

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

ISSN 0321-1339

ՁԵՎՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

Համար
Том
Volume

121 № 4

Երևան

2021
Երևան

Yerevan

ՁԿԸ 191

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ

ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ

ՀԱՏՈՐ 121

№ 4



ՀՀ ԳԱԱ «ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ» ՀՐԱՏԱՐԱԿԶՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆ 2021

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF ARMENIA

ДОКЛАДЫ REPORTS

ТОМ 121
VOLUME

№ 4

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. ԲԱԴԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ. Ս. ԶԱԲԱՐՅԱՆ, 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. Հ. ՇՈՒԿՈՒՐՅԱՆ, Գ.Ա.ԱԲՐԱՀԱՄՅԱՆ (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

© НАН РА. Президиум. 2021

© Издательство “Гитутюн”

НАН РА. 2021

Հայաստանի ԳԱԱ Զեկույցներ

Հատոր 121, N 4 2021

Հրատ. պատվեր N 1116

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

Համակարգչային էջադրումը՝ Վ. Պապյանի

**Ստորագրված է տպագրության
03.09.2021**

Ծավալը՝ 5,25 տպ. մամուլ: Տպաքանակը՝ 150: Գինը՝ պայմանագրային:
ՀՀ ԳԱԱ «Գիտություն» հրատարակչության տպարան
Երևան, Մարշալ Բաղրամյան պող. 24

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

<i>Հ. Մ. Գրիգորյան, Ա. Հ. Քամայան, Գ. Ա. Կիրակոսյան</i> – Կտոր առ կտոր անընդ- հատ մատրիցային սիմվոլով <i>Լ</i> -Վիներ – Հոպֆի օպերատորները աստիճանային կշռով լեբեգյան տարածություններում	259
--	-----

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

<i>Մ. Մ. Մխիթարյան</i> – Անսեղմելի մածուցիկ հեղուկով լցված կիսահարթության համար Լամբի տիպի խնդրի լուծման մասին	267
---	-----

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Լ. Ա. Աղալովյան, Մ. Լ. Աղալովյան, Տ. Վ. Ջաքարյան</i> – Կոշտ հենարանի վրա դրված երկշերտ օրթոտրոպ սալի եռաչափ դինամիկական խառը խնդրի լուծման մասին	279
---	-----

ԿԵՆՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Մ. Կ. Ջախարյան, Կ. Ա. Ավետիկովա, Զ. Հ. Գեվորգյան, Ա. Մ. Սեդրակյան</i> – Հա- յաստանում հիվանդներից անջատված ոչ տիֆոիդ սալմոնելաների իզոլյատների արտազատման պոմպերը	288
--	-----

ԲՆԱՊԱՀՊԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ռ. Մ. Հարությունյան, Ռ. Ե. Ավայան, Ա. Լ. Աթոյանց, Է. Ա. Աղաջանյան, Բ. Կ. Գաբրիելյան</i> – Սևանա լճից ջրի նմուշների կենսաթեստավորում ջրի ծաղկման ժա- մանակ և ցեղիտով մշակումից հետո մոդելային թեստ օբյեկտի կիրառմամբ	294
---	-----

ԲՈՒՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ժ. Ա. Հակոբյան, Ա. Գ. Ղուկասյան, Ժ. Հ. Հովակիմյան</i> – Արարատյան հարթավայ- րի ռելիկտային աղակալած ճահիճների պահպանման խնդիրները և էկոլոգաֆիտոցե- նոտիկ գնահատականը	302
<i>Ժ. Հ. Վարդանյան, Ն. Ն. Մուրադյան, Ա. Ա. Գրիգորյան</i> – Ցեղային կոմպլեքսի մե- թոդով դենդրոհավաքածուների ստեղծման առանձնահատկությունները և դրանց հետագա հարստացման հեռանկարները Հայաստանի բուսաբանական այգիներում	310
<i>Ժ. Հ. Հովակիմյան, Գ. Մ. Ֆայվուշ, Ժ. Հ. Վարդանյան</i> – Հայաստանի դենդրոֆլո- րայի որոշ հազվագյուտ ռելիկտային ներկայացուցիչների էկոլոգիական հարմար- վողականությունը <i>in situ</i> և <i>ex situ</i> պայմաններում	321
<i>Ա. Մ. Հայրապետյան, Ա. Հ. Մուրադյան</i> – Նոր տվյալներ Հայաստանի ֆլորայի (Iridaceae) <i>Gladiolus kotschyanus</i> Boiss ծաղկափոշու մորֆոլոգիայի վերաբերյալ	333

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

<i>Տ. Կ. Հարությունյան</i> – Բազուլատերալ ամիգդալի նեյրոններում գրգռիչ և արգելա- կիչ սինապտիկ գործընթացների հարաբերակցությունը ինֆրալիմբիկ կեղևի ակտի- վացման պայմաններում	340
--	-----

ԲԱՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ա. Մ. Սահակյան</i> – Ազաթանգեղոսի խմբագրությունների տիպաբանություն	346
---	-----

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Г. С. Григорян, А. Г. Камалян, Г. А. Киракосян* – Операторы $\mathcal{L}$ -Винера–Хопфа с кусочно-непрерывным матричным символом в лебеговых пространствах со степенным весом 259

МЕХАНИКА

- С. М. Мхитарян* – О решении плоской задачи типа Ламба для полуплоскости, заполненной несжимаемой вязкой жидкостью 267

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- Л. А. Агаловян, М. Л. Агаловян, Т. В. Закарян* – О решении трёхмерной динамической смешанной задачи двухслойных ортотропных пластин, лежащих на жесткой подстилке 279

БИОЛОГИЯ

- М. К. Захарян, К. А. Аветикова, З. У. Геворгян, А. М. Седракан* – Эффлюкс системы изолятов нетифондных сальмонелл, выделенных от больных в Армении 288

ЭКОЛОГИЯ

- Р. М. Арутюнян, Р. Э. Авалян, А. Л. Атоянц, Э. А. Агаджанян, Б. К. Габриелян* – Биотестирование водных проб оз. Севан в период цветения воды и после обработки цеолитом с применением модельного тест-объекта 294

БОТАНИКА

- Ж. А. Акопян, А. Г. Гукасян, Ж. О. Овакимян* – Эколого-фитоценотическая оценка и задачи сохранения реликтовых засоленных болот Араратской равнины 302

- Ж. А. Варданян, Н. Н. Мурадян, А. А. Григорян* – Особенности создания дендроколлекций методом родовых комплексов в ботанических садах Армении и перспективы дальнейшего их обогащения 310

- Ж. О. Овакимян, Г. М. Файеуш, Ж. А. Варданян* – Экологическая приспособляемость некоторых редких реликтовых представителей дендрофлоры Армении в условиях *in situ* и *ex situ* 321

- А. М. Айрапетян, А. Г. Мурадян* – Новые данные к морфологии пыльцы *Gladiolus kotschyanus* Boiss. (Iridaceae) флоры Армении 333

ФИЗИОЛОГИЯ

- Т. К. Арутюнян* – Соотношение возбуждательных и тормозных синаптических процессов в нейронах базолатеральной амигдалы при активации инфралимбической коры 340

ФИЛОЛОГИЯ

- А. С. Саакян* – Типология редакций Агафангела 346

CONTENTS

MATHEMATICS

- H. S. Grigoryan, A. G. Kamalyan, G. A. Kirakosyan* – $\mathcal{L}$ -Wiener – Hopf Operators with Piecewise Continuous Matrix-Valued Symbol on Lebesgue Spaces with Power Weight 259

MECHANICS

- S. M. Mkhitarian* – On Solving a Plane Lamb-Type Problem for a Half-Plane Filled with an Incompressible Viscous Fluid 267

ELASTICITY THEORY

- L. A. Aghalovyan, M. L. Aghalovyan, T. V. Zakaryan* – On the Solution of the Three-Dimensional Dynamic Mixed Problem of Two-Layer Orthotropic Plates Lying on a Rigid Litter 279

BIOLOGY

- M. K. Zakharyan, K. A. Arakelova, Z. U. Gevorgyan, A. M. Sedrakyan* – Efflux Pumps in Non-Typhoidal Salmonella Isolates Recovered from Patients in Armenia 288

ECOLOGY

- R. M. Aroutiounian, R. E. Avalyan, A. L. Atoyants, E. A. Agajhanyan, B. K. Gabrielyan* – Biotesting of Water Samples from Lake Sevan during Water Bloom and after Treatment with Zeolite Using a Model Test Object 294

BOTANY

- J. A. Akopian, A. G. Ghukasyan, Zh. H. Hovakimyan* – Ecological-Phytocenotic Assessment and the Issues of Conservation of the Ararat Valley Relic Salt Marshes 302
- Zh. H. Vardanyan, N. N. Muradyan, A. A. Grigoryan* – Features of Creating Dendrological Collections by the Method of Generic Complexes in the Botanical Gardens of Armenia and Prospects for Further Their Enrichment 310
- Zh. H. Hovakimyan, G. M. Fayvush, Zh. H. Vardanyan* – Ecological Adaptability of Some Rare Relict Representatives of Armenian Dendroflora in *in situ* and *ex situ* Conditions ... 321
- A. M. Hayrapetyan, A. H. Muradyan* – New Data to the Pollen Morphology of *Gladiolus kotschyanus* Boiss. (Iridaceae) of the Flora of Armenia 333

PHYSIOLOGY

- T. K. Harutyunyan* – The Ratio of Excitable and Inhibitory Synaptic Processes in Basolateral Amygdala Neurons by Activation of Infralimbic Cortex..... 340

PHYLOGENY

- A. S. Sahakyan* – Typology of Editions of Agathangelos 346

МАТЕМАТИКА

УДК 517.9

Г. С. Григорян¹, А. Г. Камалян², Г. А. Киракосян³

Операторы $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа с кусочно-непрерывным матричным символом в лебеговых пространствах со степенным весом

(Представлено академиком А. Б. Нерсисяном 4/X 2021)

Ключевые слова: безотражательный потенциал, оператор $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа, матричный символ, оператор Фредгольма.

