theory of Asymmetric Elasticity. Oxford. Pergamon. 1986. 383 p.
9. *Саркисян С. О.* – Физическая мезомеханика. 2020. Т. 23. № 4. С. 13-19.
10. *Саркисян С. О.* – Доклады НАН Армении. 2020. Т. 120. № 4. С. 239-249.
11. *Гольденвейзер А. Л.* Теория упругих тонких оболочек. М. ГИТТЛ. 1953. 544 с.
12. *Саркисян С. О.* – Прикладная математика и механика. 2008. Т. 72. Вып. 1. С. 129-147.
13. *Саркисян С. О.* – Прикладная математика и механика. 2012. Т. 76. Вып. 2. С. 325-343.



Thus, we can rewrite the system (1)-(2) as a system of matrix equations as shown below.

$$\dot{x} = Ax + Py + Bu, \quad (3)$$

$$\dot{y} = Cy + D\bar{x}. \quad (4)$$

Here,  $x = (x_1 \ \cdots \ x_n)^T$  is an  $n$  dimensional column vector,  $y = (y_1 \ \cdots \ y_k)^T$  is a  $k$  dimensional column vector,  $\bar{x} = (\bar{x}_1 \ \cdots \ \bar{x}_m)^T$  is an  $m$  dimensional column vector that contains some  $m$  states of  $x$  and  $u = (u_1 \ \cdots \ u_r)^T$  is an  $r$  dimensional column vector.

Let us now define the following problem.

**Problem Definition 1.** We are given the system (1)-(2) (or (3)-(4)), the time period  $[t_0, t_1]$ , the initial position of some of the states (maximum number of the states of (3) can be  $n/2$  and for (4) the number can be  $k$  of the system  $(x(t_0); y(t_0)) = (x_0; y_0)$  and the desired final position of some of the states (maximum number of the states of (3) can be  $n/2$  and for (4) the number can be  $k$  of the system  $x(t_1) = x_1$ . It is required to find the control inputs  $u(t)$ ,  $(t_0 \leq t \leq t_1)$  such that it drives the system from its given initial position to its desired final position.

Assume, the matrices  $A, B, C, D$  are such that

$$\text{rank } K_1 = \{D, CD, \dots, C^{k-1}D\} = k \quad (5)$$

and

$$\text{rank } K_2 = \{B_1, A_1 B_1, \dots, A_1^{n+k-1} B_1\} = n + k \quad (6)$$

Where  $A_1$  is the following  $(n+k) \times (n+k)$  matrix

$$A_1 = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1m} & a_{1m+1} & \cdots & a_{1n} & p_{11} & \cdots & p_{1k} \\ \vdots & \vdots \\ a_{n1} & \cdots & a_{nm} & a_{nm+1} & \cdots & a_{nn} & p_{n1} & \cdots & p_{nk} \\ d_{11} & \cdots & d_{1m} & 0 & \cdots & 0 & c_{11} & \cdots & c_{1k} \\ \vdots & \vdots \\ d_{k1} & \cdots & d_{km} & 0 & \cdots & 0 & c_{k1} & \cdots & c_{kk} \end{pmatrix}$$

and  $B_1$  is an  $(n+k) \times r$  matrix as shown below.

$$B_1 = \begin{pmatrix} b_{11} & \cdots & b_{1r} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & \cdots & b_{nr} \\ 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}.$$

Suppose, also, that there is an additional condition for the system (2) (or (4)) which assumes that the states  $y_1, \dots, y_k$  remain close to the point  $O(0 \ \cdots \ 0)$ ,  $y(t_1) = y_1$  is infinitely close to zero and there is a constraint given on the system (2) (or (4)). Now suppose that the constraint is given as

$$J[\bullet] = \int_{t_0}^{\infty} \left( \sum_{i,j=1}^k \alpha_{ij} y_i y_j + \sum_{i,j=1}^m \beta_{ij} x_i x_j \right) dt. \quad (7)$$

Thus, we can choose  $x_1, \dots, x_m$  to be control actions for the system (2) (or (4)) and hence, we can define to following problem.

**Problem Definition 2.** Assume we are given the dynamics of the state space model (2) (or (4)) and the constraint (7). We need to find the control actions  $\bar{x}_1^0[t], \dots, \bar{x}_m^0[t]$  such that the system (2) (or (4)) becomes asymptotically stable and the constraint (7) reaches its minimal value.

Now, because of the assumption (5) the system (2) (or (4)) becomes fully controllable [1], hence, for any reasonable initial position  $y(t_0) = y_0$  there exists unique  $(x_1^0 \ \cdots \ x_m^0)^T$  column vector of control actions which solve the problem 2 [2]. This means that also the states  $y_1^0(t), \dots, y_k^0(t)$  will be calculated uniquely, moreover

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \bar{x}_i^0[t] = 0, \quad (i = 1, \dots, m) \quad (8)$$

and

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y_i^0(t) = 0, \quad (i = 1, \dots, k) \quad (9)$$

Now that we solved the second problem, we will discuss the problem 1. So, by substituting the functions  $\bar{x}_1^0[t], \dots, \bar{x}_m^0[t]$  and  $y_1^0(t), \dots, y_k^0(t)$ , which we gained by solving the problem 2, into the system (1) (or (3)), we can rewrite the system as

$$\dot{x}_i = a_{i,m+1}x_{m+1} + \dots + a_{i,n}x_n + b_{i1}u_1 + \dots + b_{in}u_n + f_i(t) \quad (10)$$

where  $i = m+1, \dots, n$ , and

$$f_i(t) = a_{i1}\bar{x}_1^0[t] + \dots + a_{im}\bar{x}_m^0[t] + p_{i1}y_1^0(t) + \dots + p_{ik}y_k^0(t) \quad (11)$$

where  $i = 1, \dots, n$ .

It is obvious that first  $m$  equations from the system (10) will become algebraic equations because the functions  $x_1^0[t], \dots, x_m^0[t]$  will be already known.

According to (6) the system (1)(2) is fully controllable, hence, it remains to calculate the control actions  $u = (u_1(t) \ \dots \ u_r(t))^T$  which solve the first problem, and that can be done by choosing some known algorithm. Thus, the problem is solved.

**Numerical Example.** Now let us demonstrate how the above theory works by bringing an example of a system.

Suppose we have the controllable system (12) and (13) [3]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, & \dot{x}_2 &= \frac{m}{m+m_p}gx_8 - \frac{m_p}{m+m_p}\frac{g}{l_p}y_1, & \dot{x}_3 &= x_4, \\ \dot{x}_4 &= -\frac{m}{m+m_p}gx_7 - \frac{m_p}{m+m_p}\frac{g}{l_p}y_3, & \dot{x}_5 &= x_6, \end{aligned} \quad (12)$$

$$\dot{x}_7 = x_{10}, \quad \dot{x}_8 = x_{11}, \quad \dot{x}_9 = x_{12},$$

$$\dot{x}_6 = u_1, \quad \dot{x}_{10} = u_2 - \frac{g}{I_{xx}}y_3, \quad \dot{x}_{11} = u_3 - \frac{g}{I_{yy}}y_1, \quad \dot{x}_{12} = u_4, \quad (13)$$

$$\dot{y}_1 = y_2, \quad \dot{y}_2 = -gx_8 - \frac{g}{l_p}y_1, \quad \dot{y}_3 = y_4, \quad \dot{y}_4 = gx_7 - \frac{g}{l_p}y_3 \quad (14)$$

For the systems (12), (13) and (14) we can check the conditions (5) and (6). We will have:

$$\text{rank } K_1 = 4 \text{ and } \text{rank } K_2 = 16.$$

In this example the vector  $\bar{x}$  will be  $\bar{x} = (\bar{x}_1[t] \ \bar{x}_2[t])^T = (x_7 \ x_8)^T$ . So, we will need to solve the second problem for the system (14) and find  $\bar{x}$ . The constraint (7) in this example will take the following form:

$$J[\bullet] = \int_0^{\infty} (x_{14}^2 + x_{16}^2 + u_5^2 + u_6^2) d\tau. \quad (15)$$

This system describes the motion of an Unmanned Aerial vehicle with pendulum hanging from it.

So, for this system we have

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{m}{m+m_p}g & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{m}{m+m_p}g & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$P = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{g}{l_p} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{g}{l_p} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{g}{l_p} & 0 \\ -\frac{g}{l_p} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{g}{l_p} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -\frac{g}{l_p} & 0 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & -g \\ 0 & 0 \\ g & 0 \end{pmatrix}$$

To solve the above-mentioned problem, we choose to use Bellman-Lyapunov method. Thus, we will have

$$\begin{aligned}
\bar{x}_1[t] = x_7(t) &= -\frac{0.5\sqrt{g}}{\sqrt{l_p}\sqrt{-4+gl_p}} \cdot [\exp(\lambda_-t) - \exp(\lambda_+t)], \\
\bar{x}_2[t] = x_8(t) &= \frac{0.5\sqrt{g}}{\sqrt{l_p}\sqrt{-4+gl_p}} \cdot [\exp(\lambda_-t) - \exp(\lambda_+t)].
\end{aligned} \tag{16}$$

Were the exponential coefficients are

$$\lambda_- = \left( -gl_p - \sqrt{g}\sqrt{l_p}\sqrt{-4+gl_p} \right) / 2l_p,$$

$$\lambda_+ = \left( -gl_p + \sqrt{g} \sqrt{l_p} \sqrt{-4 + gl_p} \right) / 2l_p$$

One can simply check that (8) and (9) are correct for this example. Now, what we need to do, is to substitute (16) into (14) and integrate (14) for some initial conditions. For this example we have chosen the initial conditions as:

$$y_1(0) = 0.5, y_2(0) = 0, y_3(0) = 0.5, y_4(0) = 0$$

After integrating the system (14) we can substitute  $\bar{x}_1, \bar{x}_2, y_1, y_2, y_3, y_4$  back into (12), (13) and integrate the system. This way we will have all the state trajectories and control actions except for  $x_5, x_6, x_9, x_{12}$ . The reason is that those states can be decoupled from (12), (13) and, also, the corresponding equations are not dependent of (14) at all. So, to get those states we can proceed in a few different ways. As for example, one can formulate an optimal control problem, or just assign some realistic path for those states to follow. Hence, the two problems defined in the theoretical part of this paper will be completely solved.

The resulting control actions for (12), (13) are the following:

$$u_2(t) = \frac{0.5\sqrt{g} \left( \lambda_-^2 \cdot \exp(e^{\lambda_- t}) - 0.25\lambda_+^2 \cdot \exp(e^{\lambda_+ t}) \right)}{\sqrt{l_p} \sqrt{-4 + gl_p}} + \frac{0.25g \left( 2l_p \lambda_+ \cdot \exp(\lambda_+ t) + 2l_p \lambda_- \cdot \exp(\lambda_- t) \right)}{I_{xx} \sqrt{-4 + gl_p}}$$

**Conclusion.** A hybrid control problem of a system of linear differential equations with constant coefficients is discussed in this paper. It was assumed that some of the states of the system have to satisfy some additional conditions. To ensure those conditions are satisfied, some of the states of one subsystem were chosen to be additional control actions in second subsystem. Then, an optimal stabilization problem was defined and solved for the second subsystem using Lyapunov-Bellman method. The special states which were chosen to be control actions and the corresponding optimal trajectories were acquired for the second subsystem. Afterwards, those solutions are substituted in the first subsystem and the main control problem was solved. An example of a hybrid control problem for a system was presented where the system represents the dynamics of a UAV carrying a pendulum. The specially chosen states are indicated and were calculated as optimally stabilizing control actions, after which the main control actions of the system we gained and shown by the end of the example.

<sup>1</sup>Institute of Mechanics of NAS RA

<sup>2</sup>Yerevan State University

e-mail: ara.serg.avetisyan@gmail.com

a.s.shahinyan@gmail.com

**Corresponding member of NAS RA Ara S. Avetisyan,  
A. S. Shahinyan**

**A Hybrid Control Problem for a Linear System  
with Constant Coefficients**

The problem of hybrid control of a linear system movement is discussed. It is assumed that the coefficients of the considered system are constants. Also, it is assumed that a subsystem of our main plant satisfies some conditions. Then, some of the states in that subsystem are considered as control inputs and thus the subsystem is optimally stabilized using LQR stabilizer. The optimal solutions of the subsystem are used as control actions on the whole system. A numerical example system is presented for which the hybrid of optimal stabilizing control actions of a subsystem and control actions for the main system is introduced.

**ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Արա Ս. Ավետիսյան, Ա. Ս. Շահինյան**

**Հաստատուն գործակիցներով գծային համակարգի հիբրիդային  
դեկավարման խնդիրը**

Քննարկվում է գծային համակարգի շարժման հիբրիդային կառավարման խնդիրը: Ենթադրվում է, որ դիտարկվող համակարգի գործակիցները հաստատուններ են: և մեր հիմնական կայանի ենթահամակարգը բավարարում է որոշ պայմանների. այդ ենթահամակարգի որոշ դիրքեր համարվում են որպես հսկիչ մուտքեր, և ենթահամակարգը օպտիմալորեն կայունացվում է՝ օգտագործելով LQR կայունացուցիչ: Ենթահամակարգի օպտիմալ լուծումներն օգտագործվում են որպես դեկավարման ազդակներ ամբողջ համակարգի վրա: Ներկայացված է թվային համակարգի դեկավարման օրինակ, որի դեպքում ներդրվում է ենթահամակարգի օպտիմալ կայունացնող ազդակների և հիմնական համակարգի դեկավարման ազդակների հիբրիդը:

**Член-корреспондент НАН РА Ара С. Аветисян, А. С. Шагинян**

**Задача гибридного управления линейной системой  
с постоянными коэффициентами**

Обсуждается проблема гибридного управления движением линейной системы. Предполагается, что коэффициенты рассматриваемой системы постоянны и подсистема нашего основного агрегата удовлетворяет некоторым условиям: некоторые состояния в этой подсистеме рассматриваются как управляющие входы, и, таким образом, подсистема оптимально стабилизируется с помощью стабилизатора LQR. Оптимальные решения подсистемы используются как управляющие воздействия на всю систему. Представлен численный пример системы, для

которой вводится гибри́д управляющих воздействий, исходящих из оптимальной стабилизации подсистемы, и управляющих воздействий на основную систему.

### References

1. *Krasovskii N. N.* Control Theory of Motion, M. Nauka. 1968. 476 p. (in Russian).
2. *Al'brekht E. G., Shelement'ev G. S.* Lectures on the Stabilization Theory. Sverdlovsk. 1972. 274 p. (in Russian).
3. *Shahinyan A. S.* – Proceedings of NAS RA. Mechanics. 2021. V. 74. №1. P. 46-55.



где  $w(x)$  – функция прогиба,  $\varphi_1(x)$  – функция, характеризующая перерезывающее усилие, а  $D$  – жесткость пластинки при изгибе, равная

$$D = \frac{2Eh^3}{3(1-\nu^2)}, \quad (1.2)$$

причем  $E$  – модуль Юнга, а  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

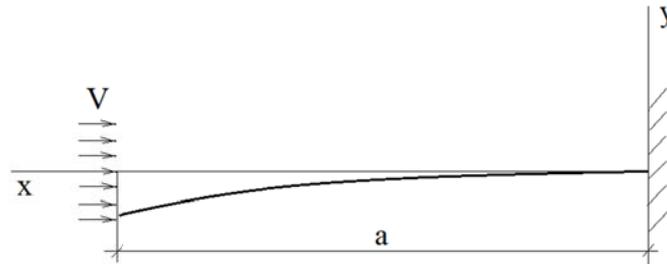


Рис. 1. Консольная пластинка-панель, обтекаемая сверхзвуковым потоком газа.

Поперечная нагрузка  $p$  обусловлена взаимодействием упругой деформации пластинки и набегающим сверхзвуковым потоком. В соответствии с принятым допущением (рис. 1) [1] поперечная нагрузка определяется поршневой теорией как

$$p = a_0 \rho_0 V \frac{dw}{dx}. \quad (1.3)$$

Из первого уравнения системы (1.1) с учетом (1.3) имеем

$$\varphi_1 = \frac{3a_0 \rho_0 V}{4h} \cdot w + C_1. \quad (1.4)$$

Подстановка (1.4) во второе уравнение системы (1.1) приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению третьего порядка с правой частью

$$\frac{d^3 w}{dx^3} - \frac{6}{5} \frac{3a_0 \rho_0 V (1+\nu)}{Eh} \cdot \frac{d^2 w}{dx^2} + \frac{a_0 \rho_0 V}{D} \cdot w = -\frac{4h}{3D} C_1. \quad (1.5)$$

Решение уравнения (1.5) представляется в виде суммы общего решения  $w_0$  соответствующего однородного уравнения и частного решения  $w_*$  неоднородного

$$w = w_0 + w_*. \quad (1.6)$$

Уравнение относительно  $w_0$  удобно представлять в виде

$$\frac{d^3 w_0}{d\xi^3} - \eta (sa)^3 \frac{d^2 w_0}{d\xi^2} + (sa)^3 w_0 = 0, \quad (1.7)$$

где 
$$\xi = \frac{x}{a}, \quad \eta = \frac{4h^2}{5(1-\nu)a^2}, \quad s = \sqrt[3]{\frac{a_0\rho_0V}{D}}.$$

**2. Аналитическое решение задачи.** Путем представления решения однородного дифференциального уравнения (1.7) в виде

$$w_0(\xi) = Ae^{\lambda\xi} \quad (2.1)$$

приводим его к характеристическому уравнению третьей степени

$$\lambda^3 - \eta(sa)^3 \cdot \lambda^2 + (sa)^3 = 0. \quad (2.2)$$

После нахождения корней уравнения (2.2) с учетом (1.6) получаем окончательное решение уравнения (1.5):

$$w(\xi) = A_1 + A_2e^{\lambda_2\xi} + e^{r_1\xi} \cdot [B_1\text{Sin}(r_2\xi) + B_2\text{Cos}(r_2\xi)], \quad (2.3)$$

где  $A_1 = -\frac{4h}{3a_0\rho_0V}C_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ ,  $B_2$  – постоянные интегрирования,

$$\lambda_2 = \gamma_1 + \gamma_2, \quad \gamma_{1,2} = \frac{sa}{\sqrt[3]{2}} \sqrt[3]{\mu - 1 \pm \sqrt{1 - 4\mu}}, \quad \mu = \frac{1}{27}\eta^3(sa)^6, \quad r_1 = -\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2},$$

$r_2 = \frac{\sqrt{3}}{2}(\gamma_1 - \gamma_2)$  – характеристические числа уравнения (2.2).

В случае отрицательного дискриминанта характеристического уравнения (2.2)

$$\Delta = -108 \frac{(sa)^2}{4} \cdot \left[ 1 - \frac{4\eta^3(sa)^2}{27} \right]. \quad (2.4)$$

Для характеризующей поперечное усилие функции  $\varphi_1(x)$  получаем

$$\varphi_1(\xi) = \frac{3a_0\rho_0V}{4h} \cdot [A_2e^{-\lambda_2\xi} + e^{r_1\xi} (B_1\text{Sin}(r_2\xi) + B_2\text{Cos}(r_2\xi))]. \quad (2.5)$$

Согласно теории пластин Амбарцумяна, граничные условия для свободного края, т.е. равенство нулю поперечной силы и изгибающего момента, дают

$$\left[ \frac{d^2w(\xi)}{d\xi^2} - \frac{4a}{5G} \frac{d\varphi_1(\xi)}{d\xi} \right]_{\xi=0} = 0, \quad \varphi_1(\xi)|_{\xi=0} = 0, \quad (2.6)$$

условия для закрепленного края принимают вид

$$w(\xi)|_{\xi=1} = 0, \quad \left[ \frac{dw(\xi)}{d\xi} - \frac{4a}{5G} \cdot \varphi_1(\xi) \right]_{\xi=1} = 0, \quad (2.7)$$

причем в равенствах (2.6) и (2.7)  $G$  – модуль сдвига.

Предполагается, что край пластинки  $x = 0$  ( $\xi = 0$ ) свободен, а край  $x = a$  ( $\xi = 1$ ) закреплен.

**3. Дивергенция панели.** Требование, чтобы решения (2.3) и (2.4) удовлетворяли граничным условиям (2.6) и (2.7), приводит к следующей си-

стеме линейных алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных интегрирования  $A_1, A_2, B_1, B_2$  :

$$\begin{aligned} \lambda_2(\lambda_2 + \alpha) \cdot A_2 + r_2(2r_1 - \alpha) \cdot B_1 + (r_1^2 - r_2^2 - \alpha r_1) \cdot B_2 &= 0, \\ A_2 + B_2 &= 0, \\ A_1 + e^{\lambda_2} A_2 + e^{\eta} \cdot \text{Sin}(r_2) \cdot B_1 + e^{\eta} \cdot \text{Cos}(r_2) \cdot B_2 &= 0, \\ (\lambda_2 - \alpha) \cdot e^{\lambda_2} A_2 + e^{\eta} \cdot [(r_1 - \alpha) \cdot \text{Sin}(r_1) + r_2 \cdot \text{Cos}(r_2)] B_1 + e^{\eta} [(r_1 - \alpha) \cdot \text{Cos}(r_2) + r_2 \cdot \text{Sin}(r_2)] B_2 &= 0, \end{aligned} \quad (3.1)$$

где  $\alpha = \eta(sa)^3$  .

Первое, второе и четвертое уравнения системы (3.1) образуют систему трех однородных алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных  $A_2, B_1, B_2$  . Условие равенства нулю детерминанта этой системы определяет уравнение для нахождения параметра  $sa$ , характеризующего критическую скорость набегающего потока, при которой пластинка теряет устойчивость. Третье уравнение системы (3.1) определяет постоянную  $A_1$  .

Условие равенства нулю детерминанта указанной системы после некоторых элементарных преобразований приводится к виду

$$\begin{aligned} \left\{ (r_1 - \alpha) \left[ \lambda_2 (\lambda_2 + \alpha) - (r_1^2 - r_2^2 - \alpha r_1) \right] - r_2^2 (2r_1 - \alpha) \right\} \text{Sin}(r_2) + \\ r_2 \left[ \lambda_2 (\lambda_2 + \alpha) - r_1^2 + r_2^2 + \alpha r_1 + (2r_1 - \alpha)(r_1 - \alpha) \right] \text{Cos}(r_2) - \\ r_2 (2r_1 - \alpha) (\lambda_2 - \alpha) e^{\lambda_2 - \eta} = 0. \end{aligned} \quad (3.2)$$

В табл. 1 приводятся значения критического параметра при налегании сверхзвукового потока на свободный край  $V > 0$  – прямое обтекание. Отсюда видно, что учет сдвиговых напряжений приводит к некоторому незначительному увеличению критической скорости (стабилизация), после чего происходит дестабилизация.

**Таблица 1**

$\eta$	0	0.001	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9
$Sa$	1.85	1.85	1.86	1.83	1.73	1.51	1.37	1.32	1.29	–

В табл. 2 приведены численные значения параметра  $sa$  для уравнения (3.2) при налегании потока на закрепленный край  $V < 0$  – обратное обтекание.

**Таблица 2**

$\eta$	0	0.048	0.05	0.1	0.5	1.0	1.5	2.0	2.3	2.4
$Sa$	–	–5.25	–5.15	–3.64	–1.64	–1.17	–0.96	–0.84	–0.78	–

Здесь в отличие от теории Кирхгофа учет сдвигов приводит к потере устойчивости пластинки, т.е. однозначно приводит к дестабилизации. Уравнение (3.2) допускает также и приближенное решение, которое может дать качественные результаты. Для достаточно широких пластин  $sa \ll 1$  можно пренебречь последним слагаемым в уравнении (3.2) и в приближении  $\eta \ll 1$  получить уравнение

$$\text{Cos}(r_2) = 0, \text{ или } sa = (\sqrt{3}/3) \cdot \pi, \quad (3.3)$$

откуда в подтверждение численных результатов табл. 1 следует, что учет сдвигов приводит к стабилизации.

При обратном обтекании существенную роль играет последнее слагаемое в уравнении (3.2), вследствие чего из  $V < 0$  следует  $e^{\lambda_2 - \eta} \ll 1$ . А из этого следует, что можно рассматривать приближенное уравнение

$$2r_1 - \alpha = 0. \quad (3.4)$$

В заключение необходимо отметить, что в табл. 1 и 2 значения коэффициента  $\eta > 0.1$  не имеют явно выраженного практического значения.

**4. Частный случай.** Решение задачи в новой постановке осуществляется при тех же краевых условиях, которые учитывались в предыдущем пункте, а именно, того, что край пластинки  $x = 0$  ( $\xi = 0$ ) свободен, а край  $x = a$  ( $\xi = 1$ ) закреплен.

Таким образом, проведено также и исследование частного случая дифференциального уравнения (1.7), характеристическое уравнение (2.2) которого имеет три действительных корня, два из которых совпадают. Этот случай соответствует, очевидно, равенству нулю дискриминанта (2.4) кубического уравнения в слагаемых радикалах (2.3) формулы Кардано. Тогда решение (2.3) и функция  $\varphi_1(\xi)$  (2.4) дифференциального уравнения (1.7) представляются соответственно в виде (4.1) и (4.2):

$$w(\xi) = A_1 + A_2 \cdot e^{\lambda_2 \xi} + A_3 \cdot e^{\lambda_3 \xi} + A_4 \xi \cdot e^{\lambda_3 \xi}, \quad (4.1)$$

$$\varphi_1(\xi) = \frac{3a_0 \rho_0 V}{4h} (A_2 \cdot e^{\lambda_2 \xi} + A_3 \cdot e^{\lambda_3 \xi} + A_4 \xi \cdot e^{\lambda_3 \xi}). \quad (4.2)$$

Из равенства нулю дискриминанта кубического уравнения непосредственно следует, что

$$\eta = \frac{3}{\sqrt[3]{4}} \frac{1}{(sa)^2}, \quad (4.3)$$

в результате чего определяются корни характеристического уравнения (2.2):

$$\lambda_2 = \frac{sa}{\sqrt[3]{4}} \approx 0.63sa, \quad \lambda_3 = \lambda_4 = 2\sqrt[3]{2}sa \approx 2.52sa. \quad (4.4)$$

После подстановки (4.1) – (4.4) в граничные условия (2.6) и (2.7) приходим к новой системе линейных алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных интегрирования  $A_1, A_2, A_3, A_4$ :

$$\begin{aligned}
&\lambda_2(\lambda_2 - \alpha) \cdot A_2 + \lambda_3(\lambda_3 - \alpha) \cdot A_3 + (2\lambda_3 - \alpha) \cdot A_4 = 0, \\
&A_2 + A_3 = 0, \\
&A_1 + e^{\lambda_2} \cdot A_2 + e^{\lambda_3} \cdot A_3 + e^{\lambda_3} \cdot A_4 = 0, \\
&\lambda_2(\lambda_2 - \alpha)e^{\lambda_2} \cdot A_2 + \lambda_3(\lambda_3 - \alpha)e^{\lambda_3} \cdot A_3 + e^{\lambda_3} [\lambda_3(\lambda_3 + 2) - \beta(\lambda_3 + 1)] \cdot A_4 = 0.
\end{aligned} \tag{4.5}$$

Нетрудно заметить, что в системе уравнений (3.1) первое, третье и четвертое уравнения образуют однородную систему линейных алгебраических уравнений относительно произвольных  $A_2, A_3, A_4$  постоянных, которая сводится к решению следующего трансцендентного уравнения:

$$\begin{aligned}
&[0.63sa(0.63sa - \alpha) - 2.52sa(2.52sa - \alpha)][2.52sa(2.52sa + 2) - \alpha(2.52sa + 1)] + \\
&[2.52sa(2.52sa - \alpha) - 0.63sa(0.63sa - \alpha)e^{-1.89sa}](5.04sa - \alpha) = 0.
\end{aligned} \tag{4.6}$$

Численное исследование трансцендентного уравнения (4.6) показывает отсутствие решений при прямом обтекании пластины потоком, т.е. при  $V > 0$ .

Между тем обнаружено решение трансцендентного уравнения (4.6):

$$sa = -0.857, \tag{4.7}$$

соответствующее обратному обтеканию пластинки, т.е. при  $V < 0$ , которое, однако, в теории пластин не имеет практического значения.

**5. Заключение.** При упрощающих предположениях цилиндрического изгиба пластинки и справедливости поршневой теории известно явление панельного флаттера в рамках теории Кирхгофа как при прямом, так и обратном обтекании панели аэродинамическим потоком. В то же время при статическом исследовании неустойчивости пластины в теории Кирхгофа обнаруживается дивергенция только при прямом обтекании панели потоком. Указанное расхождение разрешается в теории Амбарцумяна, наделяющей пластинку меньшей жесткостью. Таким образом, выявлена зона дивергенции панели при обратном обтекании сверхзвуковым потоком газа, которая исследована на основе теории пластин Амбарцумяна.

Институт механики НАН РА  
e-mail: mbelubekyan@yahoo.com

**М. В. Белубекян, Г. А. Геворкян**

### **Задача дивергенции панели в сверхзвуковом потоке газа при учете поперечных сдвигов**

Представлены результаты исследования дивергентной устойчивости консольной панели-плиты в сверхзвуковом потоке газа. На основе теории пластин С. А. Амбарцумяна с учетом поперечных сдвигов исследованы случаи прямого обтекания (поток от свободного края панели) и обратного обтекания (поток от заземленного края панели) панели-пластинки. Показано, что в случае обратного обтекания панели учет поперечных сдвигов в основных соотношениях (в отличие

от теории пластин Кирхгофа) так же, как и при прямом обтекании, может привести к потере дивергентной устойчивости панели-пластинки.

**Մ. Վ. Բելուբեկյան, Հ. Ա. Գևորգյան**

**Գազի գերձայնային հոսքով շրջհոսվող վահանակի դիվերգենցիայի խնդիրը  
լայնական սահքերի հաշվառման դեպքում**

Ներկայացված են գազի գերձայնային հոսքի մեջ կոնսոլային վահանակի սալիկի դիվերգենցիայի ստատիկ անկայունության ուսումնասիրության արդյունքները: Հիմք ընդունելով Մ. Ա. Համբարձումյանի սալերի տեսությունը, հաշվի առնելով լայնակի սահքերը՝ քննվել են վահանակ-սալիկի ուղիղ շրջհոսման (վահանակի ազատ եզրից հոսքի) և հակադարձ շրջհոսման (վահանակի ամրակցված եզրից հոսքի) դեպքերը: Ցույց է տրվում, որ վահանակ-սալիկի հակադարձ շրջհոսման դեպքում հիմնական հարաբերություններում լայնական սահքերի հաշվի առնելը, ի տարբերություն Կիրիսիտսկիի սալերի տեսության, կարող է հանգեցնել վահանակ-սալի դիվերգենցիալ անկայունության, ինչպես ուղիղ շրջհոսման դեպքում:

**M. V. Belubekyan, H. A. Gevorgyan**

**The Divergence Problem of the Panel in a Supersonic Gas Flow  
with Transverse Shears Taken into Account**

This article proposes the results of a study of the divergent stability of a cantilever panel-plate in a supersonic gas flow. Based on the Ambartsumian's theory of plates, taking into account the transverse shears, the cases of direct flow (flow from the free edge of the panel) and reverse flow (flow from the clamped edge of the panel) of the panel-plate were investigated. It is shown that in the case of reverse flow around the panel, taking into account the transverse shears in the basic relations (in contrast to the theory of Kirchhoff plates) can also lead to the loss of divergent stability of the panel-plate, as in the case of direct flow.

**Литература**

1. Пановко Я. Г., Губанова И. И. Устойчивость и колебания упругих систем. М. Наука. 1987. 324 с.
2. Мовчан А. А. – ПММ. 1957. Т. 21. № 2. С. 211 – 243.
3. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем. М. Наука. 1967. 245 с.
4. Belubekyan M. V., Martirosyan S. R. – Proc. of NAS of Armenia. Mechanics. 2017. V. 70. № 4. P. 12 – 34.
5. Belubekyan M. V., Martirosyan S. R. – Proc. of NAS of Armenia. Mechanics. 2016. V. 69. № 3. P. 41 – 49.
6. Амбарцумян С. А. Теория анизотропных пластин. М. Наука. 1987. 360 с.
7. Белубекаян М. В. – В кн.: Проблемы механики тонких деформируемых сред. Ереван. Гитутюн. 2002. С. 67 – 88.
8. Яновский А. П. – Механика композитных материалов. 2020. Т. 56. № 3. С. 407 – 436.



$-H \leq y \leq 0$  высоты  $H$  и модуля сдвига  $G$  на своей верхней грани  $y = 0$  усилен ленточным в направлении оси  $Oz$  стрингером  $\omega = \{-a \leq x \leq a; y = 0; -\infty < z < \infty\}$  ширины  $2a$ , высоты  $h$  и модуля сдвига  $G_0$ , а его нижняя грань  $y = -H$  жестко закреплена. Верхняя грань  $y = h$  стрингера  $\omega$  в направлении оси  $Oz$  нагружена касательными силами интенсивности  $\tau_+(x)$  ( $-a < x < a$ ), не зависящими от координаты  $z$ , а на кромках  $x = \pm a$  стрингера вдоль линии  $y = h/2$  действуют сосредоточенные силы величины  $T_{\pm}$  соответственно, также не зависящие от координаты  $z$ . Предполагается, что под действием указанных касательных сил система стрингер – слой будет находиться в условиях антиполосковой деформации (продольного сдвига) в направлении оси  $Oz$  с базовой плоскостью  $Oxy$ .

В отличие от традиционной постановки задач о передаче нагрузок от стрингеров к массивным деформируемым телам [9,12], когда при заданной нагрузке на стрингер требуется определить касательные напряжения

$$\tau_{yz} \Big|_{y=0} = \tau_-(x) \quad (-a < x < a) \quad \text{под стрингером и осевые напряжения в его сечениях, здесь принята другая постановка. А именно, считается, что предварительно задан режим упругих перемещений точек стрингера в направлении оси } Oz \quad u_z^{(0)}(x, 0) = f(x) \quad (-a \leq x \leq a), \text{ где } f(x) \text{ – заданная на отрезке } [-a, a] \text{ непрерывная со своим производным до второго порядка включительно функция, т.е. } f(x) \in C_2[-a, a]. \text{ Требуется определить касательные контактные напряжения } \tau_{yz} \Big|_{y=0} = \tau_-(x) \quad (-a < x < a), \text{ касательные силы } \tau_+(x) \text{ на верхней грани стрингера } y = h, \text{ а также сосредоточенные силы } T_{\pm} \text{ на его кромках } x = \pm a \text{ и осевые напряжения в сечениях стрингера, обеспечивающие заданный режим упругих перемещений.}$$

Приступая к выводу ИУ поставленной задачи, обозначим через  $u_z(x, y)$  единственную отличную от нуля компоненту упругих перемещений точек упругого слоя  $\Omega$  в направлении оси  $Oz$ , которая в базовой полосе  $\omega_0 = \{-\infty < x < \infty; -H \leq y \leq 0\}$  плоскости  $Oxy$  является гармонической функцией. Для этой функции в области  $\omega_0$  рассмотрим следующую вспомогательную граничную задачу:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial y^2} = 0 & (-\infty < x < \infty, -H < y < 0) \\ \tau_{yz} \Big|_{y=0} = G \frac{\partial u_z}{\partial y} \Big|_{y=0} = T(x) & u_z(x, y) \Big|_{y=-H+0} = 0 \quad (-\infty < x < \infty) \end{cases} \quad (1)$$

где  $\tau_{yz}$  – компонента касательных напряжений, а  $T(x)$  – заданная функция. Решение граничной задачи (1) построим методом интегрального преобразования Фурье, вводя в рассмотрение трансформанты Фурье

$$\{\bar{u}_z(\lambda, y); \bar{T}(\lambda)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{u_z(x, y); T(x)\} e^{i\lambda x} dx,$$

где  $\lambda$  – спектральный параметр Фурье. В трансформантах Фурье двумерная граничная задача (1) перейдет в следующую одномерную граничную задачу:

$$\begin{cases} \frac{d^2 \bar{u}_z}{dy^2} - \lambda^2 \bar{u}_z = 0 & (-H < y < 0) \\ G \frac{d\bar{u}_z}{dy} \Big|_{y=0} = T(\lambda); \quad \bar{u}_z(\lambda, y) \Big|_{y=-H+0} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Решение граничной задачи (2) представляется формулой

$$\bar{u}_z(\lambda, y) = \frac{T(\lambda)}{\lambda G \operatorname{ch}(\lambda H)} \operatorname{sh}(\lambda(y+H)) \quad (-H \leq y \leq 0).$$

По формуле обратного преобразования Фурье

$$\begin{aligned} u_z(x, y) &= \frac{1}{2\pi G} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\operatorname{sh}(\lambda(y+H))}{\lambda \operatorname{ch}(\lambda H)} \bar{T}(\lambda) e^{-i\lambda x} d\lambda = \frac{1}{2\pi G} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\operatorname{sh}(\lambda(y+H))}{\lambda \operatorname{ch}(\lambda H)} e^{-i\lambda x} d\lambda \int_{-\infty}^{\infty} T(s) e^{i\lambda s} ds = \\ &= \frac{1}{\pi G} \int_{-\infty}^{\infty} K(|x-s|, y) T(s) ds \quad (-\infty < x < \infty; \quad -H \leq y \leq 0) \\ K(|x|, y) &= \int_0^{\infty} \frac{\operatorname{sh}(\lambda(y+H))}{\lambda \operatorname{ch}(\lambda H)} \cos(\lambda x) d\lambda. \end{aligned}$$

Отсюда, в частности, полагая  $y=0$ ;  $T(x) = \begin{cases} \tau_-(x) & (-a \leq x \leq a) \\ 0 & (x > a) \end{cases}$ , по-

лучим

$$u_z(x, -0) = \frac{1}{\pi G} \int_{-\infty}^{\infty} K(|x-s|, 0) T(s) ds = \frac{1}{\pi G} \int_{-a}^a \tau_-(s) ds \int_0^{\infty} \frac{\operatorname{th}(\lambda H)}{\lambda} \cos(\lambda(x-s)) d\lambda.$$

Следовательно,

$$u_z(x, -0) = \frac{1}{\pi G} \int_{-a}^a \operatorname{lncth} \left| \frac{\pi(x-s)}{4H} \right| \tau_-(s) ds, \quad (3)$$

где использована известная формула для косинус-интеграла Фурье из [13] (с. 530, ф-ла 4.116.2).

При помощи (3) реализуем граничное условие поставленной задачи  $u_z(x, -0) = u_z^{(0)}(x, 0) = f(x) \quad (-a \leq x \leq a)$ . В результате придем к опреде-

ляющему ИУ Фредгольма первого рода с симметрическим разностным ядром

$$\frac{1}{\pi G} \int_{-a}^a \ln cth \left| \frac{\pi(x-s)}{4H} \right| \tau_-(s) ds = f(x), \quad (4)$$

откуда определяются касательные контактные напряжения  $\tau_-(x)$  ( $-a < x < a$ ).

Обратимся далее к рассмотрению деформации стрингера. В рамках модели Мелана [12] дифференциальное уравнение его деформирования имеет вид [14]

$$G_0 h \frac{d^2 u_z^{(0)}}{dx^2} = \tau_+(x) - \tau_-(x) \quad (-a < x < a). \quad (5)$$

После того как решено ИУ (4) и, следовательно, определена функция  $\tau_-(x)$ , из (5) находим

$$\tau_+(x) = \tau_-(x) + G_0 h f''(x) \quad (-a < x < a). \quad (6)$$

Определим также силовые факторы  $T_{\pm}$ . Предполагая, что касательные напряжения  $\tau_{xz}$  в сечении  $x$  по высоте стрингера равномерно распределены, имеем  $S(x) = \tau_{xz} h$ , где  $S(x)$  – результирующее касательное усилие в сечении  $x$ . Так как  $\tau_{xz} = G_0 \frac{du_z^{(0)}}{dx}$  и, следовательно,  $S(x) = G_0 h \frac{du_z^{(0)}}{dx}$ , то согласно (5)  $S(x)$  определяется из граничной задачи

$$\frac{dS}{dx} = \tau_+(x) - \tau_-(x) \quad S(\pm a) = T_{\pm}, \quad (7)$$

причем  $S(x)$  однозначно определяется из (7) только одним граничным условием, а другое граничное условие дает условие равновесия стрингера. Действительно, из (7)

$$S(x) = \int_{-a}^x [\tau_+(s) - \tau_-(s)] ds + T_- \quad (-a \leq x \leq a). \quad (8)$$

Отсюда  $S(a) = T_+ = \int_{-a}^a [\tau_+(s) - \tau_-(s)] ds + T_-$ , и, следовательно, условие равновесия стрингера имеет вид

$$\int_{-a}^a \tau_-(s) ds = Q_-; \quad Q_- = T_- - T_+ + Q_+; \quad Q_+ = \int_{-a}^a \tau_+(s) ds. \quad (9)$$

Очевидно, что вместо (8) можем записать

$$S(x) = \frac{1}{2} \left\{ \int_{-a}^a \operatorname{sgn}(x-s) [\tau_+(s) - \tau_-(s)] ds + T_+ + T_- \right\} \quad (-a \leq x \leq a).$$

Так как  $S(x) = G_0 h \frac{du_z^{(0)}}{dx}$ , то сразу находим

$$T_{\pm} = G_0 h f'(\pm a). \quad (10)$$

Таким образом, после решения определяющего ИУ (4) действующие на стрингер силы будут определяться по формулам (6) и (10).

Далее в (4) и (9) введем безразмерные величины, полагая

$$\xi = x/a; \quad \eta = s/a; \quad \alpha = \pi a/H; \quad \tau(\xi) = \tau(a\xi)/G; \quad g(\xi) = f(a\xi)/a; \quad Q = Q_-/aG.$$

В результате ИУ (4) перейдет в следующее ИУ:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\alpha}^{\alpha} \ln \left| \operatorname{cth} \left( \frac{\xi - \eta}{4} \right) \right| \tau(\eta) d\eta = g(\xi) \quad (-\alpha < \xi < \alpha), \quad (11)$$

а условие (9) – в следующее условие:

$$\int_{-\alpha}^{\alpha} \tau(\eta) d\eta = Q. \quad (12)$$

**Решение определяющего ИУ(11)-(12)** в квадратурах ранее было получено М. Г. Крейнм [15, 16] методом, основанным на идеях обратных задач спектральной теории дифференциальных операторов и порождённых ими формулах обобщенного преобразования Фурье. Наряду с этим в приложениях для использования часто проще решение в виде быстро сходящегося ряда. С этой целью здесь решение ИУ (11)-(12) представляется в форме бесконечного ряда по многочленам Чебышева первого рода с видоизменённым аргументом.

Предварительно преобразуем ядро ИУ (11)

$$\ln \left| \operatorname{cth} \left( \frac{\xi - \eta}{4} \right) \right| = \ln \left| \frac{\operatorname{ch} \left( \frac{\xi - \eta}{4} \right)}{\operatorname{sh} \left( \frac{\xi - \eta}{4} \right)} \right| = \ln \left| \frac{e^{\frac{\xi - \eta}{4}} + e^{-\frac{\xi - \eta}{4}}}{e^{\frac{\xi - \eta}{4}} - e^{-\frac{\xi - \eta}{4}}} \right| = \ln \left| \frac{e^{-\frac{\xi + \eta}{4}} \left( e^{\frac{\xi}{4}} + e^{\frac{\eta}{4}} \right)}{e^{-\frac{\xi + \eta}{4}} \left( e^{\frac{\xi}{4}} - e^{\frac{\eta}{4}} \right)} \right| = \ln \left| \frac{e^{\frac{\xi}{4}} + e^{\frac{\eta}{4}}}{e^{\frac{\xi}{4}} - e^{\frac{\eta}{4}}} \right|.$$

В результате ИУ преобразуется к виду

$$\frac{1}{\pi} \int_{-\alpha}^{\alpha} \ln \left| \frac{e^{\frac{\xi}{4}} + e^{\frac{\eta}{4}}}{e^{\frac{\xi}{4}} - e^{\frac{\eta}{4}}} \right| \tau(\eta) d\eta = g(\xi).$$

Далее положим

$$t = e^{\xi/2}; \quad u = e^{\eta/2}; \quad c = e^{\alpha/2}; \quad \tau_0(u) = \frac{2}{u} \tau(2\ln u); \quad g_0(t) = g(2\ln t); \quad Q = Q_0.$$

Тогда исходное ИУ (11) примет вид

$$\frac{1}{\pi} \int_{c^{-1}}^c \ln \frac{t+u}{|t-u|} \tau_0(u) du = g_0(t) \quad (c^{-1} < t < c), \quad (13)$$

а условие (12) – вид

$$\int_{c^{-1}}^c \tau_0(u) du = Q_0. \quad (14)$$

Для решения ИУ (13)-(14) воспользуемся спектральными соотношениями [11]

$$\begin{aligned} \frac{1}{\pi} \int_b^a \ln \frac{t+u}{|t-u|} \frac{T_n(Y) du}{\sqrt{(a^2-u^2)(u^2-b^2)}} &= \lambda_n T_n(X) \quad (n=0,1,2,\dots) \\ X = \cos \theta, \quad \theta &= \frac{\pi}{K'} \int_1^{t/b} \frac{ds}{\sqrt{(s^2-1)(1-s^2k^2)}}; \quad Y = \cos \varphi, \quad \varphi = \frac{\pi}{K'} \int_1^{u/b} \frac{ds}{\sqrt{(s^2-1)(1-s^2k^2)}}; \\ \lambda_n &= (\pi a n)^{-1} K' \left( \pi n K / K' \right) \quad (n=1,2,\dots); \quad \lambda_0 = K/a; \quad k = \frac{b}{a}. \end{aligned} \quad (15)$$

Здесь  $T_n(X)$  – многочлен Чебышева первого рода,  $K = K(k)$  – полный эллиптический интеграл первого рода модуля  $k$ , а  $K' = K(k')$ , где  $k' = \sqrt{1-k^2}$ . Отметим, что  $\theta$  и  $\varphi$  можно выразить через неполный эллиптический интеграл первого рода. Действительно, так как заменой переменных  $t = at_1$ ,  $u = au_1$  интервал  $(b, a)$  преобразуется в интервал  $(k, 1)$ , то во всех формулах (15) можем считать  $b = k$ ,  $a = 1$ . Тогда, например, в выражении  $\theta$ , где  $b = k$ , перейдем к новой переменной  $\tau = 1/t$ . Будем иметь

$$\theta = \frac{\pi}{K'} \int_{1/k}^1 \frac{d\tau}{\sqrt{(1-\tau^2)(\tau^2-k^2)}}.$$