1. Введение. Понятия операторов $\mathcal{L}$ -свертки и $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа введены в [1]. В основе определения этих операторов лежит понятие спектрального преобразования оператора $\mathcal{L}$, самосопряженного в $L_2(\mathbb{R})$ и порожденного дифференциальным выражением

$$(\ell y)(x) = -y''(x) + v(x)y(x), \quad x \in \mathbb{R}, \quad (1.1)$$

где

$$\int_{-\infty}^{\infty} (1 + |x|)v(x)dx < \infty. \quad (1.2)$$

Операторы $\mathcal{L}$ -свертки и $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа в случае нулевого потенциала совпадают с классическими оператором свертки и оператором Винера – Хопфа. Для потенциалов $v \neq 0$ наиболее простую структуру операторы $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа имеют, когда v является безотражательным потенциалом, т.е. имеет представление

$$v(x) = -2 \frac{d^2 x}{dx^2} (\ln \Delta(x)), \quad (1.3)$$

где

$$\Delta(x) = \det \left[\delta_{ij} + \frac{m_i \exp(-(\lambda_i + \lambda_j)x)}{\lambda_i + \lambda_j} \right]_{i,j=1,\dots,N}, \quad (1.4)$$

δ_{ij} – символ Кронекера, λ_k, m_k ($k = 1, \dots, N$) – положительные числа, причем $\lambda_k \neq \lambda_j$ при $i \neq j$. В [2-5] изучены свойства фредгольмовости, полужредгольмовости и обратимости операторов $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа в случае безотражательного потенциала. Оператор $A: X \rightarrow Y$, где X, Y – банаховы пространства, называется фредгольмовым, если его образ замкнут (т.е. $\text{Im } A = \overline{\text{Im } A}$) и конечномерны его ядро $\ker A := \{x \in X; Ax = 0\}$ и коядро $\text{Coker } A := Y/\text{Im } A$. Число $\text{Ind } A := \dim \ker A - \dim \text{Coker } A$ называется индексом оператора A .

Ниже для линейного пространства (алгебры) X через X^n ($X^{n \times n}$) обозначается множество всех вектор-столбцов порядка n (матриц порядка $n \times n$) с элементами из X . Для линейного оператора $A: X \rightarrow Y$ (X, Y – линейные пространства) оператор $\text{diag}(A, \dots, A): X^n \rightarrow Y^n$ также будем обозначать через A . Через $m(a)$ будем обозначать действующий в функциональных пространствах оператор умножения на функцию (матриц-функцию) $a: m(a)y = ay$. Пусть $\mathbb{R} = \mathbb{R} \cup \{\infty\}$ и $\overline{\mathbb{R}} = \mathbb{R} \cup \{\pm\infty\}$ соответственно одноточечная и двухточечная компактификации $\mathbb{R}$. Через $PC := PC(\mathbb{R})$ будем обозначать алгебру кусочно-непрерывных функций на $\mathbb{R}$, т.е. функций a , для которых в каждой точке $x_0 \in \mathbb{R}$ существуют пределы $a(x_0 - 0) := \lim_{x \rightarrow x_0 - 0} a(x)$, $a(x_0 + 0) := \lim_{x \rightarrow x_0 + 0} a(x)$, причем $a(\infty - 0) := a(+\infty) = \lim_{x \rightarrow +\infty} a(x)$, $a(\infty + 0) := a(-\infty) = \lim_{x \rightarrow -\infty} a(x)$.

Пусть ρ – степенной вес, т.е. вес вида

$$\rho(x) = |x + i|^{\mu_\infty} |x|^{\mu_0} \prod_{j=1}^m |\alpha - \beta_j|^{\mu_j},$$

где $\mu_\infty, \mu_0, \mu_j, \beta_j \in \mathbb{R}$, $j = 1, \dots, n$, а $L_p(E, \rho)$, $1 < p < \infty$, – лебегово пространство с нормой

$$\|f\|_{p, \rho} := \left(\int_E |f(x)|^p \rho^p(x) dx \right)^{1/p},$$

где E либо $\mathbb{R}$, либо $\mathbb{R}_\pm = \{\pm x > 0; x \in \mathbb{R}\}$. Далее предполагается, что

$$\mu, \mu_0, \dots, \mu_m \in \left(-\frac{1}{p}; \frac{1}{q}\right),$$

где $\mu := \mu_\infty + \mu_0 + \mu_1 + \dots + \mu_m$, а $1/p + 1/q = 1$. Заметим, что это условие является необходимым и достаточным, чтобы ρ был весом Макенхаунта, т.е. удовлетворяло условию A_p :

$$\sup \left(\frac{1}{|\mathbb{I}|} \int_{\mathbb{I}} \rho(x)^p dx \right)^{1/p} \left(\frac{1}{|\mathbb{I}|} \int_{\mathbb{I}} \rho(x)^{-q} dx \right)^{1/q} < \infty,$$

где I пробегает все ограниченные интервалы вещественной переменной $\mathbb{R}$, а $|I|$ – длина интервала I (см., например, [6]). Важную роль в дальнейшем играют числа $\nu_\infty = 1/q - \mu$, $\nu_0 = 1/p + \mu_0$.

В [7] получен критерий фредгольмовости и вычислен индекс матричного оператора Винера – Хопфа в пространствах $L_p^n(\mathbb{R}_+, \rho)$ в случае кусочно-непрерывного символа.

В данной работе мы распространяем эти результаты на операторы $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа в случае произвольного безотражательного потенциала.

2. Оператор $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа. Рассмотрим дифференциальное выражение ℓ (см. (1.1)) с потенциалом v , удовлетворяющим (1.3), (1.4). Условие (1.2) выполняется автоматически. Собственные значения самосопряженного оператора Штурма – Лиувилля $\mathcal{L}$, порожденного дифференциальным выражением ℓ , совпадают с числами $\lambda_1, \dots, \lambda_N$ (см., например, [8]). Ортонормальная система собственных функций $\varphi_1, \dots, \varphi_N$ однозначно определяется системой линейных уравнений

$$\varphi_k(x) + \sum_{s=1}^N m_k m_s \frac{e^{-(\lambda_k + \lambda_s)x}}{\lambda_k + \lambda_s} \varphi_s(x) = m_k e^{-\lambda_k x}, \quad k = 1, \dots, N; \quad x \in \mathbb{R}.$$

Рассмотрим функции

$$\begin{aligned} u^-(x, \lambda) &= t(\lambda) e^{i\lambda x} \left(1 - \sum_{k=1}^N \frac{m_k e^{-\lambda_k x}}{\lambda_k - i\lambda} \varphi_k(x) \right), \\ u^+(x, \lambda) &= e^{-i\lambda x} \left(1 - \sum_{k=1}^N \frac{m_k e^{-\lambda_k x}}{\lambda_k + i\lambda} \varphi_k(x) \right), \quad x, \lambda \in \mathbb{R}, \end{aligned}$$

где коэффициент прохождения $t(\lambda)$ определяется равенством

$$t(\lambda) = \prod_{k=1}^N \frac{\lambda + i\lambda_k}{\lambda - i\lambda_k}.$$

Функции $u^\mp(x, \lambda)$ при каждом $\lambda \in \mathbb{R} \setminus \{0\}$ являются ограниченными решениями уравнения $\ell y = \lambda^2 y$ и порождают интегралы

$$(U_\mp y)(\lambda) = \int_{-\infty}^{\infty} u^\mp(x, \lambda) y(x) dx, \quad \lambda \in \mathbb{R},$$

которые сходятся по норме $L_2(\mathbb{R})$. Эти интегралы определяют ограниченные операторы $U_\mp: L_2(\mathbb{R}) \rightarrow L_2(\mathbb{R})$ (см. [1, 3, 8]).