Далее воспользуемся выражением этого интеграла из ([13], с. 260, ф-ла 10). В итоге

$$\theta = \frac{\pi}{K'} F \left( \arcsin \left( \frac{\sqrt{t^2 - k^2}}{tk'} \right), k' \right), \quad (16)$$

где  $F(\alpha, k)$  – неполный эллиптический интеграл первого рода ([13], с. 918, ф-ла 8.111.2). Теперь решение ИУ (13) представим в форме бесконечного ряда

$$\tau_0(t) = \frac{1}{\sqrt{(c^2 - t^2)(t^2 - c^{-2})}} \sum_{n=0}^{\infty} x_n T_n(X) \quad (c^{-1} < t < c) \quad (17)$$

с неизвестными коэффициентами  $x_n$ , причем в соответствии с (13) во всех формулах (15) и (16) положим  $b = c^{-1} = e^{-\alpha/2}$ ;  $a = c = e^{\alpha/2}$ ;  $k = e^{-\alpha}$ ;  $k' = \sqrt{1 - e^{-2\alpha}}$ . Подставляя (17) в первую часть ИУ(13) и в условие (14), а затем меняя порядок интегрирования и суммирования, на основании (15) получим

$$\sum_{n=0}^{\infty} \lambda_n x_n T_n(X) = g_0(t) \quad (c^{-1} < t < c); \quad \sum_{n=0}^{\infty} x_n \int_{c^{-1}}^c \frac{T_n(X) dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)(t^2 - c^{-2})}} = Q_0. \quad (18)$$

Для определения коэффициентов  $x_n$  воспользуемся условиями ортогональности многочленов  $T_n(X)$

$$\int_{c^{-1}}^c T_m(X) T_n(X) \frac{dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)(t^2 - c^{-2})}} = \begin{cases} K'/c & (m = n = 0); \\ K'/2c & (m = n \neq 0); \\ 0 & (m \neq n); \end{cases}$$

которые легко получим из соответствующих условий для обычных многочленов Чебышева. В итоге из (18) находим

$$x_n = 2cG_n/\lambda_n K' \quad (n = 0, 1, 2, \dots); \quad G_n = \int_{c^{-1}}^c \frac{g_0(t) T_n(X) dt}{\sqrt{(c^2 - t^2)(t^2 - c^{-2})}}; \quad x_0 = cQ_0/K'. \quad (19)$$

Рассмотрим частный случай абсолютно жёсткого стрингера, когда только в центре его верхней грани действует направленная по оси  $Oz$  сосредоточенная сила  $T_+$ . Пусть  $\Delta$  – жесткое смещение стрингера по оси  $Oz$ . Тогда  $Q_- = T_+$ ,  $Q = Q_0 = T_+/aG$ ,  $f(x) = \Delta = const$  и, следовательно,  $g_0(t) = \Delta_0$  ( $\Delta_0 = \Delta/a$ ). В этом случае из (19) имеем

$$x_0 = \frac{2c^2 G_0}{KK'}; \quad G_0 = \frac{KQ_0}{2c}; \quad x_0 = \frac{cQ_0}{K'},$$

откуда вытекает, что между безразмерным жестким смещением  $\Delta_0$  и действующей на стрингер безразмерной силой  $Q_0$  существует зависимость

$$\Delta_0 = \frac{K}{2K'} Q_0.$$

В заключение отметим, что спектральные соотношения, полученные их дифференцированием, позволяют построить точные решения ряда задач механики трещин, описываемых гиперсингулярными интегральными уравнениями [17, 18].

<sup>1</sup> Институт механики НАН РА

<sup>2</sup> Национальный университет архитектуры и строительства Армении  
e-mail: smkhitarian39@rambler.ru

**Член-корреспондент НАН РА С. М. Мхитарян,  
А. В. Гаспарян, А. С. Саргсян**

**О точном решении интегрального уравнения одной контактной задачи математической теории упругости**

Рассматривается задача о контактном взаимодействии стрингера конечной длины с упругим слоем, нижняя граница которого жестко закреплена, при антиплоской деформации. Для стрингера принята модель Мелана в случае антиплоской деформации, описываемая простейшим дифференциальным уравнением второго порядка. В отличие от традиционной постановки задач о передаче нагрузок от стрингеров к массивным деформируемым телам принята другая постановка задачи, когда предварительно задаются упругие перемещения точек стрингера, а затем определяются действующие на стрингер силовые факторы, обеспечивающие заданный режим упругих перемещений. В такой постановке решение задачи сведено к решению ИУ Фредгольма первого рода с симметрическим разностным от гиперболического котангенса логарифмическим ядром. Точное решение этого уравнения построено при помощи спектральных соотношений, содержащих многочлены Чебышева первого рода с аргументом в виде неполной эллиптической функции первого рода. Рассмотрен частный случай абсолютно жесткого стрингера и установлена зависимость между жестким перемещением стрингера и действующей на его центре осевой сосредоточенной силой.

**ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ս. Մ. Մխիթարյան,  
Ա. Վ. Գասպարյան, Ա. Ս. Սարգսյան**

**Առաձգականության մաթեմատիկական տեսության մի  
կոնտակտային խնդրի ինտեգրալ հավասարման ճշգրիտ լուծման մասին**

Հակահարթ դեֆորմացիայի պայմաններում դիտարկվում է ստորին նիստը կոշտ ամրակցված տարածական շերտի և վերջավոր երկարության վերադիրի կոնտակտային փոխազդեցության խնդիրը: Վերադիրի համար ընդունված է հակահարթ դեֆորմացիայի ժամանակ Մելանի մոդելը, որը նկարագրվում է երկրորդ կարգի պարզագույն դիֆերենցիալ հավասարումով: Այստեղ, ի տարբերություն վերադիրներից դեֆորմացող հոծ մարմիններին ուժերի փոխանցման խնդիրների ավանդական դրվածքի, ընդունված է խնդրի ուրիշ դրվածք, երբ նախապես տրվում են վերադիրի կետերի առաձգական տեղափոխությունները, իսկ այնուհետև որոշվում են տեղափոխությունների տրված ռեժիմն ապահովող վերադիրի վրա ազդող ուժային գործոնները: Այս-

պիսի դրվածքով խնդրի լուծումը բերվել է արգումենտների տարբերությունից կախված և հիպերբոլական կոտանգենս պարունակող սիմետրիկ լոգարիթմական կորիզով Ֆրեդհոլմի առաջին սեռի ինտեգրալ հավասարման լուծման: Այս հավասարման ճշգրիտ լուծումը կառուցված է առաջին սեռի ոչ լրիվ էլիպտական ֆունկցիան արգումենտ ունեցող, Չեբիշևի առաջին սեռի բազմանդամներ պարունակող սպեկտրալ առնչությունների օգնությամբ: Դիտարկվել է բացարձակ կոշտ վերադիրի մասնավոր դեպքը, և ստացված է առնչություն վերադիրի կոշտ տեղափոխության և վերադիրի կենտրոնում կիրառված առանցքային կենտրոնացված ուժի միջև:

**Corresponding member of NAS RA S. M. Mkhitaryan,  
A. V. Gasparyan, A. S. Sargsyan**

### **On the Precise Solution of Integral Equation of One Contact Problem of the Mathematical Theory of Elasticity**

The paper is devoted to the consideration of the problem on contact interaction between a finite length stringer and an elastic layer with a rigidly fastened lower boundary under anti-plane deformation. For the stringer, Melan's model for anti-plane deformation is accepted, which can be described by simplest second order differential equation. Here, as opposed to the traditional formulation of problems on load transmission from stringers to deformable massive solids, the authors adopted a different formulation of the problem, where elastic displacements of the stringer points are given in advance, whereas force factors acting on the stringer and stipulating the given pattern of elastic displacements are determined afterwards. Under such formulation, solving the problem reduces to Fredholm integral equation of the first kind with a symmetrical logarithmic kernel which depends on the difference of the arguments and contains the hyperbolic cotangent. The precise solution of the equation is constructed with the help of spectral relationships, which contain Chebishev polynomials of the first kind with the argument in form of incomplete elliptic function of the first kind. Private case of an absolutely rigid stringer is investigated and dependence is obtained between the rigid displacement of the stringer and axial concentrated force applied at its center.

### **Литература**

1. Развитие теории контактных задач в СССР. М. Наука. 1976. 493 с.
2. Механика контактных взаимодействий. Под ред. И. И. Воровича, В. М. Александрова. М. Физматлит. 2001. 670 с.
3. *Штаерман И. Я.* Контактная задача теории упругости. М. – Л. Гос-техиздат. 1949. 270 с.
4. *Галин Л. А.* Контактные задачи теории упругости и вязкоупругости. М. Наука. 1980. 394 с.
5. *Ворович И. И., Александров В. М., Бабешко В. А.* Неклассические контактные задачи теории упругости. М. Наука. 1974. 456 с.
6. *Джонсон К.* Механика контактного взаимодействия. М. Мир. 1989. 521с.
7. *Попов Г. Я.* Избранные труды. Одесса. Изд-во «ВМВ». Т. 1. 2007. 440 с.; Т. 2. 2007. 516 с.

8. *Панасюк В. В., Андрейкив А. Е., Партон В. З.* Основы механики разрушения материалов. Механика разрушения и прочность материалов. Справочное пособие в 4-х томах. Киев. Наукова думка. Т. 1. 1988. 488 с.
9. *Александров В. М., Мхитарян С. М.* Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. М. Наука. 1983. 488 с.
10. *Акопян В. Н.* Смешанные граничные задачи о взаимодействии сплошных деформируемых тел с концентраторами напряжений различных типов. Ереван. Гитутюн. 2014. 322 с.
11. *Мхитарян С. М.* – Изв. АН АрмССР. Механика. 1982. Т. 35. № 6. С. 3-18.
12. *Melan E.* Ingr. Arch. 1932. Bd 3. No2. 123-129.
13. *Градштейн И. С., Рыжик И. М.* Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М. Наука. 1971. 1108 с.
14. *Мхитарян С.М.* В сб.: Механика деформируемого твердого тела. Ереван. Изд-во НАН Армении. 1993. С. 129-143.
15. *Крейн М. Г.* – ДАН АН СССР. 1995. Т. 100. С. 413-416.
16. *Гохберг И. Ц., Крейн М. Г.* Теория вольтерровых операторов в гильбертовом пространстве и ее приложения. М. Наука. 1967. 508 с.
17. *Mkhitarayan S. M., Mkrtychyan M. S., Kanetsyan E. G.* – The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics. 2020. V. 73. № 1. P. 51-75.
18. *Мхитарян С.М.* – Изв. вузов. Северокавказский регион. Серия: Естественные науки. 2020. № 2. С. 72-83.



взаимодействия на молекулярном уровне с вышеупомянутыми белками-мишенями не до конца изучены.

Для выявления особенностей взаимодействия пуфемиды, пиратидина и соединения №3212 с ключевыми белками-мишенями, вовлеченными в процесс патогенеза эпилепсии, были проведены серии *in silico* исследований с использованием методов молекулярного моделирования и компьютерного анализа.

**Материал и методы.** Молекулярные модели исследуемых соединений были получены с использованием программного пакета Chem Office [9]. Энергетическая минимизация трехмерных моделей проводилась с использованием силового поля MM2, которое используется для оптимизации моделей малых молекул [10]. Стандартизация молекулярных моделей осуществлялась путем получения CanonicalSMILES и форматов \*.mol2 и \*.pdb.

Молекулярные модели исследуемых мишеней были взяты из базы данных RCSB [11] с идентификационными номерами SERT транспортер (PDBID:5I6X), GABA<sub>A</sub> receptor (PDBID:4COF), 5-HT<sub>1A</sub> receptor (PDBID:3NYA). Были использованы программные пакеты AutoDock Vina и AutoDock Tools [12]. Достоверность результатов докинга обеспечивалась 5-кратной повторяемостью 20 начальных конформаций с объемом виртуального бокса, не превышающим 27.000 Å<sup>3</sup> с континуумом в 200 вычислений. Выбор лучших конформеров осуществлялся на основе значений среднеквадратических отклонений при комплексообразовании RMSD ≤ 2Å.

Для определения константы связывания исследуемых комплексов были использованы следующие уравнения:

$$\Delta G_{\text{exp}} = -RT \ln\left(\frac{1}{K}\right); \quad K = \exp\left(\frac{-\Delta G_{\text{average}}}{RT}\right) \quad (1)$$

где  $\Delta G_{\text{average}}$  – энергия взаимодействия, R – газовая постоянная, T – абсолютная температура, K – константа связывания.

Конформационный анализ результатов комплексообразования и визуализация трехмерных пространственных параметров проводились с использованием Discovery Studio Visualizer [13]. Расчетные критерии радиуса взаимодействия рассчитывались по стандарту: длина водородных связей 3.60Å, кулоновские взаимодействия – 9.00 Å, ван-дер-ваальсовы взаимодействия – 14.00 Å, гидрофобные взаимодействия – 6.00Å.

Карта комплексообразования лиганд-мишень была получена на основе теории графов с использованием матриц смежности [14].

Статистический анализ результатов исследования проводился на основе применения стандартных статистических методов, включающих вычисления стандартных отклонений, средних значений, стандартных средних ошибок.

**Результаты и обсуждение.** Полученные результаты молекулярного докинга свидетельствуют о том, что все исследуемые соединения, кроме №3212-1, взаимодействуют с 5HT<sub>1A</sub>, при этом места связывания лигандов отличаются (рис.1).

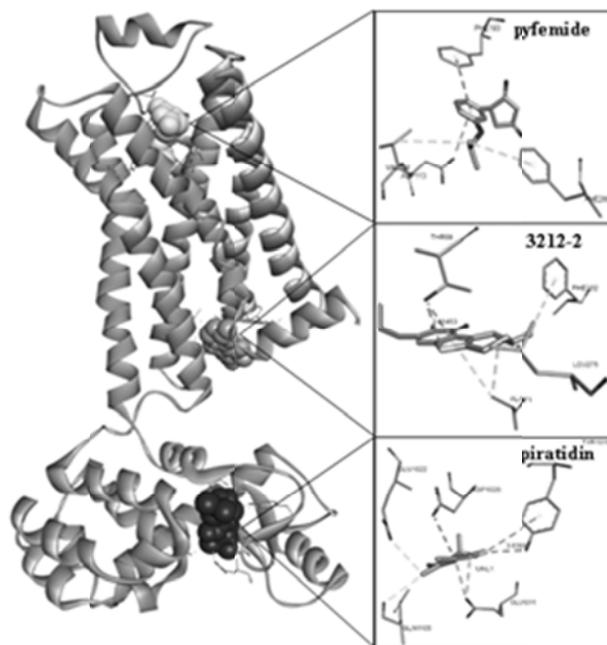


Рис. 1. Визуализация пространственной локализации пуфемиды, 3212-2 и пиратидина при комплексообразовании с 5HT<sub>1A</sub>.

Пуфемид связывается в лиганд-связывающем кармане, образованном межспиральными внеклеточными петлями, формирующими EC2 (внеклеточный луп) [15] с ключевыми аминокислотными остатками Asp113, Val114, Phe193, Phe289. Конформационный анализ результатов комплексообразования свидетельствует о том, что наблюдается исключительно гидрофобный тип связывания. Вовлечение вышеуказанных аминокислотных остатков, тип связывания и результаты пространственной ориентации в лиганд-связывающем кармане характерны для активаторов 5HT<sub>1A</sub> [16].

Представляет интерес местоположение №3212-2 при связывании с 5HT<sub>1A</sub>. Установлено, что комплексообразование осуществляется в аллостерическом сайте связывающего G-белок кармана, образованного петлями TM3 и TM6 ICL3 (внутриклеточный луп) [17]. Взаимодействие осуществляется за счет гидрофобных сил водородной связи с дистанцией 3.6 Å между серой пентозного кольца №3212-2 и Thr68. Наблюдается также π-стекинг, что является показателем для лигандов-активаторов при взаимодействии с данным сайтом связывания [18]. В комплексообразовании вовлечены аминокислотные остатки Thr68; Ala271; Leu275 и Phe332.

Исследованием комплекса пиратидин – 5HT<sub>1A</sub> выявлено, что взаи-

модействие осуществляется с аминокислотными остатками Glu1011; Tyr1018; Asp1020; Glu1022; Gln1105, образующими карман T4L домена [19]. Необходимо отметить, что взаимодействие носит смешанный характер. Присутствие двух сульфидных мостиков с аминокислотными остатками Glu1011 и Asp1020 и наблюдаемая водородная связь с дистанцией 3.6 Å с Tyr1018 присущи нейротропным агентам [20].

Взаимодействие с GABA<sub>A</sub> наблюдается только у пуфемиды с бензамидиновым сайтом субсайта 1 интерфейса ECD (внеклеточный домен). Этот участок образован из аминокислотных остатков, включенных в цепи В и С [21] (рис.2).

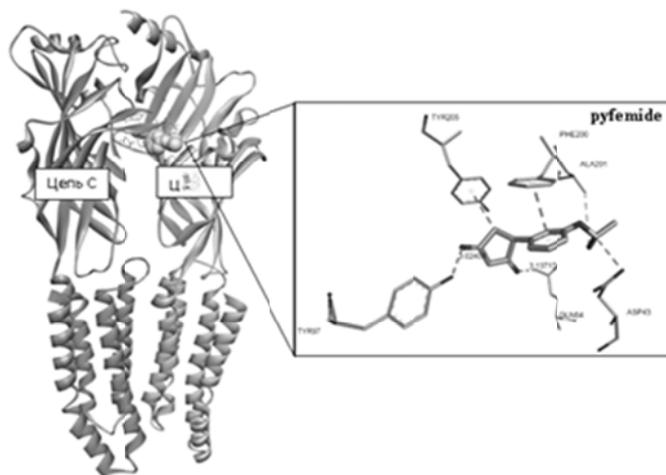


Рис. 2. Визуализация пространственной локализации пуфемиды при комплексообразовании с GABA<sub>A</sub>.

Взаимодействие пуфемиды происходит за счет как гидрофобных, так и водородных связей. Наблюдаются две водородные связи с Gln64 и Tyr97 с дистанциями 3.1 и 3.0 Å, соответственно. Гидрофобные взаимодействия наблюдаются с аминокислотными остатками Phe200; Ala201; Tyr205.

Из исследуемых соединений с SERT транспортером взаимодействуют два соединения – пуфемид и № 3212-1 (рис. 3, А), которые связываются в центральном сайте активного центра мишени [22]. При этом типы взаимодействия отличаются.

При взаимодействии 3212-1 наблюдаются как гидрофобные, так и электростатические типы связей. Интересно, что водородных связей при построении конформационных карт не обнаружено. Наблюдается также образование сульфидного мостика с Phe341, который является одним из ключевых аминокислотных остатков активного центра SERT. В процесс комплексообразования вовлечены аминокислотные остатки Tyr95; Ala169; Ile172; Ala173; Phe341; Ser438; Ser439; Leu443. Нужно отметить, что перечисленные аминокислотные остатки являются ключевыми в образовании активного центра и № 3212-1 практически связывается со всеми

остатками при комплексообразовании. По сравнению с 3212-1 у пуфемиды наблюдается одинарная водородная связь с Asn177 с дистанцией 3.3 Å. Вовлечение аминокислотных остатков у пуфемиды меньше по сравнению с 3212-1. Преобладает гидрофобный тип связывания с остатками Ile172, Ala173, Phe341. Пространственное расположение пуфемиды по отношению к 3212-1 отклонено на 36.2° по оси X от центрального кольца (рис. 3, В).

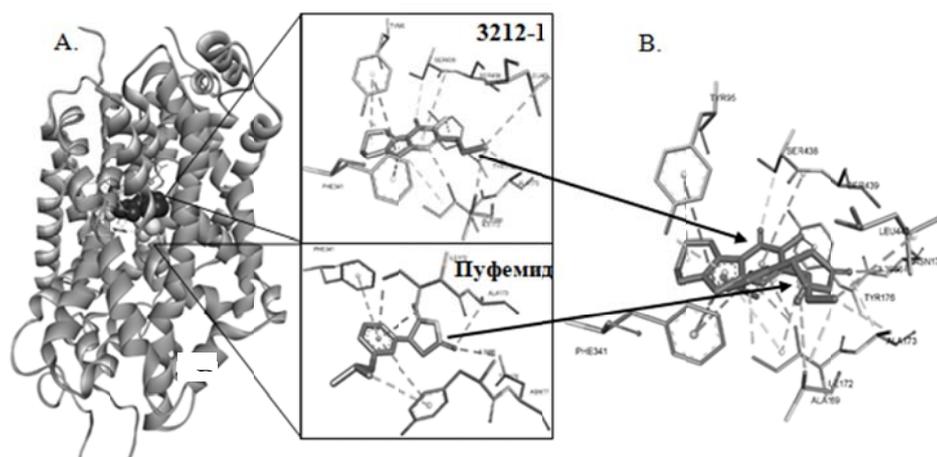


Рис. 3. Визуализация взаимодействия 3212-1, пуфемиды при комплексообразовании с SERT транспортером: А – пространственная локализация в активном центре; В – суперпозиционирование пространственной ориентации 3212-1 и пуфемиды в активном центре SERT транспортера.

На основе полученных результатов молекулярного докинга были рассчитаны энергии и константы связывания взаимодействия (табл. 1). Построена также карта комплексообразования лиганд-мишень для исследуемых комплексов (рис. 4).

**Таблица 1**  
**Биофизические показатели комплексообразования исследуемых лигандов с мишенями**

Лиганд \ Мишень	5HT_A1		GABA-A		SERT	
	энергия, ккал/моль	константа связывания	энергия, ккал/моль	константа связывания	энергия, ккал/моль	константа связывания
3212-1	-	-	-	-	-7.5±0.37	2.63 x 10 <sup>5</sup>
3212-2	-6.6±0.33	5.88 x 10 <sup>4</sup>	-	-	-	-
Piratidin	-6.9±0.34	9.68 x 10 <sup>4</sup>	-	-	-	-
Pufemide	-7.4±0.37	2.22 x 10 <sup>5</sup>	-7.7±0.38	3.66 x 10 <sup>5</sup>	-7.4±0.37	2.22 x 10 <sup>5</sup>

Таким образом, можно констатировать, что с 5HT<sub>1A</sub> взаимодействуют 3212-2, пиратидин и пуфемид. У пиратидина и № 3212-2 наблюдается избирательный характер взаимодействия по отношению к 5HT<sub>1A</sub>, при этом в случае пиратидина отмечается высокое значение константы связывания.

Взаимодействие с GABA<sub>A</sub> наблюдается у пуфемиды, при этом значение константы связывания с данной мишенью является наивысшим по сравнению с другими мишенями. С SERT транспортером взаимодействует только 3212-1 с константой связывания  $2.63 \times 10^5$ . По сути №3212-1 также проявляет селективный тип действия, так как с другими исследуемыми мишенями взаимодействия не наблюдается.