Под спектральным преобразованием оператора $\mathcal{L}$ мы понимаем оператор

$$U := m(\chi_+) U_- + m(\chi_-) J U_+ : L_2(\mathbb{R}) \rightarrow L_2(\mathbb{R}),$$

где χ_+ (χ_-) – характеристическая функция $\mathbb{R}_+$ ($\mathbb{R}_-$), а $J: L_2(\mathbb{R}) \rightarrow L_2(\mathbb{R})$ – оператор, действующий по формуле $(Jy)(x) = y(-x)$. Оператор U удовлетворяет равенствам

$$U^*U = I - P, \quad UU^* = I,$$

где I – единичный оператор, а P – ортогональный проектор на подпространство $\text{span}\{\varphi_1, \dots, \varphi_n\}$. Кроме того, на всюду плотном в $L_2(\mathbb{R})$ множестве имеет место равенство $ULU^* = m(\lambda^2)$.

Будем считать, что $v = 0$ также является безотражательным потенциалом, соответствующим случаю $N = 0$. В этом случае оператор $U = U_{\pm}$ и совпадает с преобразованием Фурье $F: L_2(\mathbb{R}) \rightarrow L_2(\mathbb{R})$:

$$(Fy)(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\lambda x} y(x) dx.$$

Функцию $a \in L_{\infty}(\mathbb{R})$ назовем U -мультипликатором в $L_p(\mathbb{R}, \rho)$, если для каждого $y \in L_2(\mathbb{R}) \cap L_p(\mathbb{R}, \rho)$ функция $U^*m(a)Uy$ также принадлежит $L_2(\mathbb{R}) \cap L_p(\mathbb{R}, \rho)$ и кроме того при некотором постоянном $c > 0$ неравенство

$$\|U^*m(a)U\|_{p,\rho} \leq c\|y\|_{p,\rho}$$

имеет место одновременно для всех $y \in L_2(\mathbb{R}) \cap L_p(\mathbb{R}, \rho)$. Оператор $U^*m(a)U$ допускает непрерывное продолжение до действующего на $L_p(\mathbb{R}, \rho)$ ограниченного оператора, который мы будем обозначать через $W_{\mathcal{L}}^0(a)$ и называть оператором $\mathcal{L}$ -свертки на $L_2(\mathbb{R}, \rho)$ с символом a .

Множество U -мультипликаторов будем обозначать через $\mathcal{M}_{p,\rho,\mathcal{L}}$. Поскольку при $v = 0$ оператор U совпадает с преобразованием Фурье F , то в этом случае класс U -мультипликаторов совпадает с классом мультипликаторов Фурье $\mathcal{M}_{p,\rho}$ (см. [6]). Справедливо следующее утверждение.

Лемма 2.1. Пусть v – безотражательный потенциал и $\mathcal{L}$ – соответствующий самосопряженный оператор, порожденный дифференциальным выражением (1.1). Тогда справедливо включение $\mathcal{M}_{p,\rho} \subset \mathcal{M}_{p,\rho,\mathcal{L}}$.

Пусть теперь $a \in \mathcal{M}_{p,\rho,\mathcal{L}}^{n \times n}$. Тогда оператор $U^*m(a)U$ допускает непрерывное продолжение до ограниченного оператора, действующего на $L_p^n(\mathbb{R}, \rho)$, который мы также будем обозначать через $W_{\mathcal{L}}^0(a)$ и называть оператором $\mathcal{L}$ -свертки с матричным символом a .

Определим операторы $\pi_+^0: L_p(\mathbb{R}_+, \rho) \rightarrow L_p(\mathbb{R}, \rho)$, $\pi_+: L_p(\mathbb{R}, \rho) \rightarrow L_p(\mathbb{R}_+, \rho)$ по формулам $(\pi_+ y)(x) = y(x)$, $x \in \mathbb{R}_+$,

$$(\pi_+^0 y)(x) = \begin{cases} y(x) & x \in \mathbb{R}_+ \\ 0 & x \in \mathbb{R}_- \end{cases}.$$

Пусть $a \in \mathcal{M}_{p,\rho,\mathcal{L}}^{n \times n}$. Оператор $W_{\mathcal{L}}(a) := \pi_+ W_{\mathcal{L}}^0(a) \pi_+^0: L_p^n(\mathbb{R}_+, \rho) \rightarrow L_p^n(\mathbb{R}_+, \rho)$, $1 < p < \infty$, будем называть оператором $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа с символом a .

3. Фредгольмовость оператора $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа. Класс мультипликаторов Фурье $\mathcal{M}_{p,\rho}$ (см. [7]) является банаховой алгеброй с нормой

$$\|a\|_{\mathcal{M}} := \|W^0(a)\|_{B(L_p(\mathbb{R}, \rho))}.$$

Функции из PC , имеющие ограниченную вариацию, принадлежат $\mathcal{M}_{p,\rho}$. Через $PC_{p,\rho}$ обозначим замыкание всех функций PC , имеющих ограниченную вариацию в банаховой алгебре $\mathcal{M}_{p,\rho}$, а через $C_{p,\rho}(\mathbb{R})$ обозначим алгебру $PC_{p,\rho} \cap C(\mathbb{R})$. Имеет место включение $PC_{p,\rho} \subset PC$ (см. [6]).

Пусть $v \in (0,1)$, $z_1, z_2 \in \mathbb{C}$. Множество

$$\mathcal{A}(z_1, z_2; v) := \left\{ \frac{z_2 e^{2\pi(x+iv)} - z_1}{e^{2\pi(x+iv)} - 1} ; x \in \mathbb{R} \right\}$$

является дугой окружности, соединяющей точки z_1 и z_2 .

Пусть $a \in PC^{n \times n}$ и $a = (a_{ij})_{ij=1}^n$. Определим матриц-функцию $a_{p,\rho}: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{C}^{n \times n}$ по формуле

$$a_{p,\rho}(x, \xi) = \frac{-1}{e^{2\pi\xi(x+iv)} - 1} a(x-0) + \frac{e^{2\pi(\xi+iv)}}{e^{2\pi\xi(x+iv)} - 1} a(x+0),$$

где $x \in \mathbb{R}$, $\xi \in \mathbb{R}$ и $v = \begin{cases} v_\infty & x \in \mathbb{R} \\ v_0 & x = \infty \end{cases}$. Образ каждой из компонент $(a_{ij})_{p,\rho}$ является непрерывной кривой в комплексной плоскости, поскольку в точке разрыва $x \in \mathbb{R}$ существенного образа a_{ij} точки $a_{ij}(x-0)$ и $a_{ij}(x+0)$ соединяются дугой $\mathcal{A}(a_{ij}(x-0), a_{ij}(x+0); v) = \{(1-\eta)a_{ij}(x-0) + \eta a_{ij}(x+0); \eta \in \mathcal{A}(0,1; v)\}$. В частности, образ функции $\det a_{p,\rho}$ также является непрерывной замкнутой естественным образом ориентированной кривой в результате добавления к существенному образу $\det a_{p,\rho}$ кривых $\{\det((1-\eta)a(x-0) + \eta a(x+0)); \eta \in \mathcal{A}(0,1; v)\}$, соединяющих в точках разрывов $\det a(x)$, точки $\det a(x-0)$ и $\det a(x+0)$, $x \in \mathbb{R}$. Это обстоятельство позволяет в случае $\det a_{p,\rho}(x, \xi) \neq 0$ ($x \in \mathbb{R}$, $\xi \in \mathbb{R}$) корректным образом определить целое число $\text{wind}(\det a(x))$, равное количеству оборотов вокруг нуля точки $\det a_{p,\rho}(x, \xi)$.

Теорема 3.1. Пусть v – безотражательный потенциал, $a \in (PC_{p,\rho})^{n \times n}$. Тогда оператор $W_L(a)$ фредгольмов в пространстве $L_p^n(\mathbb{R}_+, \rho)$ тогда и только тогда, когда

$$\det a_{p,\rho}(x, \xi) \neq 0 \text{ при всех } x \in \mathbb{R}, \xi \in \mathbb{R}.$$

При выполнении этого условия

$$\text{Ind } W_L(a) = \text{wind}(\det a_{ij}). \quad (3.1)$$

В случае, когда $\det a$ имеет лишь конечное число разрывов, формула (3.1) может быть записана в более прозрачной форме.

Пусть $x_1 < x_2 < \dots < x_m$ – все конечные точки разрыва функции $\det a$. Добавив к ним $x_0 := -\infty$, $x_{m+1} := +\infty$, и определим интервалы $\ell_k := [x_k, x_{k+1}]$, $k = 0, \dots, m$. Под непрерывным аргументом $\det a$ на ℓ_k мы понимаем произвольную непрерывную на ℓ_k функцию $\arg(\det a)$,

удовлетворяющую на ℓ_k равенству $\det a(x) = |\det a(x)|e^{i \arg(\det a(x))}$. Очевидно, что числа

$$\begin{aligned}\operatorname{ind}_{\ell_0} a &:= \arg a(x_1 - 0) - \arg a(-\infty) \\ \operatorname{ind}_{\ell_k} a &:= \arg a(x_{k+1} - 0) - \arg a(x_k + 0), \quad k = 1, \dots, m-1, \text{ и} \\ \operatorname{ind}_{\ell_m} a &:= \arg a(+\infty) - \arg a(x_m + 0)\end{aligned}$$

не зависят от выбора непрерывных аргументов. Формула (3.1) в данном случае принимает вид

$$\begin{aligned}\operatorname{Ind} W_{\mathcal{L}}(a) &= mn\nu_{\infty} + n\nu_0 - \sum_{k=0}^m \operatorname{ind}_{\ell_k}(\det a) - \\ &- \sum_{k=1}^m \sum_{s=1}^n \left\{ \nu_{\infty} + \frac{1}{2\pi} \arg \xi_s(x_k) \right\} - \sum_{s=1}^n \left\{ \nu_0 + \frac{1}{2\pi} \arg \xi_s(\infty) \right\},\end{aligned}$$

где $\xi_1(x_k), \dots, \xi_n(x_k)$ — все собственные значения матрицы $a^{-1}(x_k - 0)a(x_k + 0)$ ($k = 1, \dots, m$); $\xi_1(\infty), \dots, \xi_m(\infty)$ — все собственные значения матрицы $a^{-1}(\infty - 0)a(\infty + 0)$, а через $\{\eta\}$ обозначена дробная часть действительного числа η . Переформулируем теперь теорему 3.1 в случае непрерывного на $\overline{\mathbb{R}}$ символа.

Теорема 3.2. Пусть v — безотражательный потенциал и $a \in (C_{p,\rho}(\overline{\mathbb{R}}))^{n \times n}$. Тогда оператор $W_{\mathcal{L}}(a)$ фредгольмов в пространстве $L_p^n(\mathbb{R}_+, \rho)$ тогда и только тогда, когда $\det a_{p,\rho}(x) \neq 0$ для всех $x \in \overline{\mathbb{R}}$, а числа

$$\nu_0 + \frac{1}{2\pi} \arg \xi_j, \quad j = 1, \dots, n$$

не являются целыми ни при одном собственном значении ξ_i матрицы $a^{-1}(\infty - 0)a(\infty + 0)$.

В случае, когда оператор $W_{\mathcal{L}}(a)$ фредгольмов, справедливо равенство

$$\begin{aligned}\operatorname{Ind} W_{\mathcal{L}}(a) &= \arg(\det a)(-\infty) - \arg(\det a)(+\infty) + n\nu_0 \\ &- \sum_{j=1}^n \left\{ \nu_0 + \frac{1}{2\pi} \arg \xi_j \right\},\end{aligned}$$

где $\arg(\det a)$ — непрерывный на $\overline{\mathbb{R}}$ аргумент функции $\det a$.

¹Институт механики НАН РА

²Институт математики НАН РА

³Ереванский государственный университет

e-mails: hrayrgrigor@gmail.com, kamalyan_armen@yahoo.com, grigor.kirakosyan.99@gmail.com

Г. С. Григорян, А. Г. Камалян, Г. А. Киракосян

Операторы $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа с кусочно-непрерывным матричным символом в лебеговых пространствах со степенным весом

Понятия операторов $\mathcal{L}$ -свертки и $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа вводятся заменой преобразования Фурье в определении оператора свертки, оператором сплетающий оператор Штурма – Лиувилля с оператором умножения. Рассматривается случай когда потенциал оператора Штурма – Лиувилля является безотражательным, а символ оператора $\mathcal{L}$ -Винера – Хопфа кусочно-непрерывной матрица-функцией. Получены критерии фредгольмовости и формула для индекса в лебеговых пространствах со степенным весом.

Հ. Ս. Գրիգորյան, Ա. Հ. Քամալյան, Գ. Ա. Կիրակոսյան

Կտոր առ կտոր անընդհատ մատրիցային սիմվոլով $\mathcal{L}$ -Վիներ – Հոպֆի օպերատորները աստիճանային կշռով լեբեգյան տարածություններում

Փաթեթի օպերատորի սահմանման մեջ, Ֆուրիեի ձևափոխությունը փոխարինելով օպերատորով, որը միահյուսում է Շտուրմ – Լյուվիլի և բազմապատկման օպերատորները, ներմուծված է $\mathcal{L}$ -փաթեթի և $\mathcal{L}$ -Վիներ – Հոպֆի օպերատորների գաղափարը: Դիտարկվում է դեպք, երբ Շտուրմ – Լյուվիլի օպերատորի պոտենցիալը չանդրադարձող է, իսկ $\mathcal{L}$ -Վիներ – Հոպֆի օպերատորի սիմվոլը կտոր առ կտոր անընդհատ մատրիցա-ֆունկցիա է: Աստիճանային կշռով լեբեգյան տարածություններում ստացված են ֆրեդհոլմության հայտանիշ և ինդեքսի բանաձև:

H. S. Grigoryan, A. G. Kamalyan, G. A. Kirakosyan

$\mathcal{L}$ -Wiener – Hopf Operators with Piecewise Continuous Matrix-Valued Symbol on Lebesgue Spaces with Power Weight

The concepts of $\mathcal{L}$ -convolution operator and $\mathcal{L}$ -Wiener – Hopf operator is introduced by changing the Fourier operator in the definition of the convolution operator to the operator intertwining the Sturm – Liouville operator $\mathcal{L}$ with the multiplication operator. It is considered the case when the potential of Sturm – Liouville operator is reflectionless and the symbol of the $\mathcal{L}$ -Wiener – Hopf operator is a piecewise continuous matrix-function. Fredholm criteria and index-formulas on Lebesgue spaces with power weight are obtained.

Литература

1. Камалян А. Г., Спитковский И. М. – Матем. заметки. 2018. Т. 104. Вып. 3. С. 407–421.
2. Камалян А. Г., Караханян М. И., Оганесян А. О. – Изв. НАН Армении. Математик. 2018. Т. 53. № 3. С. 21–27.
3. Hasanyan D., Kamalyan A., Karakhanyan M., Spitkovsky I.M. – Springer Proceedings in Mathematics & Statistics. 2019. V. 291. P. 175–197.
4. Asatryan H. A., Kamalyan A. G., Karakhanyan M. I. – Reports NAS of Armenia. 2019. V. 119. № 1. P. 22–28.

5. *Asatryan H. A., Kamalyan A. G., Karakhanyan M. I.* – Reports NAS of Armenia. 2019. V. 119. № 2. P. 103–109.
6. *Böttcher A., Karlovich Y. I., Spitkovsky I. M.* – Convolution Operators and Factorization of Almost Periodic Matrix Functions. Basel, Birkhäuser. 2002.
7. *Schneider R.* – J. Integral Equations. 1985. V. 9. P. 135–152.
8. *Фаддеев Л. Д.* – Итоги науки и техники. Сер. Современные проблемы мат. 1974. Т. 3, С. 93–180.

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Член-корреспондент НАН РА С. М. Мхитарян

**О решении плоской задачи типа Ламба для полуплоскости,
заполненной несжимаемой вязкой жидкостью**

(Представлено 22/X 2021)

Ключевые слова: *стационарное течение, несжимаемая вязкая жид-
кость, смешанная граничная задача, число Рейнольдса.*

Введение. Осесимметрическая граничная задача Ламба для полупро-
странства, заполненного идеальной жидкостью, при стационарном потен-
циальном течении жидкости через круглое отверстие в плоском жестком
экране [1] имеет теоретическое и практическое значение. Эта задача в ци-
линдрической системе координат математически формулируется как сме-
шанная граничная задача теории классического потенциала, когда на круге
границы полупространства задано значение потенциала, а на остальной
части границы полупространства вне круга нормальная производная по-
тенциала обращается в ноль. Решение этой задачи Ламба, первоначально
рассмотрено в [1] в системе ортогональных криволинейных координат, в
дальнейшем применением дуальных интегральных уравнений существен-
но упрощено в [2]. Плоский аналог задачи Ламба для полуплоскости рас-
смотрен в [3].

В настоящей статье рассматривается плоская задача типа Ламба для
полуплоскости, заполненной несжимаемой вязкой жидкостью, при стаци-
онарном течении жидкости и на своей границе контактирующей с абсо-
лютно жестким экраном в виде двух сдвинутых друг относительно друга
полубесконечных тонких пластин-стержней, которые образуют между со-
бой отверстие в виде отрезка конечной длины. Предполагается, что ско-
рости в жидкости настолько малы, что силами инерции можно пренебречь
по сравнению с силами трения, что имеет место при больших динами-
ческих или кинематических коэффициентах вязкости, т.е. при малых чис-
лах Рейнольдса. Это предположение позволяет линеаризовать конститу-
ционные нелинейные дифференциальные уравнения Навье – Стокса.
Далее для линеаризованной системы уравнений Навье – Стокса в полу-
плоскости рассматривается смешанная граничная задача типа задачи Лам-

ба, когда на границе полуплоскости под жестким экраном компоненты вертикальных и горизонтальных скоростей равны нулю, а на отверстие – отрезка заданы компоненты нормальных и касательных напряжений. Решение этой линейной граничной задачи для полуплоскости методом интегрального преобразования Фурье сначала сведено к решению по отдельности двух сингулярных интегральных уравнений (СИУ), а затем – к решению по отдельности двух гиперсингулярных интегральных уравнений (ГСИУ). Методом обращения СИУ и методом ортогональных многочленов Чебышева построены замкнутые (точные) решения определяющих ГСИУ. Получены явные выражения напряжений под жестким экраном. Рассмотрен частный случай.