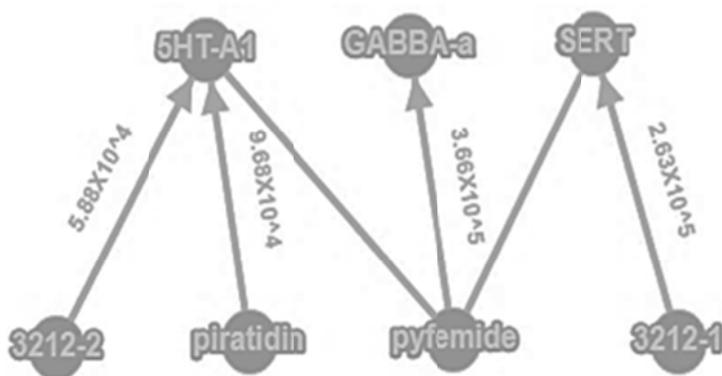


Рис. 4. Карта комплексообразования лиганд-мишень для исследуемых соединений.

**Выводы.** Пуфемид может привести к ингибированию GABA<sub>A</sub>, связываясь при этом также с исследуемыми мишенями, вовлеченными в моноаминогенный путь патогенеза эпилепсии. С другой стороны, соединения пиратидин, № 3212-2 и №3212-1 проявляют активность при взаимодействии с 5HT<sub>1A</sub> и с SERT транспортером, которые регулируют моноаминогенный путь в патогенезе. С этой точки зрения выявленная нейротропная активность исследуемых соединений указывает на некоторое совпадение результатов *in silico* исследований с ранее полученными данными *in vitro* и *in vivo*.

This work was made possible in part by a research grant from the Yervand Terzian Armenian National Science and Education Fund (ANSEF) based in New York, USA.

Институт тонкой органической химии НТЦОФХ НАН РА  
e-mail: paronikyan.ruzanna@mail.ru

Լ. Ս. Սանյան, Ր. Գ. Սարոնյան, Վ. Ս. Կամարյան, Ե. Գ. Սարոնյան

### Молекулярное моделирование некоторых новых нейротропных азотсодержащих препаратов гетероциклического ряда

Проведено молекулярное моделирование новых нейротропных азотсодержащих препаратов гетероциклического ряда – пуфемид, пиратидин и соединения №3212 (3212-1 и 3212-2). Молекулярный докинг был проведен с применением различных мишеней, вовлеченных в процесс патогенеза эпилепсии - GABA<sub>A</sub>, 5HT<sub>1A</sub> и SERT транспортер. Можно констатировать, что с 5HT<sub>1A</sub> взаимодействуют 3212-2, пиратидин и пуфемид. У пиратидина и 3212-2 наблюдается избирательный характер взаимодействия по отношению к 5HT<sub>1A</sub>. Взаимодействие с GABA<sub>A</sub> наблюдается у пуфемид, при этом значение константы связывания с данной мишенью наивысшее по сравнению с другими мишенями. С SERT взаимодействует только 3212-1. Фактически докинг и конформационный анализ комплексообразования с 5HT<sub>1A</sub>, GABA<sub>A</sub> и SERT транспортером показали, что из всех препаратов высокое сродство наблюдается у пуфемид при взаимодействии с GABA<sub>A</sub>, а остальные препараты оказывают более избирательный аффинитет. Выявлено, что действие пуфемид в первую очередь обусловлено взаимодействием через GABA<sub>A</sub>, а два других препарата скорее всего действуют путем угнетения 5HT<sub>1A</sub> и SERT транспортера, что указывает на некоторое совпадение *in silico* исследований с результатами *in vitro* и *in vivo* экспериментов. –

Լ. Ս. Սանյան, Ր. Գ. Սարոնյան, Վ. Ս. Կամարյան,  
Ե. Գ. Սարոնյան

### Որոշ նոր ներոտրոպ ազոտ պարունակող հետերոցիկլիկ դեղամիջոցների մոլեկուլային մոդելավորումը

Իրականացվել է նոր ներոտրոպ դեղամիջոցների՝ պուֆեմիդի, պիրատիդինի և №3212 (3212-1 և 3212-2) միացության մոլեկուլային մոդելավորում: Մոլեկուլային մոդելավորումն իրականացվել է տարբեր թիրախների՝ GABA<sub>A</sub>, 5HT<sub>1A</sub> և SERT փոխադրիչի միջոցով, որոնք ներառված են էպիլեպսիայի պաթոգենեզում: Պետք է փաստել, որ պիրատիդինը, պուֆեմիդը և №3212-2-ը փոխազդում են 5HT<sub>1A</sub>-ի հետ: Պիրատիդինը և 3212-2-ը ցուցադրում են ընտրողական փոխազդեցություն 5HT<sub>1A</sub>-ի հետ: GABA<sub>A</sub>-ի հետ փոխազդեցություն նկատվում է պուֆեմիդի դեպքում, և այդ թիրախի համար նրա կապման հաստատունի արժեքը ամենաբարձրն է՝ համեմատած այլ թիրախների հետ: Միայն №3212-1-ն է համազործակցում SERT փոխադրիչի հետ: Փաստորեն 5HT<sub>1A</sub>, GABA<sub>A</sub> և SERT-ի հետ դոկինգի և կոնֆորմացիոնալ անալիզի արդյունքները ցույց տվեց, որ բոլոր պրեպարատներից ամենաբարձր խնամակցություն GABA<sub>A</sub>-ի հետ դիտվում է պուֆեմիդի մոտ, իսկ մնացած դեղերն ավելի ընտրողական խնամակցություն ունեն տարբեր ընկալիչների նկատմամբ: Ամփոփելով՝ կարելի է նշել, որ պուֆեմիդի ազդեցությունն առաջին հերթին պայմանավորված է GABA<sub>A</sub>-ով, իսկ մյուս երկու պրեպարատները գործում են 5HT<sub>1A</sub> և SERT փոխադրիչի ընկճման ճանապարհով, որը ցույց է տալիս *in silico* հետազոտությունների արդյունքների որոշակի համընկնում *in vivo* և *in vitro* էքսպերիմենտների հետ:

L. S. Hunanyan, R. G. Paronikyan, V. S. Ghamaryan,  
E. G. Paronikyan

### Molecular Modeling of Some New Neurotropic Nitrogen-Containing Drugs of the Heterocyclic Series

Molecular modeling of new neurotropic nitrogen-containing drugs of the heterocyclic series pufemid, pyratidine and compound No. 3212 (3212-1 and 3212-2) was carried out. Molecular docking was performed using various targets involved in the pathogenesis of epilepsy - GABA<sub>A</sub>, 5HT<sub>1A</sub>, and SERT transporter. It can be stated that 3212-2, pyratidine and pufemid interact with 5HT<sub>1A</sub>. Piratidine and 3212-2 exhibit a selective interaction with respect to 5HT<sub>1A</sub>. Interaction with GABA<sub>A</sub> is observed in pufemid, while the value of the constant of binding to this target is the highest in comparison with other targets. Only 3212-1 interacts with SERT. In fact, docking and conformational analysis of complexation with 5HT<sub>1A</sub>, GABA<sub>A</sub>, and SERT transporter showed that of all drugs, pufemid has a high affinity when interacting with GABA<sub>A</sub>, while the rest of the drugs have a more selective affinity. Summarizing the above, we can state that the action of pufemid is primarily due to the interaction through GABA<sub>A</sub>, while the other two most likely act by inhibiting the 5HT<sub>1A</sub> and SERT transporter, which indicates some coincidence of *in silico* studies with the results of *in vitro* and *in vivo* experiments.

### Литература

1. Авакян Г. Н. – Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2014. № 4. С. 46-49.
2. Treiman D. M. – Epilepsia. 2001. V. 42. P. 8-12.
3. Svob Strac D., Pivac N., Smolders I. J. et al. – Frontiers in neuroscience. 2016. № 10. P. 492.
4. Мнджоян О. Л., Аветисян С. А., Акопян Н. Е. и др. – Хим. фарм. журнал. 1983. № 6. С. 757-761.
5. Джагацянцян И. А., Пароникян Р. Г., Назарян И. М. и др. – Мед. наука Армении. 1998. Т. 38. № 1-2. С. 37-43.
6. Պարոնիկյան Ռ., Ջաղաճաչանյան Բ., Պարոնիկյան Ե., Նազարյան Բ., Հակոբյան Հ. ՀՀ Մտավոր սեփականության գործակալություն՝ որոշում գյուտի արտոնագիր տալու մասին: Արտոնագիր № 3007 А: 2016թ., Հայաստան:
7. Пароникян Р. Г. – Эпилепсия и пароксизмальные состояния. 2017. Т. 9. № 3. С. 40-46.
8. Paronikyan R.G., Avagyan M.N., Harutyunyan A.A. et al. – Epilepsy and paroxysmal conditions. 2019. V. 11(3). P. 244-254.
9. Anurag T. K. Baidya, Kalyan Ghosh, Sk. Abdul Amin et al. – New J. Chem. 2020. V. 44. P. 4129-4143.
10. Rackers J. A., Wang Z., Lu C et al. – Journal of chemical theory and computation. 2018. V. 14(10). P. 5273-5289.
11. Casewit C. J., Colwell K. S., Rappe A. K. – Journal of the American chemical society. 1992. V. 114(25). P. 10035-10046.
12. Rose P. W., Bi C., Bluhm W. F. et al. – Nucleic acids research. 2012. V. 41(D1). P. D475-D482.

13. *Trott O., Olson A. J.* – Journal of computational chemistry. 2010. V. 31(2). P. 455-461.
14. Biovia DS. 2017. Discovery studio modeling environment.
15. *Bollobás B.* Modern graph theory (V. 184). Springer Science & Business Media. 2013.
16. *Ostrowska K., Grzeszczuk D., Gluch-Lutwin et al.* MedChemComm. 2017. V. 8(8) P. 1690-1696.
17. *Yuan S., Peng Q., Palczewski K. et al.* – Angewandte Chemie International Edition. 2016. V. 55(30). P. 8661-8665.
18. *Chan H. S., Li Y., Dahoun T. et al.* –Trends in biochemical sciences. 2019. V. 44(4). P. 312-330.
19. *Xu L., Zhou S., Yu K. et al.* – Journal of chemical information and modeling. 2013. V. 53(12). P. 3202-3211.
20. *Thorsen T. S., Matt. R., Weis W. I. et al.* – Structure. 2014. V. 22(11). P. 1657-1664.
21. *Bang I., Choi H. J.* – Molecules and cells. 2015. V. 38(2). P. 105.
22. *Puthenkalam R., Hieckel M., Simeone X. et al.* – Frontiers in molecular neuroscience. 2016. V. 9. P. 44.
23. *Andersen J., Taboureau O., Hansen K. et al.* – Journal of Biological Chemistry. 2009. V. 284(15). P. 10276-10284.



թյունների փոխանցողների ներբերմանը և տարածմանը այն երկրներում, որոնք նախկինում այդ վտանգին չեն ենթարկվել:

Կլիմայի գլոբալ տաքացումը կարող է զգալիորեն փոխել տարափոխիկ հիվանդություններ փոխանցողների սեզոնային տեղաշարժերը և ընդլայնել դրանց տարածագոտին՝ հանգեցնելով այդ հիվանդությունների հիվանդացության աճին և դրանց ի հայտ գալուն այն տարածքներում, որտեղ նախկինում չեն արձանագրվել [4 – 6]: Այս կանխատեսումը զուգորդվում է Ae. aegypti- ն մեկ գոնոտրոֆիկ ցիկլի ընթացքում բազմակի ողնաշարավոր տերերի վրա սնման (պոլիֆագիա) միտման հետ [7], ինչը մեծացնում է հիվանդության փոխանցման ռիսկը նոր տարածքներում: Վիրուսակիրների շարժը կարող է հանգեցնել մի շարք արբավիրուսային հիվանդությունների բռնկումների ոչ համաճարակային տարածքներում: Ենթադրվում է, որ տարեկան 22.5 միլիոն ուղևոր մեկնում է Եվրոպա, և նրանցից 185 000-ը կարող են վարակվել միայն չիկունգունիայով [8]:

Հայաստանի Հանրապետությունում բնակլիմայական պայմանները նպաստավոր են տարափոխիկ հիվանդություններ փոխանցող հողվածոտանիների կենսագործունեության համար: Պատմականորեն հանրապետությունում տարածված են եղել փոխանցողներով պայմանավորված մի շարք հիվանդություններ, մասնավորապես մալարիան:

2006 թ. հանրապետությունում էլիմինացվել (վերացվել) է տեղական մալարիան [9,10]: Սակայն փոխանցողները տարածված են ՀՀ ամբողջ տարածքում՝ կիսաանապատային, լեռնատափաստանային, մերձալպյան, մասամբ ալպյան գոտիներում, ապրիլ-նոյեմբեր ամիսներին:

Ամբողջ աշխարհում կենդանական ծագման հիվանդությունները, որոնք կարող են փոխանցվել մարդկանց, հանրային առողջության համար մեծ վտանգ են ներկայացնում (մարդու վարակիչ 10 հիվանդությունից 6-ը տարածվում են կենդանիներից): Շատ դեպքերում նույն էկոհամակարգում բնակվող միևնույն միկրոօրգանիզմներով է պայմանավորված վարակի տարածումը և՛ մարդկանց, և՛ կենդանիների շրջանում: Այս ռիսկերն աճում են գլոբալացման, կլիմայի փոփոխության և մարդու վարքագծի փոփոխությունների հետ՝ ախտածիններին բազմաթիվ հնարավորություններ տալով նոր տարածքներում տարածվելու և նոր ձևերի փոխարկվելու: Մեկ ոլորտում իրականացվող կանխարգելիչ միջոցառումները չեն կարող արդյունավետ լինել:

«Մեկ առողջություն» մոտեցումը վերջին տարիներին ավելի ու ավելի է կարևորում, քանի որ մարդկանց, կենդանիների և մեր շրջակա միջավայրի փոխկապվածությունը փոփոխվում է մի շարք գործոններից:

Այս փոփոխությունները բերում են մի շարք հիվանդությունների տարածման նոր վայրերում կամ արդեն հաղթահարված հիվանդությունների կրկին տարածման: Մասնավորապես հանրային առողջությանը սպառնալիք ներկայացնող վարակիչ հիվանդությունների տարածմանը նպաստող գործոններն են շրջակա միջավայրի և էկոլոգիական փոփոխությունները (օրինակ՝ չի կարելի անտեսել կլիմայական փոփոխությունների դերը և հիվանդությունների առաջացումը), հոդոգտագործման փոփոխությունները (օրինակ՝ անտառահատումները և ինտենսիվ գյուղատնտեսական գործունեությունը), ինչի հետևանքով կենդանիների հիվանդությունների փոխանցման նոր հնարավորություններ են առաջացել, ժողովրդագրական փոփոխությունները (բնակչության թիվն աճում է, մարդիկ բնակեցնում են նոր աշխարհագրական տարածքներ, որի հետևանքով ավելի մեծ թվով մարդիկ են սերտ շփման մեջ մտնում ընտանի կենդանիների հետ, և հիվանդություններն ունեն փոխանցվելու ավելի մեծ հավանականություն, նաև պատերազմներ, աղետներ, արտագաղթ, միջազգային փոխադրումների ավելացումը (օդային ճանապարհների և չվերթների աճը, ինչի արդյունքում հիվանդություններն ավելի արագ կարող են տարածվել ամբողջ աշխարհում), մարդկային շփումների ավելացումը (առևտրի, բիզնես-ծրագրերի ակտիվացում), արտադրության և տեխնոլոգիաների զարգացումը, մանրէների հարմարեցումը և փոփոխությունները (մուտացիաներ, այդ թվում՝ գենոմի վերափոխումներ), կենդանիների հետ էկոլոգիական փոխազդեցությունը:

**Մեթոդաբանություն:** Հանրապետության տարածքում մալարիայի և այլ տարափոխիկ հիվանդությունների տարածման վտանգի աստիճանը գնահատելու առումով հաշվի ենք առել հետևյալ ցուցանիշները. ա) վարակի աղբյուրի ներխուժման հնարավոր ուղիները և չափերը, բ) կլիմայական պայմանները (ջերմաստիճանը և հարաբերական խոնավությունը), որոնք որոշում են փոխանցողների գործունեությունը, դրա վարակման սեզոնը, սեզոնի տևողությունը, գ) մալարիային և ոչ մալարիային մոծակների համամասնությունը, դ) փոխանցողի առկայության/բացակայության ցուցանիշը, ե) հետազոտված շինություններում մոծակների առատության ցուցանիշը, զ) մոծակների մարդկանց հետ շփման աստիճանի ցուցանիշը:

Կենսաբանական մոդելներում անհրաժեշտ է նաև հաշվի առնել ռիսկի անուղղակի գործոնները՝ հարուցիչների փոխանցման շարժիչները (դրայվերները), ժողովրդագրական, սոցիալ-տնտեսական և մարդաձին ցուցանիշները, որոնք ազդում են բարդ փոխազդեցություններում հարուցիչների փոխանցման գործընթացների վրա:

2013-2019 թթ. Հայաստանում իրականացրել ենք հետազոտական

աշխատանքներ երեք ուղղություններով. 1) ՀՀ-ի ժամանակակից պայմաններում մոծակների տեսակային կազմի ուսումնասիրություն՝ կիրառելով MosKeyTool ժամանակակից գործիքակազմը, ինչպես նաև 2) կլիմայական պայմանների ուսումնասիրությունը և կանխատեսումները համաճարակաբանական նշանակալի կարևորություն ունեցող մոծակների տեսակների վրա, 3) անհայտ ծագման տենդերի ուսումնասիրություն՝ նույնականացնելու, թե որքանով է վերջնական ախտորոշումներում հստակեցվում հիվանդության էթիոլոգիան, այսինքն՝ պարզելու տարափոխիկ հիվանդությունների թերախտորոշման հավանականությունը:

2013-2019 թթ. ապրիլ-նոյեմբեր ամիսների ընթացքում Հայաստանի Հանրապետությունում իրականացվել են շարունակական դիտարկումներ մոծակների պոպուլյացիաների, ինչպես նաև ձվադրման վայրերի նկատմամբ, սեզոնի ընթացքում յուրաքանչյուր տասնօրյակը մեկ հսկողական ջրականգերում և անասնագումերում իրականացվել են միջատաբանական հետազոտություններ, արյունածուծ հողվածոտանիների ֆենոլոգիական դիտումներ, փոխանցողների սեզոնային շարժի դիտարկումներ և քանակության հաշվարկ: Թևավոր մոծակների նմուշները հավաքվել են փորձանոթների, ասպիրատորների, ինչպես նաև միջատաբանական թակարդների միջոցով:

Դիտարկել ենք Նորք ինֆեկցիոն կլինիկական հիվանդանոցում «անհայտ ծագման տենդ» ախտորոշմամբ հոսպիտալացված 600 պացիենտների հիվանդության պատմագրերը՝ կիրառելով հատուկ մշակված հարցաշար:

**Արդյունքներ:** ՀՀ մոծակների ժամանակակից ֆաունայում հայտնաբերվել է 10 նոր տեսակ, որոնք հայտնի չէին մինչև 2016 թ.՝ *Ae. Albopictus*, *Ae. annulipes*, *Ae. cataphylla*, *Ae. cinereus*, *Ae. flavescens*, *Coquillettidia richiardii*, *Cx. martinii*, *Cx. torrentium* and *Culiseta subochrea*, *Ae. punctor* [11]:

*Culex pipiens*-ը հանրապետությունում տարածված է մեր կողմից ուսումնասիրված բոլոր մարզերի տարածքներում: Ակտիվություն է ցուցաբերում մայիս ամսից: Ունի համաճարակաբանական մեծ նշանակություն, արբովիրուսային հիվանդությունների (Արևմտյան Նեդոսի տենդ, ճապոնական էնցեֆալիտ), ինչպես նաև՝ տուլարեմիայի, ֆիլարիոզի, մենինգիտի փոխանցող է:

*Anopheles maculipennis*-ը՝ հանրապետությունում նույնպես մեծ

տարածում ունի, սակայն մեզ ավելի շատ հանդիպել է Արագածոտնի և Արարատի մարզերում (մոտ 92.6%): Մալարիայի, դիբոֆիլարիոզի փոխանցող է:

***Ae. Caspius*-ը հանրապետությունում հիմնականում տարածված էր Արարատի մարզում (85.6%), հանդիպում էր նաև Արագածոտնի և Արմավիրի մարզերում: Տուլարեմիայի, արբովիրուսների փոխանցող է:**

*Cs. longiareolata*-ն տարածված էր Լոռու մարզում (86.6%), սակայն հանդիպում էր նաև Արմավիրի, Սյունիքի, Տավուշի մարզերում: Այս տեսակը բրուցելոզի, թռչնի գրիպի և Արևմտյան Նեդոսի տենդի փոխանցող է:

2019 թ. Տավուշի մարզի Բագրատաշեն համայնքի շրջակայքում կրկին հայտնաբերվել է 2016 թ. Հայաստանում առաջին անգամ հայտնաբերված *Aedes albopictus* ինվազիվ (ներմուծված) տեսակը, որն արբովիրուսային հիվանդություններ (դենգե, չիկունգունյա, դեղին տենդ և այլն) փոխանցելու հատկության պատճառով ունի մեծ հանրային առողջապահական նշանակություն: 2018 թ. օգոստոսին *Aedes albopictus* ինվազիվ տեսակի թրթուրներն ու հարսնյակը հայտնաբերվել են նաև Տավուշի մարզի Այրում քաղաքի շրջակայքում: 2019 թ. սեպտեմբեր և հոկտեմբեր ամիսներին *Aedes albopictus* ինվազիվ տեսակի հասուն ձևերը և թրթուրները հայտնաբերվել են Տավուշի մարզի Իջևան քաղաքում, ինչը ցույց է տալիս նշված տեսակի տարածագոտու զգալի ընդլայնում:

*Անհայտ ծագման տենդով հիվանդների շրջանում հետազոտության արդյունքները:* Հիվանդների գրեթե քառորդ մասը (24%) հակաբիոտիկներ է ընդունել նախքան հոսպիտալացումը: Ցեֆտրիաքսոն (27.8%), քլորամֆենիկոլ (16%) և տրիմեթոպրիմ-սուլֆամետոքսազոլ (13.2%) հակաբիոտիկները գնահատվել են որպես ամենատարածված օգտագործվող հակաբիոտիկներ: Հակաբիոտիկներով բուժում իրականացվել է Նորքի հիվանդանոցում հիվանդների 79.5%-ի մոտ (n=477), ցիպրոֆլոքսացինը (66%) ամենատարածված օգտագործվող հակաբիոտիկն է: Հիվանդանոցում հակաբիոտիկներով բուժվող հիվանդներից 20%-ը և 5%-ը ստացել են համապատասխանաբար երկու և երեք հակաբիոտիկների համադրություն: Ինչ վերաբերում է վերջնական կլինիկական ախտորոշումներին, ամենից հաճախ նշվում էին աղիքային վարակիչ հիվանդությունները (50.8%), շնչառական համակարգի հիվանդությունները (11.2%), վարակիչ մոնոնեյրոզը (9.5%), ջրծաղիկը (8.3%), բրուցելոզը (8.3%), վիրուսային հեպատիտը (3.2%) և այլ (8,7):