Результаты исследования обсуждаемой задачи могут быть использованы в оценках мощности и других характеристик нефтяных скважин и смежных отраслях.

Постановка задачи и вывод основных уравнений. Пусть нижнее полупространство $y < 0$, отнесенное к правой прямоугольной системе координат $Oxyz$, наполнено несжимаемой вязкой жидкостью, обладает плотностью $\rho = \text{const}$ и динамическим коэффициентом вязкости μ . Пусть далее жидкость находится в режиме стационарного течения и на своей границе $y = 0$ контактирует с абсолютно жестким тонким экраном в виде двух сдвинутых друг относительно друга полубесконечных тонких пластин $\omega_+ = \{y = 0; a \leq x \leq \infty; -\infty < z < \infty\}$ и $\omega_- = \{y = 0; -\infty < x \leq -a; -\infty < z < \infty\}$, образующих между собой отверстие в форме бесконечной в обоих направлениях полосы $\omega = \{y = 0; -a \leq x \leq a; -\infty < z < \infty\}$ на границе полупространства. Компоненты скоростей в жидкости по координатным осям Ox, Oy, Oz обозначим через u, v, w , давление – через p , а массовые силы по осям – через X, Y, Z . Будем считать, что картина распределения этих величин одинакова во всех плоскостях, ортогональных и оси Oz , т.е. они не зависят от координаты z и $w = 0$:

$$u = u(x, y); v = v(x, y); w = 0; p = p(x, y); X = X(x, y); Y = Y(x, y); Z = Z(x, y).$$

Кроме того будем считать, что массовые силы отсутствуют, а скорости настолько малы, что силами инерции по отношению к силам трения можно пренебречь. Тогда, приняв во внимание стационарность течения вязкой жидкости, в конституционных нелинейных дифференциальных уравнениях Навье – Стокса можно пренебречь членами, зависящими от временной координаты t , а также нелинейными конвективными членами [4, 5]. В результате в базовой плоскости Oxy линеаризованная система дифференциальных уравнений в частных производных Навье – Стокса примет вид

$$\left\{ \frac{\partial p}{\partial x} = \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right); \frac{\partial p}{\partial y} = \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \right. \quad (y < 0; -\infty < x < \infty); \quad (1)$$

уравнение неразрывности – вид

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (y < 0; -v < x < \infty), \quad (2)$$

а закон Стокса – вид

$$\sigma_y = -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right); \quad (3)$$

где σ_y и τ_{yx} – соответственно, компоненты нормальных и касательных напряжений.

В связи со сделанными предположениями или принятыми гипотезами отметим, что так как силы инерции пропорциональны квадрату скорости, а силы трения пропорциональны первой степени скорости, то очевидно, что движения с преобладающей ролью сил трения возникают при очень малых скоростях или, в более общем случае, при очень малых числах Рейнольдса. Такие движения вязкой жидкости, при которых число Рейнольдса весьма мало ($Re < 1$), называются ползучими движениями [4].

Для уравнения (1) – (3) в полуплоскости $y \leq 0$ рассмотрим следующую смешанную граничную задачу типа задачи Ламба:

$$u(x, y)|_{y=0} = v(x, y)|_{y=0} = 0 (|x| > a); \quad \sigma_y|_{y=0} = f(x); \quad \tau_{yx}|_{y=0} = g(x) (|x| < a); \quad (4)$$

$$u \rightarrow 0, v \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad x^2 + y^2 \rightarrow \infty,$$

где $f(x)$ и $g(x)$ – предварительно заданные функции.

Приступив к решению граничной задачи (1) – (4), отметим, что давление $p(x, y)$ в полуплоскости $y < 0$ удовлетворяет уравнению Лапласа [4]:

$$\Delta p = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = 0 \quad (-\infty < x < \infty; -\infty < y < 0). \quad (5)$$

Решение указанной граничной задачи построим методом интегрального преобразования Фурье. С этой целью введем обозначения

$$\Sigma(x) = \sigma_y|_{y=0} = \begin{cases} f(x) (|x| < a); \\ \sigma(x) (|x| > a); \end{cases} \quad T(x) = \tau_{yx}|_{y=0} = \begin{cases} g(x) (|x| < a); \\ \tau(x) (|x| > a) \end{cases}$$

и трансформанты Фурье

$$\{\bar{u}(\lambda, y); \bar{v}(\lambda, y); \bar{p}(\lambda); \bar{\Sigma}(\lambda); \bar{T}(\lambda)\} = \int_{-\infty}^{\infty} \{u(x, y); v(x, y); p(x); \Sigma(x); T(x)\} e^{i\lambda x} dx.$$

Сначала рассмотрим вспомогательную граничную задачу для уравнений (1), (2) и (5) при граничных условиях

$$\sigma_y|_{y=0} = \Sigma(x); \quad \tau_{yx}|_{y=0} = T(x) \quad (-\infty < x < \infty). \quad (6)$$

Приняв во внимание закон Стокса (3), к этим уравнениям и условиям применим интегральное преобразование Фурье. В результате в трансформантах Фурье для обыкновенных дифференциальных уравнений придем к следующей граничной задаче:

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{d^2 \bar{u}}{dy^2} - \lambda^2 \bar{u} \right) = -i\lambda \bar{p}, \quad \mu \left(\frac{d^2 \bar{v}}{dy^2} - \lambda^2 \bar{v} \right) = \frac{d\bar{p}}{dy} \quad (y < 0); \\ \frac{d\bar{v}}{dy} - i\lambda \bar{u} = 0 \quad (y < 0); \quad \frac{d^2 \bar{p}}{dy^2} - \lambda^2 \bar{p} = 0 \quad (y < 0); \\ \left(-\bar{p} + 2\mu \frac{d\bar{v}}{dy} \right) \Big|_{y=0} = \bar{\Sigma}(\lambda); \quad \mu \left(\frac{d\bar{u}}{dy} - i\lambda \bar{v} \right) \Big|_{y=0} = \bar{T}(\lambda). \end{cases} \quad (7)$$

Исчезающее на бесконечности решение четвертого уравнения из (7) имеет вид

$$\bar{p}(\lambda, y) = Ae^{|\lambda|y} \quad (y \leq 0).$$

Это решение подставим в правые части первых двух уравнений системы (7):

$$\frac{d^2 \bar{u}}{dy^2} - \lambda^2 \bar{u} = -\frac{i\lambda A}{\mu} e^{|\lambda|y}; \quad \frac{d^2 \bar{v}}{dy^2} - \lambda^2 \bar{v} = -\frac{|\lambda|A}{\mu} e^{|\lambda|y} \quad (y < 0).$$

Общие решения этих дифференциальных уравнений представляются формулами

$$\bar{u}(\lambda, y) = Ce^{|\lambda|y} - \frac{iA}{2\mu} \text{sign} \lambda y e^{|\lambda|y}; \quad \bar{v}(\lambda, y) = De^{|\lambda|y} + \frac{A}{2\mu} y e^{|\lambda|y} \quad (y \leq 0), \quad (8)$$

где A, C и D – пока неизвестные постоянные. Выражения (8) подставим в третье уравнение системы (7). В результате получим следующее соотношение между этими постоянными: $A = 2\lambda\mu(iC - D \text{sign} \lambda)$.

Далее выражение постоянной A подставим в (8):

$$\bar{u}(\lambda, y) = [C - i\lambda(iC - D)y] e^{|\lambda|y}; \quad \bar{v}(\lambda, y) = [D + |\lambda|(iC - D)y] e^{|\lambda|y} \quad (y \leq 0). \quad (9)$$

Постоянные C и D определяются из граничных условий – из последних двух уравнений системы (7):

$$D = \frac{\bar{\Sigma}(\lambda)}{2|\lambda|\mu}; \quad C = \frac{\bar{T}(\lambda)}{2|\lambda|\mu}.$$

Из (9) находим

$$\bar{v}(\lambda, -0) = D = \frac{\bar{\Sigma}(\lambda)}{2|\lambda|\mu}; \quad \bar{u}(\lambda, -0) = \frac{\bar{T}(\lambda)}{2|\lambda|\mu}. \quad (10)$$

Первое уравнение из (10) запишем в виде

$$-2\mu i \lambda \bar{v}(\lambda, -0) = -i \bar{\Sigma}(\lambda) \text{sign} \lambda \quad (-\infty < \lambda < \infty)$$

и применим к нему обратное преобразование Фурье. После элементарных преобразований получим

$$v'(x) = \frac{1}{2\pi\mu} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\Sigma(s) ds}{s - x} \quad (-\infty < x < \infty),$$

где интеграл при $s = x$ понимается в смысле главного значения по Коши. Отсюда по формуле обращения Гильберта получим следующее ключевое уравнение:

$$\Sigma(x) = -\frac{2\mu}{\pi} \int_{-a}^a \frac{v'(s) ds}{s-x} \quad (-\infty < x < \infty). \quad (11)$$

Здесь принято во внимание, что согласно (4) $v(x, y)|_{y=0} = v(x, -0) \equiv 0$ при $|x| > a$.