**Եզրահանգում:** Համաձայն մեր ուսումնասիրությունների՝ *Ae. Albopictus*-ը Հայաստանի տարածքում հանդիպում է արդեն 4-րդ տարին

անընդմեջ՝ իր արեալի ընդլայնման փաստով, ինչը, կարծում ենք, պահանջում է բիոմոդելների հետագա զարգացում՝ կլիմայի փոփոխության պայմաններում հնարավոր տարածման գնահատման նպատակով: Կարևորագույն գիտականորեն նշանակալի եզրահանգումը հիշյալ տեսակի արմատավորման փաստն է ՀՀ տարածքում, քանզի հայտնաբերվել են դրա կենսաբանական զարգացման բոլոր փուլերը՝ իմագո, թրթուր և ձվիկ:

Հանրապետության անտառային և տափաստանային գոտում հայտնաբերված *A.geniculatus*-ի առկայությունը, որը դեղին տենդի վիրուսի փոխանցող է, ցույց է տալիս դեղին տենդի առկա հավանական ռիսկը, իսկ *A.caspius*-ի առկայությունը՝ սինդրիսի, տյագինյայի և գետայի ռիսկը: Վիրուսակիր մարդկանց միջոցով վիրուսների՝ հանրապետության տարածք ներմուծման դեպքում կարող է հանգեցնել վիրուսի տեղական փոխանցման, քանի որ տարածքն այս տեսակի մոծակի նկատմամբ և՛ խոցելի է, և՛ զգայուն: Հայաստանից ստացված տվյալների հետահայաց վերլուծությունը ցույց տվեց, որ սինդրիս, տյագինյա վիրուսները Հայաստանում էկոլոգիապես կապված են մոծակների երեք ցեղերի՝ *Anopheles*, *Aedes*, *Culex* չորս տեսակի մոծակների հետ՝ *An.maculipennis*, *An.claviger*, *Ae.caspius*, *C.pipiens*:

Բարդ պարամետրերի հավաքագրման և վերլուծության հիման վրա Հայաստանի տարածքը բաժանված է երեք գոտիների բարձր, միջին և ցածր ռիսկի՝ տարբերվելով մալարիայի վերադարձի ռիսկի աստիճանից և մոծակների այլ տեսակներով փոխանցվող «նոր» տարափոխիկ հիվանդությունների տարածման հավանականությունից:

Անհայտ ծագման տենդով հոսպիտալացված դեպքերի վերջնական կլինիկական ախտորոշումներում «ադիքային հիվանդություններ» առանց էթիոլոգիայի ճշգրտման խմբավորումը, ինչպես նաև ախտորոշիչ միջոցների լայն արսենալի պակասը, հակաբիոտիկների անվերահսկելի և լայն կիրառումը հիվանդների կողմից, որը քողարկում է կլինիկական պատկեր, հանգեցնում է տարափոխիկ հիվանդությունների զգալի քանակի բացթողման:

Մեր հետազոտության արդյունքները նպաստեցին հանրապետությունում անհայտ ծագման տենդերի էթիոլոգիայի ճշգրտմանը՝ ներդնելով հեմոռագիկ տենդային համախտանիշով հիվանդների կլինիկական վարման ալգորիթմը և հեմոռագիկ տենդի համախտանշանային (սինդրոմային) համաճարակաբանական հսկողության համակարգը: 2019թ. առաջին անգամ Հայաստանում հայտնաբերվեց Դենգե բերովի դեպք [11]: Այնուամենայնիվ, վաղ ախտորոշումը կարող է անհամարժեք լինել, քանի որ ասիմպտոմատիկ դեպքերի մասնաբաժինը

կարող է տատանվել 50%-ից մինչև 90%-ի սահմաններում [12]: Փոխանցողների հսկողությունը պահանջում է կայուն և ինտեգրված էնտոմոլոգիական վերահսկողություն [13]:

ՀՀ ԳԱԱ հիդրոէկոլոգիայի և կենդանաբանության գիտական կենտրոն  
e-mail: Lyudmila.Niazyan@gmail.com

#### **Լ. Գ. Նիազյան**

### **Մոծակներով փոխանցվող հիվանդությունների հանրային առողջապահական վտանգը Հայաստանի արդի պայմաններում**

Հայաստանի մոծակների ժամանակակից ֆաունայում հայտնաբերվել է 10 նոր տեսակ, որոնք հայտնի չէին մինչև 2016 թ.՝ այդ թվում *Ae.albopictus*-ը՝ Դենգեի տենդի, չիկունգունիայի և ուրիշ տրանսմիսոն հիվանդությունների տարածիչ: Դիտարկել ենք Նորք ինֆեկցիոն կլինիկական հիվանդանոցի «անհայտ ծագման տենդ» ախտորոշմամբ հոսպիտալացված պացիենտի հիվանդության պատմագրերը, ինչպես նաև պաշտոնական վիճակագրական տվյալները՝ գնահատելու տրանսմիսիվ հիվանդությունների բեռը Հայաստանում: Վերջնական կլինիկական ախտորոշումներում «ադիքային հիվանդություն» առանց էթիոլոգիայի բացահայտման խմբավորումը, ինչպես նաև ախտորոշիչ միջոցների լայն արսենալի պակասը, հակաբիոտիկների անվերահսկելի և լայն կիրառումը հիվանդների կողմից հանգեցնում են կլինիկական պատկերի քողարկման, որի հետևանքով տարափոխիկ հիվանդությունների զգալի քանակ չի հայտնաբերվում: Բարդ պարամետրերի հավաքագրման և վերլուծության հիման վրա Հայաստանի տարածքը բաժանված է երեք գոտիների՝ բարձր, միջին և ցածր ռիսկի՝ տարբերվելով մալարիայի վերադարձի ռիսկի աստիճանից և մոծակների այլ տեսակներով փոխանցվող «նոր» տարափոխիկ հիվանդությունների տարածման հավանականությունից:

#### **Л. Г. Ниязян**

### **Болезни, передающиеся комарами, как угроза общественному здоровью в Армении в современных условиях**

Выявлены значительные сдвиги в фауне комаров Армении, и к настоящему времени 10 новых видов дополнили известный до 2016 г. список видов комаров, среди которых *Aedes albopictus* – переносчик лихорадки Денге, чикунгунья и других трансмиссивных болезней. Результаты клинко-эпидемиологического ретроспективного исследования в инфекционной клинической больнице «Норк», а также официальные статистические данные показали, что значительная часть окончательных диагнозов у фебрильных пациентов остается неуточненной и регистрируется как «лихорадка невыявленной этиологии». Группирование значительного количества окончательных диагнозов в категорию «кишечное заболевание» без идентификации конкретной этиологии наряду с дефицитом широкого арсенала диагностических тестов, а также факты о бесконтрольном применении широкого спектра антибиотиков свидетельствуют о стертости клинической карти-

ны и не выявляемости системой здравоохранения значительного количества трансмиссивных инфекционных заболеваний. На основании анализа комплексных параметров территория Армении по степени возможности заражения малярией и другими, в том числе «новыми» арбовирусными, инфекциями разделена на три зоны: высокого, среднего и низкого риска.

**L. G. Niazyan**

### **Mosquito-Borne Diseases as a Public Health Threat in Modern Conditions of Armenia**

In 2016, 10 new species of mosquitoes were found in Armenia for the first time, among them, *Aedes albopictus*, which has high public health importance and can transmit dengue, Chikungunya and other arboviruses. The results of the retrospective medical charts review study in the Nork Infectious Diseases Clinical Hospital as well as the official national statistics showed a significant proportion of final diagnosis remains as "Fever of Unknown Etiology". Grouping a significant number of final diagnoses into the category of "intestinal disease" among febrile patients without identifying a specific etiology, along with a shortage of a wide arsenal of diagnostic tests, and the defined evidence of uncontrolled intake of a wide range of antibiotics by patients shadow the clinical picture, which lead to underdiagnosis of vector-borne diseases. Based on analysis of complex parameters, the territory of Armenia is divided into three zones: high, moderate and low risk, differing in the degree of risk of recurrence of malaria and introduction of "new" vector-borne diseases.

### **Գրականություն**

1. *Brady O. J. et al* – PLOS Neglected Tropical Diseases. 2012. V. 6(8). P. e1760.
2. *Waggoner J. J. et al.* – Clinical Infectious Diseases. 2016. V. 63(12). P. 1584-1590.
3. World Malaria Report. World Health Organization. 2011. 248 p.
4. *Weaver S. C., Reisen W. K.* – Antiviral Res. 2010. Feb, V. 85(2). P. 328-345.
5. WHO/TDR. Dengue: guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control. Geneva: World Health Organization, 2009.
6. WHO. Global strategy for dengue prevention and control, 2012–2020. Geneva: World Health Organization, 2012.
7. *Jansen C. C, Beebe N. W.* – Microbes Infect. 2010. V. 12. P. 272–279.
8. *Tilston N., Skelly C., Weinstein P.* – Int J Health Geogr. 2009.V.8. P. 61.
9. *Davidyants V. A.* Malaria Elimination in Armenia. Yerevan. 2011.
10. *Avetisyan L. M., Manukyan D. V.* – Med Sci Armenia. 2010. N 2. P. 101–107.
11. *Niazyan L., Manukyan D., Paronyan L.* In: The 6th World One Health Congress. Edinburg, Scotland, 30 Oct- 04 Nov 2020. <https://worldonehealth-congress.org/wohc2020/abstract/342>
12. *Chastel C.* – Bull Acad Nat Méd. 2009. V. 193. P. 485–93.
13. WHO. Handbook for integrated vector management. Geneva: World Health Organization, 2012.



лического пути биосинтеза аргинина: синтез N-ацетилглутамата из глутаминовой кислоты и ацетил-CoA, а также образование орнитина трансацилированием между N-ацетилорнитином и глутаминовой кислотой – и играет существенную роль в процессе биосинтеза L-аргинина [4].

Молекулярное клонирование гетерологичного гена *argJ* в клетках коринеформных бактерий представляется интересным, так как кодируемый этим геном бифункциональный фермент ОАТ ингибируется метаболическим интермедиатом L-орнитином, а конечный продукт биосинтеза L-аргинин на его активность не влияет [5].

Целью представленной работы является молекулярное клонирование гетерологичного гена *argJ* *G. stearothermophilus*, экспрессия которого находится под контролем сильного промотора *P<sub>trc</sub>*, в клетках коринеформной бактерии и создание новых высокоактивных аргининсинтезирующих рекомбинантных штаммов *Br. flavum*.

**Материалы и методы исследований.** В работе были использованы штаммы: *Br. flavum* НК-19А (*ile<sup>-</sup>*, *D-ser<sup>s</sup>*, *ArgHx<sup>r</sup>*, *TA<sup>r</sup>*, коллекционный номер по ЦДМ – ИНМИА 11834) [6], *C. glutamicum* (*arg<sup>-</sup>*), *E. coli* ХА4 (*F<sup>-</sup> argA nalA λ<sup>-</sup> λ<sup>s</sup> trpR hsdR*), *E. coli* XS1D2R (*F<sup>-</sup> Δ(ppc-argE)101 nalA rpoB λ<sup>-</sup> hsdR recA*), *G. Stearothermophilus* NCIB 8224 (дикий тип), а также *E. coli* – *C. glutamicum* челночный экспрессионный вектор рЕС-ХК99Е (GenBankAY219683).

Для выращивания бактериальных штаммов, принадлежащих к родам *Brevibacterium* и *Corynebacterium*, в качестве полноценных сред использовали мясо-пептонный бульон (МПБ) следующего состава: пептон – 10 г, NaCl – 5 г, мясная вода – 1 л, и мясо-пептонный агар (МПА), который получали добавлением 16-18 г/л агара («Difco», США) в состав МПБ. Использовали также полноценные среды CASO-бульон и CASO-агар («Merck», Германия).

Синтетической средой для культивирования штаммов *Br. flavum* и *C. glutamicum* послужила среда Гловера следующего состава, %: NH<sub>4</sub>Cl – 0.5; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> – 0.1; Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 0.2; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 0.3; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> – 0.1; MgSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O – 0.025; FeSO<sub>4</sub>×7H<sub>2</sub>O – 0.001; MnSO<sub>4</sub>×5H<sub>2</sub>O – 0.001; агар «Difco» – 1.6; глюкоза – 0.8, а также биотин – 100 мкг/л; тиамин – 100 мкг/л; L-аминокислоты – 40 мкг/мл.

Для выращивания штаммов *E. coli* и *G. stearothermophilus* в качестве полноценной среды были использованы среды Luria-Bertani (LB) LB-бульон и LB-агар [7]. В качестве синтетической среды для культивирования штаммов *E. coli* были использованы жидкий и агаризованный М9 с необходимыми добавками [7]. L-аминокислоты в М9 добавлялись в концентрации 40 мкг/мл. При необходимости в среду добавляли канамицин (Km) до конечной концентрации 50 мкг/мл. Выделение хромосомной ДНК из *G. stearothermophilus* проводилось в соответствии со следующим протоколом [8]. Выделение и очистку плазмидной ДНК осуществляли по протоколу QIAGEN (Германия) с использованием набора QIAprep Spin Miniprep Kit.

Для анализа ДНК использовали 1% агарозный гель, приготовленный на Tris-ацетатном буфере [9]. Электрофорез осуществляли в условиях 80 вольт в горизонтальном приборе «MINI-SUBCELLGT» («Bio-Rad», США). ДНК проявляли бромистым этидием (0.0001% в геле) и анализировали под УФ лучами прибора «FOTODYNEInc.» (США) [9]. Амплификацию проводили с использованием следующих этапов: начальная денатурация в течение 5 мин при 94°C; 30 циклов: денатурация (30 с при 94°C), «отжиг» (30 с при 52°C), синтез (2 мин при 72°C); окончательный синтез (7 мин при 72°C). Амплификацию ДНК подтверждали электрофорезом. Выделение и очистку полученных PCR-фрагментов из агарозного геля осуществляли по протоколу QIAGEN с использованием набора QIAquick Gel Extraction Kit. Клонирование PCR-фрагментов проводили по протоколу ТА-клонирования «Invitrogen» с использованием PCR4-TOP10-вектора. Рестрикцию проводили согласно протоколу «New England Biolabs» (США). Использовали эндонуклеазы рестрикции *EcoRI* и *BamHI*. Лигирование проводили согласно протоколу «New England Biolabs» с использованием набора Quick Ligation Kit и Quick T4 DNA ligase. Трансформация клеток *E. coli* проводили по известному методу [9]. Трансформацию клеток *Br. flavum* (электропорацию) проводили по описанной методике с некоторыми модификациями [10]. Электропорация была осуществлена при помощи аппарата, изготовленного в НПЦ «Армбиотехнология», в следующих условиях: 320 вольт, 40 микрофарад.

Способность штаммов к повышенному синтезу L-аргинина определяли микробиологическим методом. Колонии испытуемых культур наносили штрихами на минимальную среду Гловера, засеянную тест-культурой, ауксотрофной по аргинину. Способность продуцировать аргинин оценивали по наличию и размерам зоны роста тест-культуры вокруг анализируемых колоний (штрихов) [11].

Для проведения колбочной ферментации отдельные колонии *Br. flavum* переносили в МПБ или CASO-бульон и выращивали в пробирках в течение 16-18 ч при температуре 30°C. Ферментацию проводили в колбах Эрленмейера с емкостью 500 мл с 14 мл ферментационной среды и 1 мл посевного материала на качалке при 220-240 об/мин при температуре 31°C в течение 72 ч.

Для определения аргининпродуцирующей способности была использована ферментационная среда следующего состава, %: сахароза – 15.0;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 5.5;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0.3; рыбная паста – 1.2;  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.1;  $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$  – 0.001;  $\text{MnSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$  – 0/001;  $\text{CaCO}_3$  – 5.0; биотин – 500 мкг/л; тиамин – 500 мкг/л; L-изолейцин – 300 мкг/мл (рН 7.6) [12].

Количественное определение L-аргинина в культуральной жидкости проводили колориметрически по модифицированному методу Сакагучи, основанному на специфическом окрашивании диацетила с гуанидиновой группой аргинина в присутствии 8-оксихинолина в щелочной среде [13]. Раствор диацетила в пропиловом спирте в присутствии 8-оксихинолина в щелочной среде при наличии аргинина обеспечивал стабильную окраску. Измерение прово-

дили на спектрофотометре 550SUV / VIS (Perkin-Элмер, США) при длине волны  $\lambda = 540$  нм.

Количественное определение L-аргинина и сопутствующих аминокислот проводили также с помощью аминокислотного анализатора «Shimadzu Nexera X2» (Япония). Нуклеотидная последовательность клонированного гена *argJ* *G. stearothermophilus* опубликована на сайте <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>.

Статистические параметры (средняя величина, стандартное отклонение), используемые в экспериментах, вычислены при помощи программы MS Excel.

**Результаты исследований.** Молекулярное клонирование гена *argJ* *G. stearothermophilus* было осуществлено при помощи *E. coli* – *C. glutamicum* челночного экспрессионного вектора pEC-ХК99Е, основанного на среднекопийной плазмиде pGA1 (4,9 т.п.н.) [14]. Вектор pEC-ХК99Е размером 7,02 т.п.н. содержит полилинкер (mcs) с 13 сайтами для рестрикционных эндонуклеаз, сильный промотор *P<sub>trc</sub>*, а также включает в себя ген устойчивости к канамицину (*aph(3')-Ila*) [15].

Матрицей для амплификации гена *argJ* послужила хромосомная ДНК *G. stearothermophilus* NCIB 8224. Амплификацию проводили с помощью PCR.

Для амплификации гена *argJ* использовались следующие праймеры:

Forward

5'-CCG**GAATTC**ACGATCACAACAAACGGG

EcoRI

Reverse

5'-CGC**GGATC**CCTTACGTCCGATAGCTGGCG

BamHI

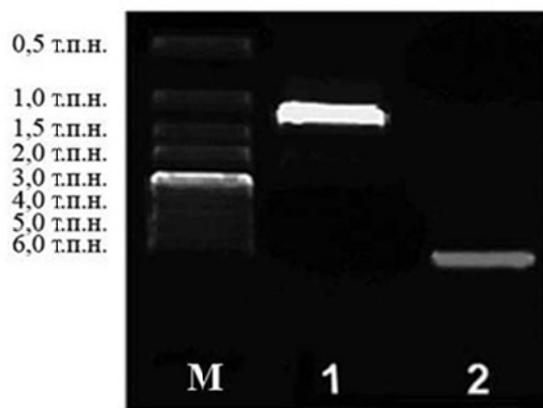


Рис. 1. Электрофореграмма PCR-продукта гена *argJ* *G. stearothermophilus* и вектора pEC-ХК99Е: М – ДНК ladder; 1 – PCR-продукт гена *argJ* *G. stearothermophilus* размером ~ 1250 п.н.; 2 – вектор pEC-ХК99Е размером 7,02 т.п.н., обработанный ферментами *EcoRI/BamHI*.

Размер PCR-продукта гена *argJ* *G. stearothermophilus* составил ~ 1250 п.н. Полученный PCR-продукт гена *argJ* *G. stearothermophilus* (рис. 1) был экстрагирован из геля и клонирован на вектор pEC-XK99E (под контроль промотора *P<sub>trc</sub>*), предварительно обработанный рестрикционными ферментами *EcoRI/BamHI*. Лигированной смесью были трансформированы компетентные клетки штаммов *E. coli* XA4 и *E. coli* XS1D2R, мутантные по генам *argA* и *argE*, соответственно. Поскольку продукт гена *argJ* *G. stearothermophilus* является бифункциональным ферментом [5], то он в клетках *E. coli* комплементирует две разные мутации – *argA*<sup>-</sup> и *argE*<sup>-</sup>. Отбор трансформантов вели по комплементации мутантных генов *argA* и *argE* штаммов *E. coli* XA4 и *E. coli* XS1D2R, соответственно, на селективной среде M9 без аргинина в присутствии Km (50 мкг/мл).

После инкубации с чашек были отобраны прототрофные и устойчивые к Km (Km<sup>r</sup>) трансформанты штаммов *E. coli* XA4 и *E. coli* XS1D2R. С целью подтверждения присутствия гена *argJ* в составе сконструированной рекомбинантной плазмиды из трансформантов была выделена плазмидная ДНК, которой повторно трансформированы клетки штаммов *E. coli* XA4 (*argA*<sup>-</sup>) и XS1D2R (*argE*<sup>-</sup>). Из выросших на селективной среде M9 без аргинина в присутствии Km (50 мкг/мл) трансформантов была выделена плазмидная ДНК. Для выяснения структурной организации рекомбинантной плазмиды pARGJ (рис. 2), содержащей ген *argJ* *G. Stearothermophilus*, был проведен рестрикционный анализ этой плазмиды. Для этого плазмиду pARGJ обработали рестрикционными ферментами *EcoRI/BamHI*. Электрофореграмма рестриктов этой плазмиды представлена на рис. 3.

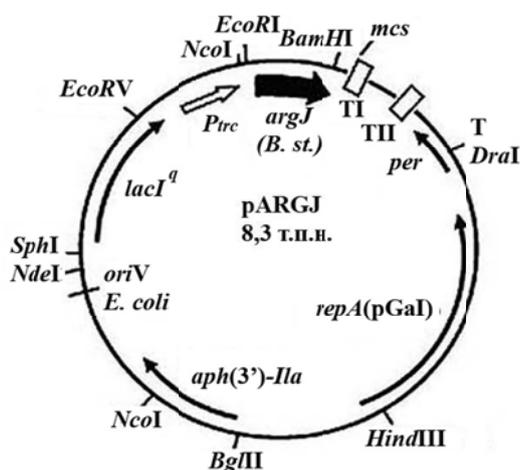


Рис. 2. Рестрикционная карта рекомбинантной плазмиды pARGJ. Жирной стрелкой обозначен ген *argJ* *G. stearothermophilus*.

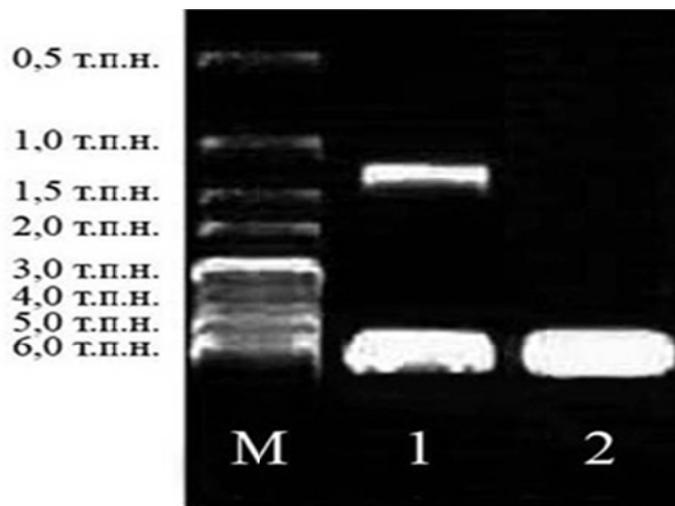


Рис. 3. Электрофореграмма рестриктов рекомбинантной плазмиды pARGJ и вектора pEC-XK99E: М– DNA ladder; 1 – *EcoRI/BamHI* рестрикты рекомбинантной плазмиды pARGJ; 2 – *EcoRI/BamHI* рестрикт вектора pEC-XK99E.

Таким образом, наличие клонированного гена *argJ* в составе сконструированной рекомбинантной плазмиды pARGBJ было подтверждено результатами комплементации мутаций *argA* и *argE* генов в ауксотрофных штаммах *E. coli* XA4 (*argA*<sup>-</sup>) и *E. coli* XS1D2R (*argE*<sup>-</sup>), а также рестрикционным анализом этой плазмиды.

С целью создания новых рекомбинантных штаммов коринеформных бактерий, продуцирующих L-аргинин, сконструированная нами плазида, несущая гетерологичный ген *argJ*, а также вектор pEC-XK99E (в качестве контроля) методом электропорации были перенесены в ранее полученный нами штамм-реципиент *Br. flavum* НК-19А [10]. Отбор трансформантов вели на полноценной среде в присутствии Km (50 мкг/мл).

Отобранные после трансформации колонии проверялись на аргинин-продуцирующую способность. Сначала трансформанты отбирались микробиологическим методом с использованием *S. glutamicum arg*<sup>-</sup> тест-культуры [11]. Способность продуцировать аргинин оценивали по наличию и размерам зоны роста тест-культуры вокруг анализируемых колоний. После микробиологической проверки отобранные варианты, образовавшие сравнительно большие зоны роста *arg*<sup>-</sup> тест-культуры вокруг анализируемых колоний, проверялись на аргининсинтезирующую активность в условиях колбочной ферментации на питательной среде.

Полученные нами данные (рис. 4) показали, что присутствие гетерологичного гена *argJ* *G. stearothermophilus* в составе рекомбинантной плазмиды приводит к повышению синтеза L-аргинина у сконструированного нами штамма-реципиента.

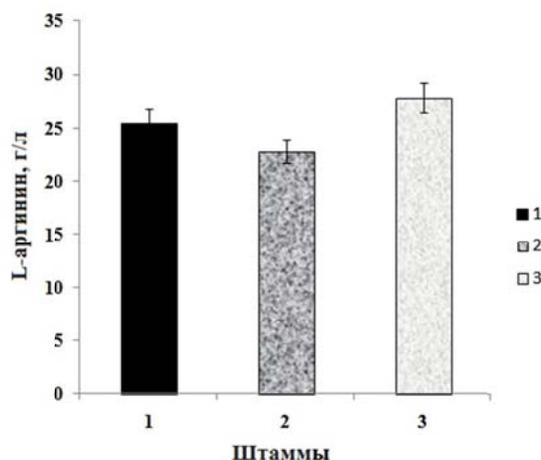


Рис. 4. Количество синтезированного L-аргинина штаммом-реципиентом и рекомбинантными штаммами: 1 – штамм-реципиент *Br. flavum* НК-19А; 2 – рекомбинантный штамм *Br. flavum* НК-19А (pEC-ХК99Е), содержащий вектор; 3 – рекомбинантный штамм *Br. flavum* НК-19А (pARGJ), содержащий плазмиду.

**Заключение.** Таким образом, в результате проведенной нами работы осуществлено молекулярное клонирование гетерологичного гена *argJ* *G. stearothermophilus* и изучена экспрессия этого гена в клетках коринеформных бактерий. Сконструирован новый рекомбинантный штамм *Br. flavum* НК-19А (pARGBJ).

Рекомбинантная плазида pARGJ, несущая ген *argJ*, продукт которой не ингибируется L-аргинином, увеличивает аргининпродуцирующую способность штамма *Br. flavum* НК-19А на 5.0 г/л по сравнению с тем же штаммом, содержащим вектор pEC-ХК99Е.

НПЦ «Армбиотехнология» ГНКО НАН РА  
e-mail: anichka\_h@mail.ru

**А. О. Колоян, С. В. Аветисян, М. Г. Паронян, А. С. Овсепян**

#### **Применение гена *argJ* термофильной бактерии *Geobacillus stearothermophilus* для конструирования высокоактивного штамма-производителя аргинина**

Осуществлено молекулярное клонирование гена *argJ* термофильной бактерии *Geobacillus stearothermophilus* на *Escherichia coli* – *Corynebacterium glutamicum* челночном экспрессионном векторе pEC-ХК99Е в клетках коринеформных бактерий. Сконструированная рекомбинантная плазида pARGJ была использована для создания нового штамма-производителя аргинина. В качестве реципиента использован полученный нами ранее штамм *Brevibacterium flavum* НК-19А, синтезирующий до 25.0 г/л L-аргинина. Созданный новый рекомбинантный штамм, содержащий гетерологичный ген *argJ* термофильной бактерии, обеспечивает

более высокий выход (на 20%) L-аргинина по сравнению со штаммом-реципиентом.

**Հ. Օ. Քոլոյան, Ս. Ո. Ավետիսյան, Մ. Հ. Պարոնյան, Ա. Ս. Հովսեփյան**

***Geobacillus stearothermophilus* թերմոֆիլ մանրէի *argJ* գենի կիրառումը արգինինի բարձրակտիվ շտամ-արտադրիչի կառուցման համար**

Իրականացվել է *Geobacillus stearothermophilus* թերմոֆիլ մանրէի *argJ* գենի մոլեկուլային կլոնավորումը *Escherichia coli* – *Corynebacterim glutamicum* մաքրքային էքսպրեսիոն վեկտորի վրա կորինեֆորմ բակտերիաների բջիջներում: Կառուցված pARGJ ռեկոմբինանտ պլազմիդն օգտագործվել է արգինինի նոր շտամ արտադրիչ ստանալու համար: Որպես շտամ ռեցիպիենտ օգտագործվել է մեր կողմից նախկինում ստացված մինչև 25.0 գ/լ L-արգինին սինթեզող *Brevibacterium flavum* HK-19A շտամը: Թերմոֆիլ մանրէի հետերոլոգ *argJ* գենը կրող նոր կառուցված ռեկոմբինանտ շտամը շտամ ռեցիպիենտի համեմատ ապահովում է L-արգինինի ավելի բարձր ելք (20%-ով):

**H. O. Koloyan, S. V. Avetisyan, M. H. Paronyan, A. S. Hovsepyan**

**Application of the *argJ* Gene of the Thermophilic Bacterium *Geobacillus stearothermophilus* for the Construction of a Highly Active Arginine-Producing Strain**

Molecular cloning of the gene *argJ* of thermophilic bacterium *Geobacillus stearothermophilus* on *Escherichia coli* - *Corynebacterim glutamicum* shuttle expression vector pEC-XK99E in the cells of coryneform bacteria was carried out. To create a new arginine- producing strain, the constructed recombinant plasmid pARGJ was used. As a recipient, we used the previously obtained *Brevibacterium flavum* HK-19A strain, which synthesizes up to 25.0 g/L of L-arginine. The created new recombinant strain containing the heterologous gene *argJ* of the rmophilic bacterium provides higher yield (by 20%) of L-arginine compared to the recipient strain.

**Литература**

1. *Sakanyan V., Petrosyan P., Lecocq M. et al.* – Microbiology. 1996. V. 142. P. 99-108.
2. *Hwang G. H., Cho J. Y.* – J Ind Microbiol Biotechnol. 2010. V. 37. P.1131-1136.
3. *Shin J. H, Lee S. Y.* – Microb Cell Fact. 2014. 13:166. doi: 10.1186/s12934-014-0166-4.
4. *Marc F., Weigel P., Legrain C. et al.*– Eur J Biochem. 2000. V. 267. P 5217-5226.
5. *Sakanyan V., Charlier D., Legrain C. et al.*– J Gen Microbiol. 1993. V. 139. P. 393-402.
6. *Колоян А. О.* – Биолог. журн. Армении. 2006. Т. 58. № 1-2. С. 29-33.

7. *Maniatis T., Fritsch E. F., Sambrook J.* – Molecular cloning: a laboratory manual. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory. 1982. 545 p.
8. *Zhu H., Qu F., Zhu L. H.* – Nucleic. Acids Res. 1993. V. 21. № 22. P. 5279-5280.
9. *Sambrook J., Fritsch E. F., Maniatis T.* – Molecular Cloning: a laboratory manual. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press. 1989. 2<sup>nd</sup> edn, V. 1-3, 1626 p.
10. *Dunican L. K., Shivnan E.* – Bio/Technology. 1989. V. 7. P. 1067-1070.
11. *Чахалян А. Х., Келециян С. К., Карапетян Ж. В. и др.*– Биолог. журн. Армении. 2008. Т. 60. № 1-2. С. 103-108.
12. *Колоян А. О., Овсепян А. С.* – Биолог. журн. Армении. 2009. Т. 6. № 13. С. 38-44.
13. *Rosenberg H., Ennor A. H., Morrison J. F.* – Biochem. J. 1956. V. 63. P. 153-159.
14. *Nešvera J., Pátek M., Hochmannová et al.*– J. Bacteriol. 1997. V. 179. P. 1525-1532.
15. *Kirchner O., Tauch A.* –J. Biotechnol. 2003. V. 104. P. 287-299.



**Методика.** Работа выполнена в условиях *in situ* на небеременных самках крыс массой 200-250 г. Животные анестезировались нембуталом (40-45 мг/кг) внутривенно. 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 с поверхности овариальной области обоих рогов (рис. 1). Спонтанная электрическая активность отводилась биполярными электродами. После завершения регистрации животные усыплялись введением дополнительного количества нембутала.

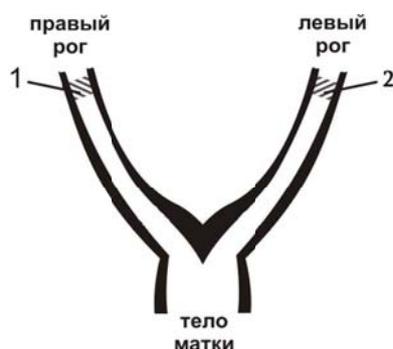


Рис 1. Схематическое изображение маточных труб: 1, 2 – соответственно области регистрации активности из овариальных отделов левой и правой маточной трубы. n=20.

Анализ результатов проводился путем определения значений следующих параметров спонтанных потенциалов действия: амплитуда (A), средняя скорость нарастания пика (V), продолжительность нарастания пика (T) (продолжительность увеличения амплитуды потенциала действия до максимального значения), половина ширины (t) (продолжительность формирования вершины потенциала действия, соответствующей верхней половине его амплитуды), частота активности (F) (частота разрядов потенциалов действия в 1 мин), длительность вспышки (L) (усредненное значение длительности вспышки активности, наблюдаемое в течение 5 мин регистрации). Все отмеченные показатели определялись путем их усреднения в пределах всех экспериментов данной серии. На рисунках представлены суперпозиции двух типичных форм усредненных потенциалов действия. Усреднение последних также проводилось в пределах всех экспериментов данной серии.

Спонтанная электрическая активность регистрировалась на 8-канальном приборе, разработанном в Институте физиологии им. Л. А. Орбели НАН РА для оценки электрической активности гладкой мускулатуры [10]. В данных экспериментах проводилась одновременная регистрация с определенного локуса исследуемой структуры. Коммуникация прибора с ЭВМ осуществлялась с использованием USB порта. Программа, обеспечиваю-

щая регистрацию сигналов, разработана с применением пакета программ Lab View. Последующий статистический анализ зарегистрированных сигналов проводился с использованием пакетов программ Origin-8.5 и Sigma Plot 11.0. Оценка достоверности изменения полученных данных осуществлялась согласно t-критерию Стьюдента.

Все эксперименты были проведены в соответствии с «Правилами и нормами гуманного обращения с объектами исследования» (NIH publication № 85-23 revised 1985).

**Результаты и их обсуждение.** Пейсмекерная активность каждой из ритмогенных зон миометрия возникает автономно и асинхронно и в то же время между значениями показателей потенциалов действия этих локусов отмечаются определенные различия не только в отношении отдельных всплесков в целом, но и составляющих их спайков [11, 12]. Наибольшая амплитуда спайков и скорость нарастания их пиков показана для овариального локуса маточной трубы.

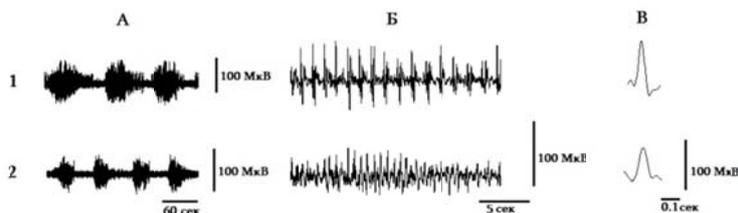


Рис. 2. Всплески электрической активности из овариальных областей рогов: А. 1, 2 – овариальные области левой и правой маточной трубы, представленные на рис. 1; Б – развернутые формы активности представленных слева соответствующих областей; В – соответственно усредненные развернутые формы потенциалов действия. n=20.

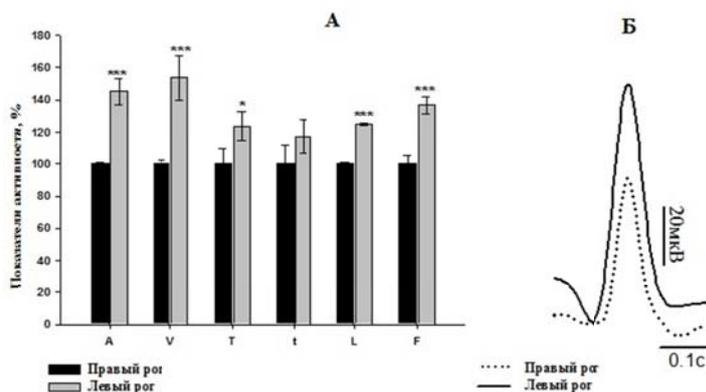


Рис. 3. А – Показатели потенциалов действия овариальной зоны левого рога по отношению к овариальной области правого рога (представлено в процентном соотношении). Контроль соответствует 100%; Б – наложение друг на друга усредненных форм единичных потенциалов действия овариальных зон из левого (сплошной контур) и правого (точечный контур) рога. n=18.

На рис. 2 приведен пример вспышек спонтанной электрической активности овариальных областей левого и правого рогов. В связи с идентичностью функциональной активности правого и левого рогов фаллопиевых труб нами проведены измерения значений основных параметров автоматизмов овариальных зон миометрия обоих рогов (табл. 1). В соответствии с полученными данными наблюдаются определенные различия в величинах показателей спайков того и другого рогов. Для наглядности на рис. 3 представлены результаты сравнительного анализа величин показателей всех исследуемых характеристик потенциалов действия левого рога по отношению к таковым правого (принимается за 100 %). Выявлено значительное понижение величины как амплитуды потенциала действия овариального локуса правой трубы, так и скорости нарастания ее пика (соответственно на 45.2 и 53.6%). Наряду с рассматриваемыми показателями активности подобная тенденция отмечена также для остальных четырех параметров ритмогенеза. Представленное на рис. 3 наложение друг на друга усредненных форм потенциалов действия левой маточной трубы по отношению к правой свидетельствует о приведенных выше изменениях характеристик активности.

**Таблица 1**

**Показатели спонтанной активности различных отделов  
миометрия крысы в норме**

Области регистрации	Амплитуда потенциалов действия (А), мкВ	Средняя скорость нарастания пика (V), мкВ/с	Продолжительность нарастания пика (Т), с	Половина ширины (t), с
Овариальная область левого рога	85.1±4.6	1306.5±120.0	0.07±0.01	0.07±0.01
Овариальная область правого рога	58.6±0.7	850.4±18.3	0.06±0.01	0.06±0.01

Таким образом, одна из фаллопиевых труб (в частности, левый рог), будучи парным органом, характеризуется более высокой функциональной активностью по отношению к правому рогу. Возможно, в определенных экстремальных условиях (патология правого рога, нарушение его проводимости, повреждение вышерасположенных клеток Кахаля) левая маточная труба способна компенсировать деятельность парного к нему рога в подобных ситуациях. Весьма интересен тот факт, что в недавних исследованиях [13]. аналогичные свойства были показаны также для такого

висцерального парного органа, как мочеточник. Вместе с тем утверждение данных тезисов требует дальнейших тщательных исследований.

Институт физиологии им. Л. Орбели НАН РА  
e-mail: tatevikpiliposyan@gmail.com

**К. В. Казарян, Т. А. Пилипосян, Н. Г. Унанян,  
Р. Г. Чибухчян**

### **Сравнительный анализ спонтанной электрической активности маточных труб крысы**

Исследована спонтанная электрическая активность овариальной области правой и левой маточных труб небеременной крысы. Сравнительный анализ показателей данных автоматизмов выявил определенные различия в их значениях. В овариальном локусе левого рога обнаружены значительно большие величины таких параметров активности, как амплитуда потенциала действия и скорость ее нарастания. Полученные данные могут свидетельствовать о наличии высокой степени активности исследуемой зоны в левом роге по сравнению с таковой правом роге.

**Ք. Վ. Ղազարյան, Տ. Ա. Փիլիպոսյան, Ն. Գ. Հունանյան,  
Ր. Գ. Չիբուխչյան**

### **Առնետի արգանդափողերի ինքնաբերական էլեկտրական ակտիվության համեմատական վերլուծությունը**

Հետազոտվել է ոչ հղի առնետների աջ և ձախ արգանդափողերի ձվարանային շրջանների ինքնաբերական էլեկտրական ակտիվությունը: Այդ ինքնավար շրջանների ակտիվության ցուցանիշների համեմատական վերլուծությամբ, որոշակի տարբերություններ էին բացահայտվել: Ընդորում, ձախ արգանդափողի ձվարանային շրջանում հայտնաբերվել էին ակտիվության ցուցանիշների այնպիսի բնութագրիչների նշանակալից տարբերություններ, ինչպիսիք էին գործողության պոտենցյալի ամպլիտուդան և պիկի աճման արագությունը: Ստացված տվյալները կարող են վկայել ձախ արգանդափողի հետազոտվող շրջանի ակտիվության բարձր աստիճանի մասին՝ համեմատած աջ արգանդափողի համանուն շրջանի հետ:

**K. V. Kazaryan, T. A. Piliposyan, N. G. Hunanyan,  
R. G. Chibukhchyan**

### **Comparative Analysis of Spontaneous Electrical Activity of the Uterine Tubes in Rats**

The spontaneous electrical activity of the ovarian region of the right and left uterine horns of a non-pregnant rat was investigated. A comparative analysis of the characteristics of automatism revealed significant differences in their values. At the

same time, significantly larger parameters of activity were found in ovarian region of the left horn, such as the amplitude of action potentials and the rise rate. The obtained dates may indicate the presence of a high degree of activity in investigated zone in the left horn as compared to that in the right horn.

### Литература

1. *Rabotti C., Mischi M.* – Acta Physiol (Oxf). 2015. V. 213. № 2. P. 406-416.
2. *Hutchings G., Williams O., Cretoiu D et al.* – J. Cell Mol. Med. 2009. V. 13. № 10. P. 4268-4282.
3. *Garfield R. E., Maner W. L.* – Semin Cell Dev Biol. 2007. V. 18. № 3. P. 289-295.
4. *Aguilar H. N., Mitchell B. F.* – Hum Reprod Update. 2010. V. 16. № 6. P. 725-744.
5. *Crane L. H., Martin L.* – Reprod. Fertil. Dev. 1991. № 3. P. 519-27.
6. *Казарян К. В., Унанян Н. Г., Пилипосян Т. А. и др.* – Журн. эволюционной биохимии и физиологии. 2017. Т. 53. № 5. С. 368-375.
7. *Казарян К. В., Унанян Н. Г., Мкртчян А. В.* – Журн. эволюционной биохимии и физиологии. 2020. Т. 56. № 3. С. 245-250.
8. *Lammers W. J., Arafat K., El-Kays A. et al.* – Am. J. Physiol. 1994. V. 267 (5 Pt 1). с1210–с1223.
9. *Lutton E. J., Lammers W. J. E. P., James S. et al.* – J. Physiol. 2018. V. 596. № 14. P. 2841–2852.
10. *Саркисян Р. Ш., Карамян Г. Г., Манукян А. М. и др.* Современная микро-процессорная аппаратура для проведения электрофизиологических исследований. Международная научно-техническая выставка “DigitecExpo14”, 1-3 октября, Ереван, 2014.
11. *Казарян К. В., Унанян Н. Г.* – Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2013. Т. 99(10). С. 1191-1199.
12. *Savaco-Goncalves S., Marques C. C., Horta A. E. et al.* – Anim. Reprod. Sci. 2006. V. 93. P. 360-365.
13. *Казарян К. В., Чибухчян Р. Г., Мкртчян Э. Х.* – Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2017. Т. 103. № 8. С. 902-911.



наличие или отсутствие прицветничков, число цветков в пазухе прицветников, степень выраженности листьев, наличие папилл на плодах и др. [9 – 13].

Сухоруковым проводилось подробное изучение морфолого-анатомических особенностей 26 видов рода *Anabasis* [8, 13], при этом в качестве наиболее важных диагностических признаков в пределах данного рода автором в первую очередь рассматриваются жизненная форма (нанофанерофиты, хамефиты, каудексные хамефиты, терофиты), а затем признаки строения вегетативной и репродуктивной сферы. Молекулярные исследования 8 видов рода *Anabasis*, и в том числе видов, произрастающих в Южном Закавказье, указывают на их монофилетическое происхождение, за исключением *A. setifera* Moq. [3].

В Южном Закавказье род представлен двумя видами (*A. eugeniae* Iljin и *A. aphylla* L.), которые, согласно Акопян [6], произрастают исключительно в Нахичеванской АР, хотя ранее ареал вида *A. aphylla* охватывал также и территорию Армении [5]. Представители рода – полукустарнички 10-25 см высотой (*A. eugeniae*) или полукустарники 30–60 (70) см высотой (*A. aphylla*), произрастающие соответственно на пестроцветных гипсоносных глинах и на солончаках, слабосолонцеватых почвах [6].

Вид *A. eugeniae* является эндемиком Атропатенской подпровинции Армено-Иранской провинции и вместе с *Salsola tamamschjanae* Iljin находится под охраной на территории Нахичеванской АР [6].