Вполне аналогичным образом из второго уравнения (10) получим второе ключевое уравнение поставленной задачи

$$T(x) = -\frac{2\mu}{\pi} \int_{-a}^a \frac{u'(s) ds}{s-x} \quad (-\infty < x < \infty); \quad u'(x) = \frac{du(x, -0)}{dx}. \quad (12)$$

Рассматривая ключевое уравнение (11) на интервале $(-a, a)$, относительно $v'(x)$ получим определяющее СИУ поставленной задачи:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-a}^a \frac{v'(s) ds}{s-x} = -\frac{f(x)}{2\mu} \quad (-a < x < a); \quad (13)$$

притом по свойству непрерывности скоростей $v(\pm a) = 0$.

Рассматривая же ключевое уравнение (11) на лучах $|x| > a$, находим нормальные напряжения под жестким экраном

$$\sigma_y|_{y=0} = \sigma(x) = -\frac{2\mu}{\pi} \int_{-a}^a \frac{v'(s) ds}{s-x} \quad (|x| > a). \quad (14)$$

Здесь, конечно, считается что $v'(x)$ уже найдено из решения СИУ (13).

Вполне аналогичным образом исходя из второго ключевого уравнения (12) придём ко второму определяющему СИУ задачи:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-a}^a \frac{u'(s) ds}{s-x} = -\frac{g(x)}{2\mu}; \quad u(\pm a) = 0 \quad (-a < x < a), \quad (15)$$

после решения которого касательные напряжения под плоским экраном определим по формуле

$$\tau_{yx}|_{y=0} = \tau(x) = -\frac{2\mu}{\pi} \int_{-a}^a \frac{u'(s) ds}{s-x} \quad (|x| > a). \quad (16)$$

В определяющем СИУ (13) произведем интегрирование по частям и примем во внимание условия $v(\pm a) = 0$. Получим следующее ГСИУ:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-a}^a \frac{v(s) ds}{(s-x)^2} = -\frac{f(x)}{2\mu} \quad (-a < x < a), \quad (17)$$

где интеграл при $S = x$ понимается в смысле Адамара:

$$Hv = \lim_{\varepsilon \rightarrow +0} \left[\int_{-a}^{x-\varepsilon} \frac{v(s)ds}{(s-x)^2} + \int_{x+\varepsilon}^a \frac{v(s)ds}{(s-x)^2} - \frac{v(x+\varepsilon) + v(x-\varepsilon)}{\varepsilon} \right].$$

Обращаем СИУ (13):

$$v'(x) = \frac{1}{2\pi\mu\sqrt{a^2-x^2}} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2-s^2} f(s)ds}{s-x} + \frac{C}{\sqrt{a^2-x^2}} \quad (C = \text{const}, -a < x < a), \quad (18)$$

а затем проинтегрируем обе части этого равенства. Воспользовавшись выражением интеграла из [6], получим

$$v(x) = \frac{1}{4\pi\mu} \int_{-a}^a \ln \frac{a^2 - xs + \sqrt{(a^2-x^2)(a^2-s^2)}}{a^2 - xs - \sqrt{(a^2-x^2)(a^2-s^2)}} f(s)ds + \\ + C \arcsin\left(\frac{x}{a}\right) + C_1 (-a \leq x \leq a). \quad (19)$$

Вследствие условий $v(\pm a) = 0$ отсюда сразу следует, что $C = C_1 = 0$.

Следовательно, (18) примет вид

$$v'(x) = \frac{1}{2\pi\mu\sqrt{a^2-x^2}} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2-s^2} f(s)ds}{s-x} \quad (-a < x < a). \quad (20)$$

(20) подставим в (14) и произведем преобразования:

$$\sigma(x) = -\frac{1}{\pi^2} \int_{-a}^a \frac{ds}{(s-x)\sqrt{a^2-s^2}} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2-t^2} f(t)dt}{t-s} = -\frac{1}{\pi^2} \int_{-a}^a \sqrt{a^2-t^2} f(t)dt \int_{-a}^a \frac{ds}{(s-x)(t-s)\sqrt{a^2-s^2}} = \\ = -\frac{1}{\pi^2} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2-t^2} f(t)dt}{t-x} \int_{-a}^a \left(\frac{1}{s-x} + \frac{1}{t-s} \right) \frac{ds}{\sqrt{a^2-s^2}} \quad (|x| > a).$$

Отсюда, приняв во внимание известный интеграл из [7] (с.175, ф-ла (21)), находим

$$\sigma(x) = \frac{\text{sign}x}{\pi\sqrt{x^2-a^2}} \int_{-a}^a \frac{\sqrt{a^2-s^2} f(s)ds}{s-x} \quad (|x| > a). \quad (21)$$

Изложенным способом из (15) и (16) получаются соответствующие (19) – (21) формулы для $u(x)$, $u'(x)$ и $\tau(x)$. Очевидно, что эти формулы сразу получаются также из (19) – (20), если в них формально заменить, соответственно, $v(x)$ на $u(x)$, $v'(x)$ на $u'(x)$, $\sigma(x)$ на $\tau(x)$, а $f(x)$ на $g(x)$.

Введем также в рассмотрение расход жидкости через сечения отверстия жесткого экрана за единицу времени в вертикальном направлении

$$Q(x) = \int_{-a}^a v(s)ds \quad (-a \leq x \leq a). \quad (22)$$

В полученных основных уравнениях введем безразмерные координаты и величины

$$\begin{aligned}\xi &= x/a, \eta = s/a, v_0(\xi) = v(a\xi)/V; f_0(\xi) = f(a\xi)/2\rho V^2; \\ \sigma_0(\xi) &= \sigma(a\xi)/2\rho V^2; \tau_0(\xi) = \tau(a\xi)/2\rho V^2; Q_0(\xi) = Q(a\xi)/aV \\ \text{Re} &= aV/\nu; \nu = \mu/\rho; u_0(\xi) = u(a\xi)/\nu; g_0(\xi) = g(a\xi)/2\rho V^2.\end{aligned}$$

где V – эталонная скорость, например, скорость жидкости в центре отверстия жесткого экрана, т.е. в начале координат 0, Re – число Рейнольдса, ρV^2 – динамическое давление, а V – кинетический коэффициент вязкости. В результате ГСИУ (17) примет вид

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{v_0(\eta) d\eta}{(\eta - \xi)^2} = -\text{Re} \cdot f_0(\xi) \quad (-1 < \xi < 1; v_0(\pm 1) = 0); \quad (23)$$

формула (19), где $C = C_1 = 0$, – вид

$$v_0(\xi) = \frac{\text{Re}}{2\pi} \int_{-1}^1 \ln \frac{1 - \xi\eta + \sqrt{(1 - \xi^2)(1 - \eta^2)}}{1 - \xi\eta - \sqrt{(1 - \xi^2)(1 - \eta^2)}} f_0(\eta) d\eta; \quad (24)$$

формула (21) – вид

$$\sigma_0(\xi) = \frac{\text{Re} \cdot \text{sign} \xi}{\pi \sqrt{\xi^2 - 1}} \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{1 - \eta^2} f_0(\eta) d\eta}{\eta - \xi} \quad (|\xi| > 1). \quad (25)$$

Отсюда, как выше, формальной заменой $f_0(\xi)$ на $g_0(\xi)$, $v_0(\xi)$ на $u_0(\xi)$, $\sigma_0(\xi)$ на $\tau_0(\xi)$ получаются соответствующие уравнения для $u_0(\xi)$ и $\tau_0(\xi)$.