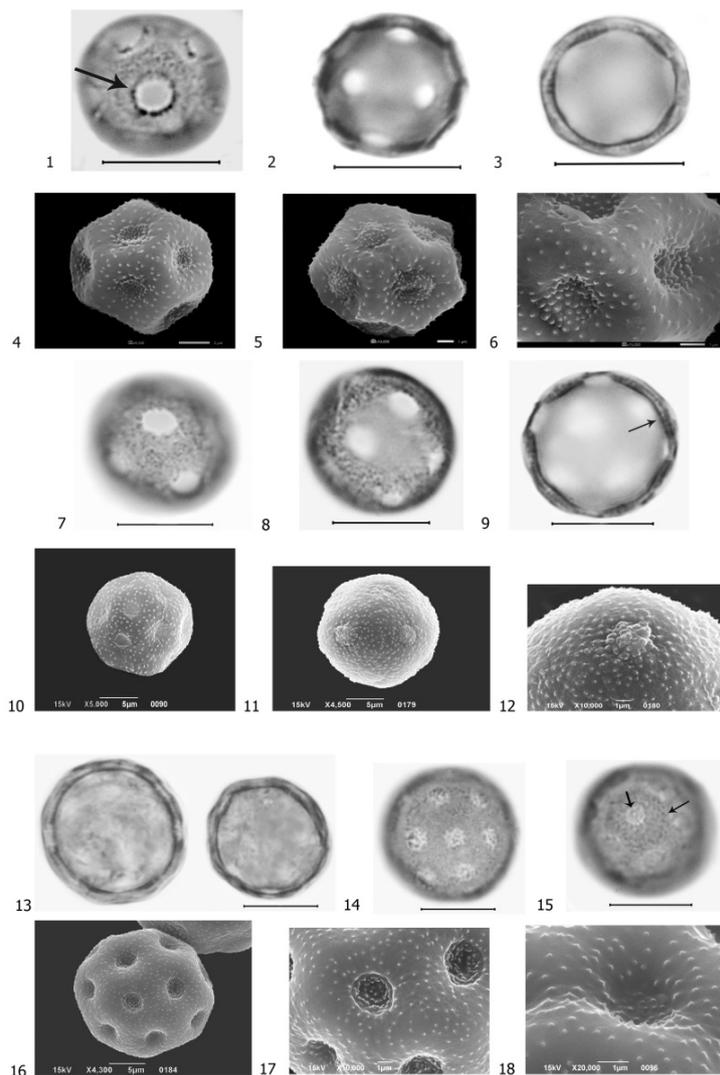
Краткие описания морфологии пыльцы представителей маревых, и в том числе родов *Girgensohnia* и *Anabasis*, полученные с помощью светового микроскопа (СМ), даны во втором томе «Флоры Армении» [14]. Исследования проводились также на уровне сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) [15 – 18].

**Материал и методика.** Материалом для настоящих исследований послужила пыльца, полученная из гербария Института ботаники НАН РА. Выявление особенностей морфологии пыльцы представителей родов *Girgensohnia* и *Anabasis* проводилось с применением СМ, а также СЭМ по стандартным методикам [19, 20]. Статистический анализ для образцов всех изученных нами видов был проведен с помощью Microsoft Excel 2016 [21] с использованием двух показателей: SD – стандартное отклонение и CV% – коэффициент вариации. Применялась условная классификация вариабельности выборки на основе коэффициента вариации [22]. В целом изучены и проанализированы морфологические признаки пыльцы по 9 образцам 3 видов из родов *Girgensohnia* и *Anabasis* (табл. 1, 2).

**Изученные образцы:** *Girgensohnia oppositiflora* (Pall.) Fenzl: ERE, 136814; ERE, 64726; ERE, 1990; ERE, 1991; *Anabasis aphylla* L.: ERE, 1857; ERE, 1852; ERE, 72308; *Anabasis eugeniae* Iljin: ERE, 146060; ERE, 77574.

### **Описание пыльцевых зерен** **Род *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl**

***G. oppositiflora* (Pall.) Fenzl** (фототабл. I, 1-6, табл. 1). Пыльцевые зерна глобально-10-15-поровые, сфероидальные, в очертании округлые или



Фототаблица I. Пыльцевые зерна (п. з.) видов из родов *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl и *Anabasis* L. флоры Южного Закавказья. 1-6 – *G. oppositiflora* (Pall.) Fenzl: 1-2 – общий вид п. з. (1 – «окантовка» поры, отмечено стрелкой, форма пор, скульптура экзины), 3 – экзина (СМ), 4-5 – общий вид п. з. (5 – поры с оперкулумом), 6 – фрагмент поверхности п. з. с порой, скульптура экзины и поровой мембраны (СЭМ); 7-12 – *Anabasis aphylla* L.: 7-8 – общий вид п. з. (форма пор, скульптура экзины), 9 – экзина, столбчатый слой (отмечено стрелкой) (СМ), 10-11 – общий вид п. з. (11 – поры с оперкулумом), 12 – фрагмент поверхности п. з. с порой, скульптура экзины и оперкулума (СЭМ); 13-18 – *A. eugeniae* Pjij: 13 – варибельность размеров п. з., экзина, 14-15 – общий вид п. з., форма пор, скульптура экзины и мембран пор (отмечено стрелками) (СМ), 16 – общий вид п. з., 17 – фрагмент поверхности п. з., 18 – пора и скульптура экзины (СЭМ) (масштабная линейка: 1-3, 7-9, 13-15 – 10 мкм).

угловато-округлые, 11.0-14.7 мкм в диаметре. Поры более или менее округлые, 2.2-3.9 мкм в диаметре, оперкулятные, погруженные (фототабл. I, 4-6), края пор слабоволнистые, иногда как бы окантованы одним рядом скульптурных элементов (фототабл. I, 1) на уровне СЭМ скульптура поровых мембран регулярно шипиковатая, шипики на поверхности мембран пор и оперкулула расположены гуще, чем на поверхности пыльцевых зерен (фототабл. I, 4-6); ширина мезопориума 2.0-3.5 мкм. Экзина 0.8-1.3 мкм толщины, столбчатый слой слабо выражен. Скульптура экзины густо мелкогранулярная (СМ); скульптура экзины перфорированно-шипиковатая, количество шипиков на 1 мкм<sup>2</sup> поверхности пыльцевого зерна 2-4, шипики заостренные; поверхность пыльцевого зерна волнистая (СЭМ).

#### Род *Anabasis* L.

(фототабл. I, 7-18, табл. 1)

Пыльцевые зерна глобально-14-24-поровые, сфероидальные, в очертании округлые или угловато-округлые, 12.0-20.8 мкм в диаметре. Поры преимущественно более или менее округлые, 2.0-3.8 мкм в диаметре, иногда оперкулятные (*A. aphylla*), погруженные, края пор слабоволнистые; на уровне СЭМ скульптура поровых мембран, а также поверхности оперкулулов регулярно шипиковатая, при этом шипики на поверхности оперкулулов значительно крупнее, чем на поверхности пыльцевых зерен (фототабл. I, 10-12); ширина мезопориума 2.0-3.2 мкм. Экзина 0.6-1.4 мкм толщины, столбчатый слой хорошо выражен лишь у вида *A. aphylla* (фототабл. I, 9), столбики равномерно расставленные, длинные, толстые. Скульптура экзины густо мелкогранулярная (СМ); скульптура экзины перфорированно-шипиковатая (фототабл. I, 10-12, 16-18); количество шипиков на 1 мкм<sup>2</sup> поверхности пыльцевого зерна 3-5, шипики конические; поверхность пыльцевого зерна волнистая (СЭМ).

У вида *A. eugeniae* отмечается вариабельность размеров пыльцевых зерен (фототабл. I, 13).

**Результаты и обсуждение.** Пыльцевые зерна у изученных нами трех видов из родов *Girgensohnia* и *Anabasis*, как и у всех маревых, глобально-многопоровые, число пор варьирует в пределах 10-24, диаметр пор – в пределах 2.0-3.9 мкм. По своей форме пыльцевые зерна сфероидальные, в очертании округлые или угловато-округлые, аполярные, поверхность пыльцевого зерна волнистая. Пыльца характеризуется в основном как мелкая и варьирует в пределах 11.0-20.8 мкм. Экзина 0.6-1.4 мкм толщины, столбчатый слой четко выражен лишь у вида *Anabasis aphylla*, столбики здесь равномерно расставленные, длинные, толстые. На уровне СМ у пыльцы изученных видов нами отмечена густо мелкогранулярная скульптура экзины. На уровне СЭМ скульптура экзины у всех видов перфорированно-шипиковатая; число шипиков на единицу площади поверхности варьирует в пределах 2-5.

Краткая палиноморфологическая характеристика представителей родов *Girgensohnia* и *Anabasis* в Южном Закавказье дана в табл. 1.

**Таблица 1**

**Палиноморфологическая характеристика представителей родов *Girgensohnia* и *Anabasis* в Южном Закавказье и их распространение в Армении и Нахичеванской АР**

Вид	Распространение		Диаметр пыльцевых зерен, мкм	Число пор	Диаметр пор, мкм	Толщина экзины, мкм	Ширина мезопориума, мкм	Кол-во шипиков на 1 мкм <sup>2</sup>
	Армения	Нахичеванская АР						
<i>Girgensohnia oppositiflora</i>	+	+	11.0-14.7/13.0	10-15/12	2.2-3.9/2.9	0.8-1.3/1.0	2.0-3.5/2.5	2-4
<i>Anabasis aphylla</i>	-	+	12.0-17.0/14.4	14-20/17	2.1-3.8/2.6	0.6-1.2/0.9	2.0-3.2/2.6	3-5
<i>A. eugeniae</i>	-	+	17.0-20.8/19.0	18-24/21	2.0-3.1/2.6	1.0-1.4/1.2	2.2-3.2/2.8	3-4

*Примечание.* После косой линии в таблице приведены усредненные данные, полученные при измерении 10 пыльцевых зерен.

**Заключение и выводы.** Проведенный нами палиноморфологический анализ выявил определенную корреляцию между размерами пыльцевых зерен и числом пор в пределах рода *Anabasis*. Так, наиболее крупная по размерам пыльца, характеризующаяся также и наибольшим числом пор (18-24), отмечается у вида *A. eugeniae* (17.0-20.8 мкм в диаметре), в то время как у вида *A. aphylla* пыльцевые зерна значительно мельче (12.0-17.0 мкм в диаметре), а число пор не превышает 14-20.

По размерам пыльцевых зерен вид *Girgensohnia oppositiflora* (11.0-14.7 мкм в диаметре) более близок к виду *Anabasis aphylla* (12.0-17.0 мкм в диаметре).

Статистический анализ данных по пяти морфологическим признакам (на уровне СМ), а именно диаметру пыльцевых зерен, числу и диаметру пор, толщине экзины, ширине мезопориума, выявил, что из первых трех признаков наименее вариабельной (в соответствии с анализом коэффициента вариации) является выборка данных по диаметру пыльцевых зерен (1.6-8.3%), а также по числу пор (0-9.0%), в то время как коэффициент вариации по диаметру пор является средневариабельным (2.7-15.3%). Тем не менее, полученные результаты не выходят за рамки пределов достоверности данных (табл. 2).

По двум оставшимся признакам пыльцы, а именно толщине экзины и ширине мезопориума, существенных различий при проведении статистического анализа данных, как и в предыдущих исследованиях [23, 24], не отмечалось).

Таблица 2

**Данные статистического анализа признаков пыльцы  
по родам *Girgensohnia* и *Anabasis***

Вид	Диаметр пыльцевых зерен, мкм		Число пор		Диаметр пор, Мкм	
	± SD	CV%	± SD	CV%	± SD	CV%
<i>Girgensohnia oppositiflora</i>	13.0±0.6	4.6%	12±0	0%	2.9±0.09	3.1%
<i>Anabasis aphylla</i>	14.4±1.2	8.3%	17±1.5	9.0%	2.6±0.4	15.3%
<i>A. eugeniae</i>	19.0±0.3	1.6%	21±1.4	6.6%	2.6±0.07	2.7%
Интервалы вариаций ± SD и C <sub>v</sub> %	±0.3-1.2	1.6-8.3%	±0-1.5	0-9.0%	±0.07-0.4	2.7-15.3%

Институт ботаники им. А. Л. Тахтаджяна НАН РА  
e-mails: alla.hayrapetyan.63@gmail.com, hasmiksonyan@gmail.com

**А. М. Айрапетян, А. О. Сонян**

**Морфологические особенности некоторых представителей  
подсемейства *Salsoloideae* (Chenopodiaceae) флоры Южного  
Закавказья. II. Роды *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl и *Anabasis* L.**

На уровне светового и сканирующего электронного микроскопов исследована морфология пыльцы представителей родов *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl и *Anabasis* L. (*Salsoloideae*, Chenopodiaceae) флоры Южного Закавказья.

**Ա. Մ. Հայրապետյան, Հ. Հ. Սոնյան**

**Հարավային Անդրկովկասի ֆլորայի *Salsoloideae* (Chenopodiaceae)  
ենթաընտանիքի որոշ ներկայացուցիչների ծաղկափոշու մորֆոլոգիական  
առանձնահատկությունները: II. *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl և  
*Anabasis* L. ցեղեր**

Իրականացվել է Հարավային Անդրկովկասի ֆլորայի (*Salsoloideae*, Chenopodiaceae) *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl and *Anabasis* L. ցեղերի ներկայացուցիչների ծաղկափոշու մորֆոլոգիայի ուսումնասիրություն լուսային և սկանավորող էլեկտրոնային մանրադիտակների սիջոցով:

**A. M. Hayrapetyan, H. H. Sonyan**

**Morphological Peculiarities of Some Representatives of the Subfamily  
*Salsoloideae* (Chenopodiaceae) in South Transcaucasia. II. Genera  
*Girgensohnia* Bunge ex Fenzl and *Anabasis* L.**

The palynomorphology of representatives of the genera *Girgensohnia* Bunge ex Fenzl and *Anabasis* L. (*Salsoloideae*, Chenopodiaceae) in South Transcaucasia was studied using light microscopy and scanning electron microscopy.

## Литература

1. *Bunge A. Girgensohnia* (description). In: Ledebour, C. F. Flora Rossica. 1849. Stuttgartiae. V. 3. 866 p.
2. *Sukhorukov A. P.* – Edinburgh Journal of Botany. 2007. V. 64. № 3. P. 317-330.
3. *Akhani H., Edwards G., Roalson E. H.* – Int. J. Plant Sci. 2007. V. 168. № 6. P. 931-956.
4. *Wen Z. B., Zhang M. L., Zhu G. L. et al.* – Plant Syst. Evol. 2010. V. 288. P. 25-42.
5. *Тахтаджян А. Л., Мулкиджанян Я. И.* В кн.: Флора Армении. Тахтаджян А. Л. (ред.). Т. 2. Ереван. 1956. С. 222-393.
6. *Акопян Ж. А.* Биолого-морфологические особенности и таксономический состав семейства маревых (Chenopodiaceae Vent.) в Южном Закавказье. Автореф. докт. дис. Ереван. 2013. 49 с.
7. *Tatanyan K., Arevshatyan I., Fayvush G. et al.* The Red Book of Plants of the Republic of Armenia (Higher plants and Fungi). Erevan. Zangak. 2010. 598 p.
8. *Сухоруков А. П., Байков К. С.* – Бот. журн. 2009. Т. 94. № 10. С. 1439-1463.
9. *Ильин М. М.* В кн.: Флора СССР. Комаров В. Л. (ред.). Т. 6. М. – Л. 1936. С. 2-354; 873.
10. *Клышев Л. К.* Биология анабазиса безлистного *Anabasis aphylla* L. Алма-Ата. Изд-во АН КазССР. 1961. 350 с.
11. *Пратов У.* – Узб. биол. журн. 1976. № 3. С. 45-50.
12. *Васильева А. Н.* – Бот. материалы Герб. Ин-та бот. АН КазССР. 1977. Вып. 10. С. 15-23.
13. *Сухоруков А. П.* Карпология семейства Chenopodiaceae в связи с проблемами филогении, систематики и диагностики его представителей. 2014. Тула. 400 с.
14. *Аветисян Е. М., Манукян Л. К.* В кн.: Флора Армении. Тахтаджян А. Л. (ред.). Т. 2. Ереван. 1956. 520 с.
15. *Цимбалюк З. М.* Паліноморфологія представників родини Chenopodiaceae Vent. (для цілей систематики й спорово-пилкового аналізу). Автореф. канд. дис. 2005. 21 с.
16. *Punsalpaamuu G., Schluetz F., Gegeensuvd Ts. et al.* – Erforsch. biol. Ress. Mongolei (Halle/Saale). 2012 (12). P. 429-436.
17. *Assadi M., Hamdi S. M. M., Fajani F.* – Bangladesh J. Plant Taxon. 2016. V. 23. № 2. P. 247-253.
18. *Lu K. Q., Li M., Wang G. H. et al.* – Journal of Systematics and Evolution (JSE). 2018. V. 57. Iss. 2. P. 190-199.
19. *Այրաпетян А. М., Сосян А. О.* – Takhtajania. 2020. Вур. 6 Биолог. журн. Армении. 2021. Т. 73. Вып. 6. С. 47-63.
20. *Angelini P., Bricchi E., Gigante D. et al.* – Fl. Medit. 2014. V. 24. P. 247-272.
21. <https://microsoft-excel-2016.ru.softonic.com>
22. *Gomes F. P.* Curso de estatística experimental. Nobel, São Paulo. 1985. 467 p.
23. *Sonyan H. H.* – Electronic Journal of Natural Sciences (eJNS) of NAS RA of Armenia. 2020. V. 34. Iss. 1. P. 18-21.
24. *Sonyan H. H., Hayrapetyan A. M.* – Electronic Journal of Natural Sciences (eJNS) of NAS RA of Armenia. 2021. V. 36. Iss. 1. P. 4-8.



виды *Zygophyllum fabago* и *Gypsophylla bicolor* с мясистыми листьями, склерофильные ксерофиты из родов *Jauberia*, *Cousinia*, *Acanthophyllum*, железистые ксерофиты из родов *Haplophyllum*, *Cleome*, растения с солевывделяющими листьями из родов *Reamuria*, *Limonium* и др. [10, 8].

Целью нашего исследования было выявление некоторых физиологических особенностей шести редких видов растений (*Salsola cana*, *Salsola tomentosa*, *Amberboa moschata*, *Centaurea erivanensis*, *Actinolema macrolema*, *Szovisia callicarpa*), произрастающих на территории гипсофильной формации (Вохчаберд, Зовашен, Вардашен, Эребунийский хребет) и выращиваемых в условиях *ex situ* в Ереванском ботаническом саду. Сравнительный анализ полученных данных позволяет оценить как степень их приспособленности к экстремально-аридным условиям, так и степень экологической пластичности при перенесении их в близкие, но отличные условия Ереванского ботанического сада. В дальнейшем эти данные могут помочь и при оценке уязвимости этих видов от прогнозируемого изменения климата [11].

Физиология редких и исчезающих видов гипсофильных растений Араратской равнины почти не изучена как в природных, так и искусственных условиях. Эколого-физиологические исследования растений в крайних условиях их существования занимают важное место в общей проблеме изучения приспособления растений к неблагоприятным факторам среды.

Гипсофильные пустыни занимают в Армении небольшую площадь, принимая во внимание их оригинальность и флористическую насыщенность, на экспозиционном участке «Флора и растительность Армении» Ереванского ботанического сада по инициативе выдающихся армянских ботаников А. К. Магакьяна, А. А. Ахвердова, Н. В. Мирзоевой [12, 13] была создана отдельная куртина «Флора гаммады».

**Материал и методика.** Для эколого-физиологических исследований нами были выбраны шесть видов растений (*Salsola cana*, *Salsola tomentosa*, *Amberboa moschata*, *Centaurea erivanensis*, *Actinolema macrolema*, *Szovisia callicarpa*), произрастающие в составе гипсофильной растительности (Вохчаберд, Зовашен, Вардашен, Эребунийский хребет).

*Salsola cana* и *Salsola tomentosa* – полукустарники. В Армении известны из Ереванского (Аревшат, Армавир, Зовашен, Гарни, Веди, Шаумян, Ерасх) флористического района. Кроме Армении встречаются в Нахичеване, Туркменистане, Афганистане и Северном Иране. В Армении произрастают в нижнем горном поясе на высоте 800-1200 м над ур. м., на гипсоносных глинах, каменистых, солонцеватых склонах, в полупустыне. В Красную книгу Армении [3] включены в категории «находящийся под угрозой исчезновения» (EN).

*Amberboa moschata* – однолетнее травянистое растение. В Армении вид известен из Ереванского (окрестности Еревана) флористического района. Кроме Армении произрастает в Нахичеване и Северо-восточной Анатолии. В Армении произрастает в предгорьях и нижнем горном поясе

на высоте 600-1500 м над ур. м., на сухих глинистых, гипсоносных, щебнистых, каменистых местах, в полынной полупустыне, гаммаде, в посевах. В Красную книгу Армении [3] включен в категории «находящийся под угрозой исчезновения» (EN).

*Centaurea erivanensis* – многолетнее травянистое растение, в Армении известно из Ереванского (Ереван, Шорахпюр, Зовашен, Гехадир, Енгиджа, Урцский хребет, Эребунийский заповедник) флористического района. Кроме Армении известно одно местообитание в Нахичеване (Азнаберт), а также в Турецкой Армении и Северо-Западном Иране. В Армении произрастает в нижнем, среднем и верхнем горных поясах на высоте 700 – 1800 (2000) м над ур. м., на сухих каменистых, глинистых или гипсоносных, солонцеватых склонах, в полынной или галянтиевой полупустыне, горной степи, среди фриганоидной растительности или в гаммаде, в трагакантиках. В Красную книгу Армении [3] включен в категории «уязвимый вид» (VU).

*Actinolema macrolema* – однолетнее травянистое растение, в Армении встречается в Ереванском флористическом районе (Урцский хребет, окр. Вохчаберда). Кроме Армении произрастает во Внутренней Анатолии, Северном Ираке, Северо-Западном Иране, Сирийской пустыне. Произрастает в нижнем горном поясе на высоте 800-100 м над ур. м., на сухих глинистых склонах, в посевах, полупустыне и сухих вариантах степей. В Красную книгу Армении [3] включен в категории «находящийся под угрозой исчезновения» (EN).

*Szovisia callicarpa* – однолетнее травянистое растение, в Армении встречается в Ереванском флористическом районе (Эребунийский заповедник, окр. Нубарашена, Вохчаберда и Шорбулаха). Кроме Армении произрастает в Карабахе, Нахичеване, Восточной Анатолии, Северо-Западном Иране. Произрастает в нижнем и среднем горных поясах на высоте 900-1500 м над ур. м., на сухих каменистых и глинистых склонах, на третичных красных глинах, солонцеватых местах, в полупустыне и степях. В Красную книгу Армении [3] включен в категории «находящийся под угрозой исчезновения» (EN).

Эколого-физиологические исследования проводились в 2016-2020 гг. на предварительно выбранных пробных площадках на территории гипсофильной формации (Вохчаберд, Зовашен, Вардашен, Эребунийский хребет) и на экспозиционном участке «Флора и растительность Армении» Ереванского ботанического сада. Исследования проводились в 4-6-кратной повторности, в период интенсивного роста растений. Определялись параметры водного режима растений, интенсивность транспирации и фотосинтеза. Физиологические исследования проводились по общепринятым методикам [14].

**Результаты и обсуждение.** Гипсофильные местообитания Армении, находящиеся в Ереванском флористическом районе, характеризуются климатическими показателями, близкими к таковым Ереванского ботанического сада. Годичная сумма осадков здесь составляет 300-365 мм, средне-

годовая температура + 11°C, средняя температура воздуха 24-26°C летом и -5(-8)°C зимой, среднегодовая относительная влажность воздуха 59%. При этом абсолютный минимум температуры в ботаническом саду на 2-3°C ниже, чем на Араратской равнине [11]. Сохранение редких видов растений в культуре возможно лишь при условии сохранения большей части компонентов природной экосистемы, в которой вид произрастает, и включения в моделируемое сообщество соответствующих элементов биогеоценозов, свойственных естественным местообитаниям. Один из важных ограничивающих факторов для выращивания гипсофильных растений в условиях культуры – эдафический. На территории участка «Флора и растительность Армении» почвы среднесиловые, тяжело-суглинистые, карбонатные и среднекаменистые, подпочва представлена туфами. Для создания куртины «Флора гаммады» специально была привезена глинистая, богатая сульфатами и содержащая кристаллы гипса почва [15,11]. Одним из важнейших физиологических показателей, приобретенных растениями в течение продолжительного периода существования в одних и тех же условиях и отражающих процесс адаптации, является водный режим [16, 17]. Показатели водного режима, интенсивности транспирации и фотосинтеза исследованных нами растений приведены в таблице.