Во введенных безразмерных величинах формула (22) преобразуется к виду

$$Q_0(\xi) = \int_{-1}^{\xi} v_0(\eta) d\eta \quad (-1 \leq \xi \leq 1). \quad (26)$$

Решение определяющего ГСИУ (23) и определение через него характеристики задачи. Решение этого ГСИУ методом обращения СИУ (13) относительно $v'(x)$ в безразмерных величинах представлено формулой (24). Однако для вычисления характеристик обсуждаемой задачи удобнее построить решение ГСИУ (23) методом ортогональных многочленов Чебышева. С этой целью решение ГСИУ представим в форме бесконечного ряда

$$v_0(\xi) = \sqrt{1 - \xi^2} \sum_{n=1}^{\infty} X_n U_{n-1}(\xi) \quad (-1 \leq \xi \leq 1)$$

с неизвестными коэффициентами, где $U_{n-1}(\xi)$ – многочлены Чебышева второго рода. Далее этот ряд подставим в ГСИУ (23), поменяем порядок суммирования и интегрирования, а затем воспользуемся известным соотношением [8, 9]

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{U_{n-1}(\eta) \sqrt{1-\eta^2} d\eta}{\eta-\xi} = -n U_{n-1}(\xi) \quad (-1 < \xi < 1; \quad n=1, 2, \dots).$$

Получим

$$\sum_{n=1}^{\infty} n X_n U_{n-1}(\xi) = \operatorname{Re} f_0(\xi) \quad (-1 < \xi < 1).$$

Отсюда из условий ортогональности многочленов $U_{n-1}(\xi)$ находим

$$X_n = \frac{f_n}{n} \operatorname{Re}; \quad f_n = \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 f_0(\xi) U_{n-1}(\xi) \sqrt{1-\xi^2} d\xi \quad (n=1, 2, \dots). \quad (27)$$

Следовательно,

$$v_0(\xi) = \operatorname{Re} \cdot \sqrt{1-\xi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f_n}{n} U_{n-1}(\xi) \quad (-1 \leq \xi \leq 1). \quad (28)$$

Теперь на основании (28) по формуле (26) вычислим безразмерный расход вязкой жидкости через сечения отверстия в жестком экране $Q_0(\xi)$.

После элементарных операций будем иметь

$$Q_0(\xi) = \operatorname{Re} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{f_n}{n} I_n(\xi) \quad (-1 \leq \xi \leq 1) \quad (29)$$

$$I_n(\xi) = \int_{-1}^{\xi} U_{n-1}(\eta) \sqrt{1-\eta^2} d\eta = \begin{cases} \frac{1}{2}(\pi - \arccos \xi) & (n=1); \\ \frac{1}{2} \left[\frac{U_n(\xi)}{n+1} - \frac{U_{n-2}(\xi)}{n-1} \right] & (n=2, 3, \dots) \end{cases}.$$

Пусть, в частности, $f(x) = f_0 = \text{const}$. Тогда $f_0(\xi) = f_0/2\rho V^2 = q_0 = \text{const}$ и, следовательно, из (27) $X_1 = \operatorname{Re} \cdot f_0 = \operatorname{Re} \cdot q_0$, $f_n = 0$ ($n=2, 3, \dots$), а из (28)

$$v_0(\xi) = \operatorname{Re} \cdot q_0 \sqrt{1-\xi^2} \quad (-1 \leq \xi \leq 1).$$

В итоге из (29) в данном частном случае

$$Q_0(\xi) = \frac{q_0}{2} \operatorname{Re} \cdot (\pi - \arccos \xi) \quad (-1 \leq \xi \leq 1). \quad (30)$$

Перейдем к вычислению $\sigma_0(\xi)$ по формуле (25). Сначала эту формулу преобразуем следующим образом:

$$\begin{aligned} \sigma_0(\xi) &= \frac{\operatorname{Re} \cdot \operatorname{sign} \xi}{\pi \sqrt{\xi^2 - 1}} \int_{-1}^1 \frac{\sqrt{1-\eta^2} f_0(\eta) d\eta}{\eta - \xi} \quad (|\xi| > 1) = \frac{\operatorname{Re} \cdot \operatorname{sign} \xi}{\pi \sqrt{\xi^2 - 1}} \int_{-1}^1 \frac{(1-\eta^2) f_0(\eta) d\eta}{(\eta - \xi) \sqrt{1-\eta^2}} = \\ &= \frac{\operatorname{Re} \cdot \operatorname{sign} \xi}{\pi \sqrt{\xi^2 - 1}} \left[\int_{-1}^1 \frac{f_0(\eta) d\eta}{(\eta - \xi) \sqrt{1-\eta^2}} - \int_{-1}^1 \frac{(\eta^2 - \xi^2) f_0(\eta) d\eta}{(\eta - \xi) \sqrt{1-\eta^2}} - \xi^2 \int_{-1}^1 \frac{f_0(\eta) d\eta}{(\eta - \xi) \sqrt{1-\eta^2}} \right]. \end{aligned}$$

Итак,

$$\sigma_0(\xi) = -\frac{\text{Re} \cdot \text{sign} \xi}{\pi \sqrt{\xi^2 - 1}} \left[(\xi^2 - 1) \int_{-1}^1 \frac{f_0(\eta) d\eta}{(\eta - \xi) \sqrt{1 - \eta^2}} + \int_{-1}^1 \frac{\eta f_0(\eta) d\eta}{\sqrt{1 - \eta^2}} + \xi \int_{-1}^1 \frac{f_0(\eta) d\eta}{\sqrt{1 - \eta^2}} \right] \quad (|\xi| > 1). \quad (31)$$

Далее воспользуемся интегральными соотношениями [10]

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \ln \frac{1}{|\xi - \eta|} \frac{T_n(\eta) d\eta}{\sqrt{1 - \eta^2}} = \begin{cases} \frac{1}{n} [H(\xi) + (-1)^n H(-\xi)] (|\xi| - \sqrt{\xi^2 - 1})^n & (n=1, 2, \dots) \quad (|\xi| > 1); \\ \ln(2(|\xi| - \sqrt{\xi^2 - 1})) & (n=0), \end{cases}$$

где $T_n(\xi)$ – многочлены Чебышева первого рода, а $H(\xi)$ – функция Хевисайда. Продифференцировав обе части этих соотношений по ξ , после элементарных преобразований придем к следующим соотношениям:

$$\frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{T_n(\eta) d\eta}{(\eta - \xi) \sqrt{1 - \eta^2}} = \begin{cases} -\frac{\text{sign} \xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}} [H(\xi) + (-1)^n H(-\xi)] (|\xi| - \sqrt{\xi^2 - 1})^n, & (n=1, 2, \dots) \quad (|\xi| > 1); \\ 1 & (n=0). \end{cases} \quad (32)$$

Функцию $f_0(\xi)$ разложим в ряд по многочленам Чебышева $T_n(\xi)$:

$$f_0(\xi) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n T_n(\xi); \quad a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f_0(\eta) d\eta}{\sqrt{1 - \eta^2}}; \quad a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{f_0(\eta) T_n(\eta) d\eta}{\sqrt{1 - \eta^2}} \quad (n=1, 2, \dots); \quad (-1 < \xi < 1). \quad (33)$$

Далее ряд (33) представим в (31) и примем во внимание соотношения (32). После элементарных преобразований окончательно получим

$$\sigma_0(\xi) = -\text{Re} \cdot \left\{ a_0 \frac{|\xi| - \sqrt{\xi^2 - 1}}{\sqrt{\xi^2 - 1}} + \frac{a_1}{2} \frac{\text{sign} \xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}} - \sum_{n=1}^{\infty} a_n [H(\xi) + (-1)^n H(-\xi)] (|\xi| - \sqrt{\xi^2 - 1})^n \right\} \quad (|\xi| > 1).$$

Отсюда в указанном частном случае имеем

$$\sigma_0(\xi) = -\frac{q_0 \text{Re}}{\sqrt{\xi^2 - 1}} (|\xi| - \sqrt{\xi^2 - 1}) \quad (|\xi| > 1). \quad (34)$$

В табл. 1 по формуле (30) приведены значения безразмерного расхода жидкости $Q_0(\xi)$, а на рис. 1 по формуле (34) построены графики изменения безразмерных нормальных напряжений $-\sigma_0(\xi)$ с обратным знаком под жестким экраном при различных числах Рейнольдса. В обоих случаях принято $q_0 = 1$.

Таблица 1

Значения $Q_0(\xi)$

ξ Re	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
0.3	0	0.0967	0.1391	0.1739	0.2054	0.2356	0.2658	0.2973	0.3321	0.3747	0.4712
0.5	0	0.1609	0.2318	0.2898	0.3423	0.3927	0.443	0.4956	0.5536	0.6245	0.7854
0.8	0.	0.2574	0.3709	0.4637	0.5478	0.6283	0.7089	0.7929	0.8857	0.9992	1.2566

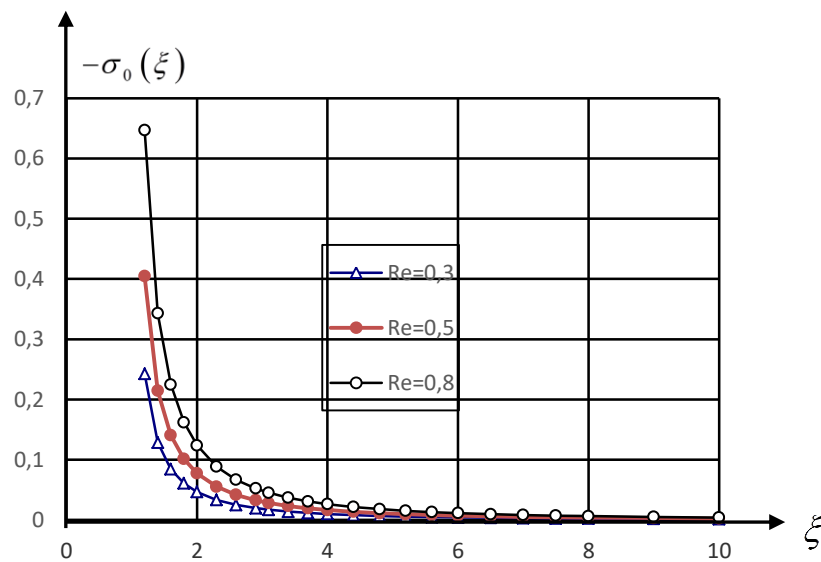


Рис. 1.