Как видим, на участке «Флора и растительность Армении» Ереванского ботанического сада, в отличие от природных местообитаний, исследованные растения отличаются более высоким содержанием общей воды, что, согласно К.А. Ахматову [18], является показателем хорошей приспособленности растений. Однако следует отметить, что в условиях Ереванского ботанического сада исследованные виды при постоянном, но умеренном поливе развиваются нормально. При этом в Ереванском ботаническом саду у всех исследованных растений отмечен более низкий водный дефицит. Учитывая произрастание исследуемых растений исключительно в ксерофитных условиях, можно предположить, что у них выработались соответствующие структурные и метаболические приспособительные механизмы, сокращающие расход воды. Как известно, гипс является очень активной солью, вбирает в себе воду и создает возможность существования растительности в условиях крайней физической сухости, летом глина совершенно высыхает и растрескивается, поэтому многолетники могут переносить летнюю засуху, лишь имея подземные запасающие органы [8]. Ксерофитная структура всегда связана с высокой концентрацией клеточного сока и повышенным осмотическим давлением, из-за чего растения-ксерофиты лучше поглощают доступную воду. Кроме того, в их клетках работают гидрофильные коллоиды, которые могут связывать воду и сохранять водные ресурсы для экономичной транспирации [19]. Большинство ксерофитных растений имеют типичный C<sub>4</sub> фотосинтез, осуществляющийся при закрытых днем устьицах, что уменьшает потери воды в ходе транспирации. Основной причиной сокращения потребления воды у C<sub>4</sub> растений является высокая устойчивость устьиц к диффузии газа. Благодаря высокой термостабильности таких растений интенсивность фо-

тосинтеза у них не падает, а потребление воды значительно сокращается, что указывает на высокую эффективность использования воды.

**Сравнительные показатели водного режима, интенсивности транспирации и фотосинтеза исследованных растений в условиях *in situ* и *ex situ***

Вид	Общая вода, % сыр. вес (М, м)	Водный дефицит, % на сыр. вес	Интенсивность транспирации, мг/г сыр. вес, ч	Интенсивность фотосинтеза, мг/дм <sup>2</sup> , час
<i>Amberboa moschata</i> (Бот. сад)	50.0±0.99	35.8±0.87	135.6±0.96	2.13±0.99
<i>Amberboa moschata</i> (Эребунийский хр.)	48.0±1.02	37.8±0/89	130.4±0.95	2.03±0.85
<i>Centaurea erivanensis</i> (Бот. сад)	43.0±0.96	43.5±0,84	148.1±0.98	2.06±0.96
<i>Centaurea erivanensis</i> (Вардашен)	42.0±1.04	44.7±0.91	146.3±0.96	2.02±0.87
<i>Actinolema macrolema</i> (Бот. сад)	38.0±0.98	36.7±0.82	106.7±0.99	2.71±0.96
<i>Actinolema macrolema</i> (Эребунийский хр.)	35.0±1.04	41.5±1.06	100.0±0.96	2.16±0.75
<i>Szovisia callicarpa</i> (Бот. сад)	29.0±0.97	38.4±0.82	102.9±0.94	1.86±0.86
<i>Szovisia callicarpa</i> (Эребунийский хр.)	30.0±0.99	39.6±0.99	100.8±0.89	1.82±0.73
<i>Salsola cana</i> (Бот. сад)	46.3±0.96	36.85±0.72	135.0±0.99	2.15±0.98
<i>Salsola cana</i> (Вардашен)	43.0±1.06	38.69±0.89	126.5±0.88	2.06±0.74
<i>Salsola tomentosa</i> (Бот. сад)	47.4±0.93	34.52±0.77	178.6±0.97	2.2±0.99
<i>Salsola tomentosa</i> (Вардашен)	44.8±0.92	37.35±0.81	168.5±0.78	2.08±0.66

Наши наблюдения показали, что в Ереванском ботаническом саду отмечаются более высокое содержание воды в растениях и интенсивность транспирации и фотосинтеза, а водный дефицит значительно снижался. В Ереванском ботаническом саду при благоприятных почвенно-климатических условиях при постоянном поливе гипсофильные растения зацветают в первый или во второй год развития из семян, в особенности полученных с растений, культивируемых в отделе.

При выращивании в условиях культуры растения плохо переносят пересадку из природных местообитаний, размножаются семенами (*Salsola cana*, *Salsola tomentosa*), а *Amberboa moschata* при нормальном поливе вторично зацветал. Благодаря повышению эффективности физиологических процессов это приводит к более интенсивному росту проростков растений в условиях Ереванского ботанического сада. Регулирование физиологического гомеостаза происходит благодаря сложным механизмам взаимодействия между отдельными факторами, что приводит к образованию уникальных физиологических комплексов, обеспечивающих рост и развитие растений [19].

Таким образом, мы считаем, что каждый из исследуемых видов в течение длительного периода приспособился к определенным условиям существования и занял определенную экологическую нишу, используя для этого свои механизмы регуляции водного режима и интенсивности транспирации и фотосинтеза. В условиях Ереванского ботанического сада исследованные виды при постоянном, но умеренном поливе нормально развиваются. Однако при этом все исследованные виды обладают определенной экологической пластичностью, что позволило им приспособиться к новым, отличающимся условиям в Ереванском ботаническом саду. В результате проведенного исследования редких и исчезающих гипсофильных видов растений выявлены их некоторые эколого-физиологические особенности, которые указывают на характер их адаптивной специализации к экстремальным климатическим и эдафическим условиям пустынь Араратской равнины.

Институт ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА  
e-mail: jannagevorg@mail.ru

**Ж. О. Овакимян**

#### **Эколого-физиологические особенности некоторых редких видов гипсофильных растений Араратской равнины**

Для эколого-физиологических исследований было выбрано 6 редких гипсофильных видов: *Salsola cana*, *Salsola tomentosa*, *Amberboa moschata*, *Centaurea erivanensis*, *Actinolema macrolema*, *Szovisia callicarpa*, включенных в Красную книгу РА, которые растут в гипсофильной формации (Вохчаберд, Зовашен, Вардашен, Эребунийский хребет) Араратской равнины и на экспозиционном участке «Флора и растительность Армении» Ереванского ботанического сада. Определялись параметры водного режима растений (общая вода, водный дефицит), интенсивность транспирации и фотосинтеза. В результате проведенного исследования редких и исчезающих гипсофильных видов растений выявлены некоторые эколого-физиологические особенности, которые указывают на характер их адаптивной специализации к экстремальным климатическим и эдафическим условиям пустынь Араратской равнины.

## Ժ. Հ. Հովակիմյան

### Արարատյան հարթավայրի որոշ հազվագյուտ գիպսոֆիլ բուսատեսակների Էկոլոգաֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունները

Էկոլոգաֆիզիոլոգիական ուսումնասիրությունների համար ընտրվել են ՀՀ Կարմիր գրքում գրանցված հետևյալ գիպսոֆիլ 6 հազվագյուտ բուսատեսակները. *Salsola cana*, *Salsola tomentosa*, *Amberboa moschata*, *Centaurea erivanensis*, *Actinolema macrolema*, *Szovisia callicarpa*, որոնք աճում են Արարատյան հարթավայրի գիպսոֆիլ բուսական համակեցություններում (Ողջաբերդ, Զովաշեն, Վարդաշեն և Էրեբունի պետական արգելոց) և Երևանի բուսաբանական այգու «Հայաստանի ֆլորա և բուսականություն» փորձարարական հողամասում: Որոշվել են բույսերի ջրային ռեժիմի ցուցանիշները (ընդհանուր ջուր, ջրային անբավարարություն), տրանսպիրացիայի և ֆոտոսինթեզի ինտենսիվությունը: Հազվագյուտ և վտանգված գիպսոֆիլ բուսատեսակների ուսումնասիրության արդյունքում պարզվել են որոշ էկոլոգաֆիզիոլոգիական առանձնահատկություններ, որոնք բացահայտում են այդ տեսակների հարմարվողականության բնույթը Արարատյան հարթավայրի անապատային էքստրեմալ կլիմայական և էդաֆիկ պայմաններում:

**J. H. Hovakimyan**

### **Ecologo-Physiological Features of Some Rare Gypsophilous Plant Species of the Ararat Plain**

For eco-physiological studies, 6 rare gypsophilous species were selected: *Salsola cana*, *Salsola tomentosa*, *Amberboa moschata*, *Centaurea erivanensis*, *Actinolema macrolema*, *Szovisia callicarpa*. These species are included in the Red Data Book of plants of RA. They are growing in gypsophilous formations (Vokhchaberd, Zovashen, Vardashen, Erebuni range) of Ararat plain and on the exposition plot «Flora and Vegetation of Armenia» of the Yerevan Botanical Garden. The parameters of the water regime of these species (water, water deficit), the intensity of transpiration and photosynthesis were determined. As a result of the study of these species, some ecological and physiological features were revealed, which indicate the nature of their adaptive specialization to the extreme climatic and edaphic conditions of the deserts of the Ararat plain.

#### **Литература**

1. Fifth National report to Convention on Biological Diversity. 2014. Yerevan. 126 p.
2. *Aghasyan A., Kalashyan M.* (eds.). Second edition: The Red Book of Animals of the Republic of Armenia. Yerevan. 2010. 368 p.
3. *Tamanyan K., Fayvush G., Nanagulyan S. et al.* (eds.). The Red Book of Plants of the Republic of Armenia. Higher Plants and Fungi. 2<sup>th</sup> edition. Yerevan. 2010. 592 p.
4. *Asatryan A., Fayvush G.* Important Plant Areas Representing the Rare and Threatened Habitat Types of Armenia. Yerevan. 2013. 78 p.
5. *Fayvush G., Tamanyan K., Kalashyan M. et al.* 2013. – Ann.Naturhist. Mus. Wien, B. V. 115. P. 11-20.

6. Таманян К. Г., Файвуш Г. М. В кн.: Флора, растительность и растительные ресурсы Армении. Ереван. 2009. Вып. 17. С. 78-81.
7. Файвуш Г. М., Балоян С. А., Варданян Ж. А. и др. – Тахт. 2011. Т. 1. С. 185-189.
8. Тахтаджян А. Л., Федоров Ан. А. Флора Еревана. Л. Наука. 1972. 394 с.
9. Файвуш Г. М., Алексанян А. С. Местообитания Армении. Ереван. 2016. 360 с.
10. Тахтаджян А. Л. Ботанико-географический очерк Армении. Тр. Бот. ин-та Арм. филиала АН СССР. Вып. 2. С. 1-180.
11. Акопян Ж. А., Овакимян Ж. О., Паравян З. М. – Биол. журн. Армении. 2017. Т. 69. № 3 С. 39-46.
12. Ахвердов А. А., Мирзоева Н. В. – Бюл. Ботанического сада АН Арм. ССР. 1961. № 18. С. 35–52.
13. Барсегян А. М. Водно-болотная растительность Армянской ССР. Ереван. Изд-во АН АрмССР. 1990. Ереван. 354 с.
14. Сальников А. И., Маслов И. Л. Физиология и биохимия растений: практикум. Пермь. Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. 2014, 300 с.
15. Акопян Ж. А. В кн.: Матер. междунар. конф. «Актуальные проблемы ботаники в Армении». Ереван. 2008. С. 53–56.
16. Гусев Н. А. Состояние воды в растений. М. Наука. 1974, 134 с.
17. Куширенико М. Д. Водный обмен и адаптация растений к засухе. Алма-Ата. 1988. 474 с.
18. Ахматов К. А. Адаптация древесных растений к засухе. Фрунзе. Илим. 1976. 199 с.
19. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости растений. М. Наука. 1982. 280 с.



При обработке и идентификации костей птиц была использована коллекция скелетов из фондов лаборатории зоологии позвоночных животных Института зоологии НАН РА.

Основная масса костных остатков принадлежит птицам, приспособленным к водному образу жизни (лебеди, гуси, утки) [1], а также воробьинообразным (вороны, скворцы, вьюрки, жаворонки и ласточки). Более редки куриные (перепел, каменная и серая куропатки) и соколообразные (пустельга, беркут и скопа); виды других отрядов единичны (поганки, кулики, бакланы). Анализ костного материала из Двина, Аргиштихинили, Лчашена свидетельствует, что водно-болотные птицы уже в глубокой древности имели широкое распространение как ценный объект охоты. Судя по сохранности костей, гуси и утки употреблялись в пищу в вареном виде, т.к. на костях нет следов обжига. Несмотря на то, что мясо у них жесткое и невкусное, они и поныне имеют промысловое значение, а древние модницы, видимо, употребляли их шкурки для отделки одежды.

Трактаты средневековых армянских врачей и естествоиспытателей свидетельствуют, что больше всего населением древней Армении использовались такие редкие и ценные объекты охоты, как лебедь-шипун, серый гусь, большая поганка, кряква, дрофа (мясо съедобное, но низкого качества, а шкурка идет на изготовление ковров и отделку одежды). Отдельные части и органы утки, дрофы и гуся с древности использовались для изготовления разнообразных лекарственных средств и снадобий [2]. Гусиное мясо, печень и жир считались целебными. Врачи рекомендовали гусиное мясо очень истощенным. Считалось, что оно улучшает голос и цвет лица, а печень “оздоравливает” кровь. Растопленный гусиный жир “снимает боль и шум в ушах”, “исцеляет от болей в суставах” и помогает при отморожении. Мясо, жир и печень утки имели то же применение, а кроме того считалось, что “кровь утки приостанавливает длительный понос” и, что особенно важно, “нейтрализует действие ранее принятой смертельной дозы лекарства”[3].

Не вызывает сомнения использование серого журавля и куликов. Вполне возможно, что мелкие воробьиные птицы (скворцы и жаворонки) во время значительных недостатков продуктов, например, во время осады города, также использовались в пищу. Наличие в материалах беркута позволяет предположить, что он приручался с целью дальнейшего использования на охоте.

Шире охватить затронутую тему позволили изображения птиц на наскальных рисунках Гегамских, Сюникских, Вардениских и других гор и хребтов. В огромном множестве зооморфных изображений на наскальных рисунках армянских гор встречаются своеобразные и колоритные образы птиц. На скальных полотнах легко узнаваемы лебеди, утки, гуси, пеликан и баклан. На одном камне изображены 4 водоплавающие птицы: баклан, гусь, пеликан и утка, на другом – пара лебедей на взлете: птицы подались вперед, вытянув шеи и подняв крылья [4]. И это не случайно, ведь ими изобиловали в старину оз.Севан и мелкие высокогорные озера. В

ритуальных сценах вместе с другими животными изображен журавль. Изображения птиц либо мало стилизованы, либо полностью лишены стилизации: голова и шея приближаются к натуре, ноги подобраны или согнуты под животом, иногда целиком свисают в воздухе, фигуры имеют вид водоплавающих птиц – утки, гуся или лебедя, изображениями которых изобилует расписная керамика среднебронзового века.

В декоративном искусстве прошлых эпох внимание привлекают керамические сосуды с зооморфными мотивами: керамическая чаша XIII в. из Двина с изображением аиста, держащего в клюве змею; комплекс расписных сосудов из некрополя эпохи средней бронзы Неркин Навер. На обнаруженных расписных сосудах (более 60) черной краской по красному фону по всему периметру парами и стаями изображены птицы. При определенной доле стилизации их можно идентифицировать с дрофой, фазаном, уткой, журавлем [5].

В погребальных комплексах позднебронзового и железного веков северо-восточной Армении, в некрополях Арсакарского могильника и Астхилурской крепости [6], привлекают внимание сосуды в виде утки. Говоря о сосудах в форме птицы, нельзя не вспомнить о многочисленных подвесках в виде водоплавающей птицы, закрепленных на ажурных якоробразных подставках с помощью яблочка-шарнира, широко известных из погребальных комплексов позднебронзового и железного веков (Лчашен, Артик, Шамшадин и др.). Одни фигурки украшали дышла повозок, другие, возможно, служили украшениями святилищ и молелен, третьи являлись амулетами, призванными оберегать от злых духов. Известно большое количество различных ажурных подвесок-амулетов в виде птиц, украшенных клиновидными и овальными выемками (в их пустотелые фигурки были заложены металлические шарики, издававшие мелодичный звон при движении для отпугивания "злых духов") [7] погребений эпохи железа. Нет никакого сомнения в том, что глиняные, каменные и бронзовые фигурки имели не только декоративное, но и культовое назначение. Ныне это просто великолепные вещи, безжизненные трофеи ушедшего мира, давно утратившие свои первичные функции. Можно только гадать или пытаться реконструировать, чем руководствовались создатели наскальных рисунков, статуэток, бронзовых поясов и наверший, какой смысл хотели они вложить в эти чудесные предметы.

Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА, Институт зоологии  
e-mail: ninna\_man@yahoo.com

**Н. У. Манасерян, Л.В. Балян**

### **Авифауна древней и средневековой Армении**

Представлены итоги исследования остеологических остатков птиц из раскопок археологических памятников Армении, а также изображений птиц на на-

скальных рисунках и в декоративном искусстве. Глиняные и бронзовые статуэтки птиц, представленные в работе, имеют декоративное и культовое значение, а разнообразие форм указывает на их использование в качестве украшений святылиц и часовен, амулетов и др.

**Ն. Հ.Մանասերյան, Լ. Վ. Բալյան**

### **Հին և միջնադարյան Հայաստանի թռչնաֆաունան**

Ներկայացված են թռչունների ոսկրաբանական նյութերի ուսումնասիրության արդյունքները, որոնք արտացոլված են պեղումներից հայտնաբերված ժայռապատկերներում և հնագույն դեկորատիվ արվեստում: Ուսումնասիրված կավե, քարե և բրոնզե արձանիկներն ունեն ինչպես դեկորատիվ, այնպես էլ պաշտամունքային նշանակություն, որոնց ձևային բազմազանությունը վկայում է դրանց որպես սրբավայրերի, մատուռների, հմայիլների համար զարդարանք օգտագործելու մասին:

**N. H. Manaseryan, L. V. Balyan**

### **Avifauna of Ancient and Medieval Armenia**

The current paper presents findings of osteological research of bird remains excavated from the archaeological sites of Armenia, and is also based on rock paintings and decorative art. The clay and bronze figurines of birds presented in this research have both decorative and totemic significance, and the variety of forms indicates their use in decorating sanctuaries and chapels, amulets and more.

### **Литература**

1. *Բալյան Լ. Վ., Մանասերյան Ն. Մ.* В кн.: Материалы Международной научной конференции «Биологическое разнообразие и проблемы охраны фауны Кавказа -2». Ереван 2014, С. 66-69.
2. *Օганեսյան Լ. Ա.* История медицины в Армении. Ереван. 1946. 266.
3. *Ամիրдовлат Ամասիаци.* Ненужное для неучей. (Научное наследство. Т. 13). Пер. с арм. С. А. Варданян. М. Наука. 1990. 879 с.
4. *Մարտիրոսյան Ա. Ա.* Наскальные изображения Гегамских гор. Археологические памятники Армении. 11. 3. Изд. АН АрмССР. Ереван. 1981. 81 с.
5. *Manaseryan N., Balyan L., Simonyan H.* In: 7th Meeting of the ICAZ Bird Working Group. Iași, Romania. 2012. P. 30.
6. *Եսայան Ս. Ա.* Древняя культура племен северо-восточной Армении. Ереван. Изд-во АН АрмССР. Ереван. 268 с.
7. *Խачатրյան Թ. Շ.* Древняя культура Ширака. Изд-во ЕГУ. 1975. 275 с.

## Կանոններ հեղինակների համար

1. «Հայաստանի գիտությունների ազգային ակադեմիայի Զեկույցներ» հանդեսը լույս է տեսնում տարեկան չորս անգամ, գետեղում է գիտական հետազոտությունների նոր, ոչ մի տեղ չիրապարակված արդյունքներ պարունակող համառոտ, յուրօրինակ հոդվածներ:
2. ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոսները, թղթակից անդամները և արտասահմանյան անդամները իրենց հոդվածները ներկայացնում են անմիջականորեն: Մյուս բոլոր հոդվածները ներկայացվում են ՀՀ ԳԱԱ անդամների միջոցով:
3. Հոդվածները կարելի է ներկայացնել հայերեն, ռուսերեն կամ անգլերեն լեզվով: Այդ երեք լեզվով պետք է ներկայացնել նաև ռեֆերատ:
4. Ներկայացվում է հոդվածի էլեկտրոնային տարբերակը (CD/DVD-ով կամ e-mail-ով՝ [mas@sci.am](mailto:mas@sci.am)) երկու տպագիր օրինակով՝ վերջնական խմբագրությամբ: Հոդվածի ընդհանուր ծավալը՝ 8 էջ (12000 նիշ): Օգտագործվող տեքստային խմբագիրը՝ MS Word, տառաչափը՝ 12 pt, տողերի միջև հեռավորությունը՝ 1.5: Նկարները ներկայացվում են առանձին ֆայլով bmp կամ wmf ֆորմատով:

*Հանդեսի համառոտ անունը՝  
ՀՀ ԳԱԱԶ*

### *Правила для авторов*

1. «Доклады Национальной академии наук Армении» выходят 4 раза в год и помещают краткие оригинальные статьи, содержащие новые, нигде не опубликованные результаты научных исследований.
2. Академики, члены-корреспонденты и иностранные члены НАН РА представляют свои статьи непосредственно, все остальные статьи представляются через членов НАН РА.
3. Статьи могут быть представлены на армянском, русском или английском языках; должны быть представлены также рефераты на этих трех языках.
4. Представляется электронный вариант статьи (на CD/DVD или по e-mail: [mas@sci.am](mailto:mas@sci.am)) с двумя распечатками в окончательной редакции. Общий объем статьи не должен превышать 8 стр. (12000 знаков). Используемый текстовый редактор MS Word, кегль 12 pt, интервал 1.5.
5. Рисунки представляются отдельными файлами в формате bmp или wmf.

**Сокращенное название журнала  
ДНАН РА**

### *Guidelines for Authors*

1. "The Reports of the National Academy of Sciences of Armenia" are published four times a year and place brief original articles containing new results of scientific researches, which were not printed previously.
2. Academicians, Corresponding Members and foreign members of NAS RA submit their articles directly. All other articles are submitted through the Members of NAS RA.
3. Articles may be presented in Armenian, Russian or English languages. It must have been presented the abstracts in these three languages as well.
4. It should be presented the complete editing of the electronic variant of the article (CD/DVD or by e-mail: [mas@sci.am](mailto:mas@sci.am)) and two hard copies. The whole size of the article should not exceed 8 pages (12000 marks). MS Word would be used as a text editors, font size – 12 pt, line spacing – 1.5.
5. Pictures should be presented by the separate files in bmp or wmf formats.

*The abbreviated name of the journal is  
RNAS RA*