Заключение. Из изложенных результатов вытекает, что в рассмотренной граничной задаче типа Ламба при малых числах Рейнольдса, когда происходит ползучее движение вязкой несжимаемой жидкости, горизонтальные и вертикальные компоненты скоростей, а также нормальные и касательные напряжения не взаимодействуют между собой. Потому для их определения порознь получаются два уравнения.

Институт механики НАН РА

Национальный университет архитектуры и строительства Армении

e-mail: smkhitaryan39@rambler.ru

Член-корреспондент НАН РА С. М. Мхитарян

**О решении плоской задачи типа Ламба для полуплоскости,
заполненной несжимаемой вязкой жидкостью**

Рассматривается плоская задача типа задачи Ламба о стационарном течении вязкой несжимаемой жидкости в полуплоскости, на своей границе контактирующей с жестким экраном в форме двух сдвинутых друг относительно друга полубесконечных пластин-стержней, которые образуют между собой отверстие в форме отрезка конечной длины. Предполагается, что скорости в жидкости настолько малы, что силами инерции можно пренебречь по отношению к силам трения, что имеет место при малых числах Рейнольдса. Такой подход позволяет линеаризовать систему линейных дифференциальных уравнений Навье – Стокса. При помощи интегрального преобразования Фурье смешанная граничная задача для этих линеаризованных уравнений сведена по отдельности к сингулярным интегральным уравнениям или гиперсингулярным интегральным уравнениям. Построены их замкнутые (точные) решения. Характеристики рассматриваемой задачи представлены явными формулами, обсужден частный случай.

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ս. Մ. Մխիթարյան

**Անսեղմելի մածուցիկ հեղուկով լցված կիսահարթության համար
Լամբի տիպի խնդրի լուծման մասին**

Դիտարկվում է անսեղմելի մածուցիկ հեղուկով լցված և իր եզրագծով բացարձակ կոշտ էկրանին հպվող կիսահարթության համար Լամբի տիպի եզրային խնդիր: Էկրանն ունի միմյանց նկատմամբ տեղաշարժված երկու բացարձակ կոշտ սալ-ձողերի տեսք, որոնք կազմում են վերջավոր երկարության միջակայք, իսկ հեղուկի շարժումը ստացվում է: Ենթադրվում է, որ հեղուկի արագություններն այնքան փոքր են, որ շփման ուժերն իներցիայի ուժերի նկատմամբ գերակշռող են, և հետևաբար՝ վերջինները կարելի է արհամարհել առաջինների նկատմամբ: Այս դեպքում Ռեյնոլդսի թիվը բավականաչափ փոքր է, որը Նավյե – Ստոքսի ոչ գծային դիֆերենցիալ հավասարումների համակարգը գծայնացնելու հնարավորություն է տալիս: Գծայնացված հավասարումների համար Լամբի տիպի խնդրի եզրային խնդրի լուծումը Ֆուրիեի ինտեգրալ ձևափոխության օգնությամբ բերվում է սինգուլյար ինտեգրալ հավասարման, իսկ այնուհետև՝ հիպերսինգուլյար ինտեգրալ հավասարման լուծման, որոնք թույլատրում են փակ լուծումներ: Խնդրի բնութագրիչներն արտահայտվում են բացահայտ տեսքի բանաձևերով, դիտարկված է մասնավոր դեպք:

Corresponding member of NAS RA S. M. Mkhitaryan

**On Solving a Plane Lamb-Type Problem for a Half-Plane Filled
with an Incompressible Viscous Fluid**

We consider a plane Lamb-type problem on the stationary flow of a viscous incompressible fluid in a half-plane that at its boundary is in contact with a rigid screen in the form of two semi-infinite plate-rods shifted relative to each other, which form between themselves a hole in the form of a segment of finite length. It is assumed that

the velocities in the fluid are so small that the inertial forces can be neglected concerning the friction forces; this occurs at large dynamic or kinematic coefficients of fluid viscosity, i. e. at low Reynolds numbers. This approach allows one to linearize the system of linear differential Navier – Stokes equations. Using the integral Fourier transform, the mixed boundary value problem for these linearized equations is reduced to SIEs or HIEs. The closed (exact) solutions of these SIEs and HIEs are constructed. The characteristics of the problem under consideration are presented by explicit formulas; a particular case is discussed.

Литература

s

1. Ламб Г. Гидродинамика. М. Гостехиздат. 1947. М. – Л. 928 с.
2. Снеддон И. Преобразование Фурье. М. ИЛ. 1955. 668 с.
3. Вардамян Е. В., Мхитарян С. М., Саруханян А. А. – Доклады НАН РА. 2020. Т. 120. № 4. С. 277–287.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М. Наука. 1969. 744 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа. М. Наука. 1987. 840 с.
6. Александров В. М., Мхитарян С. М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками. М. Наука. 1983. 488 с.
7. Бейтмен Г., Эрдейи А. и др. Таблицы интегральных преобразований. Т. 2. М. Наука. 1970. 328 с.
8. Youn-Sha Chan, Albert C. Fannjiang, Glausio H. Paulino – International J. of Engineering and Applied Science. 2003. V. 41. P. 683-720.
9. Mkhitaryan S. M., Mkrtchyan M. S., Kanetzyan E. G. – The Quarterly J. of Mech. And Appl. Math. V. 73. Issue 1. 2020. P. 51-75.
10. Мхитарян С. М. – Доклады НАН РА. Т. 93. № 5. 1992. С. 220-226.

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 539.3

Академик Л. А. Агаловян, М. Л. Агаловян, Т. В. Закарян

О решении трёхмерной динамической смешанной задачи двухслойных ортотропных пластин, лежащих на жёсткой подстилке

(Представлено 15/IX 2021)

Ключевые слова: *вынужденные колебания, слоистая пластина, асимптотический метод.*

Введение. Для решения пространственных статических и динамических задач пластин и оболочек эффективным оказался асимптотический метод решения сингулярно возмущённых дифференциальных уравнений. Решению статических пространственных задач однослойных и многослойных пластин и оболочек посвящены монографии [1-3]. Некоторые классы динамических задач для анизотропных пластин решены в [2,4-6]. В данной работе асимптотическим методом решена трёхмерная смешанная пространственная динамическая задача для двухслойной пластины, лежащей на жёсткой подстилке.

1. Основные уравнения и постановка задачи. Требуется найти в области

$$D = \{(x, y, z): 0 \leq x \leq a, \quad 0 \leq y \leq b, \quad -h_2 \leq z \leq h_1, \quad h_1 + h_2 = h \ll l, \\ l = \min(a, b)\},$$

занятой двухслойной пластиной (рис.1), решение уравнений движения

$$\frac{\partial \sigma_{xx}^k}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}^k}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{xz}^k}{\partial z} = \rho^k \frac{\partial^2 u^k}{\partial t^2}, \quad \frac{\partial \sigma_{xy}^k}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}^k}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}^k}{\partial z} = \rho^k \frac{\partial^2 v^k}{\partial t^2}, \quad (1) \\ \frac{\partial \sigma_{xz}^k}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}^k}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}^k}{\partial z} = \rho^k \frac{\partial^2 w^k}{\partial t^2}, \quad k = I, II,$$

и соотношений упругости (обобщенный закон Гука) ортотропного тела

$$\begin{aligned}
\frac{\partial u^k}{\partial x} &= a_{11}^k \sigma_{xx}^k + a_{12}^k \sigma_{yy}^k + a_{13}^k \sigma_{zz}^k, \quad \frac{\partial v^k}{\partial y} = a_{12}^k \sigma_{xx}^k + a_{22}^k \sigma_{yy}^k + a_{23}^k \sigma_{zz}^k, \\
\frac{\partial w^k}{\partial z} &= a_{13}^k \sigma_{xx}^k + a_{23}^k \sigma_{yy}^k + a_{33}^k \sigma_{zz}^k, \quad \frac{\partial u^k}{\partial y} + \frac{\partial v^k}{\partial x} = a_{66}^k \sigma_{xy}^k \\
\frac{\partial w^k}{\partial x} + \frac{\partial u^k}{\partial z} &= a_{55}^k \sigma_{xz}^k, \quad \frac{\partial w^k}{\partial y} + \frac{\partial v^k}{\partial z} = a_{44}^k \sigma_{yz}^k
\end{aligned} \quad (2)$$

при следующих граничных условиях на лицевых поверхностях пакета:

$$\begin{aligned}
\sigma_{zz}^I(x, y, h_1, t) &= -\sigma_{zz}^+(\xi, \eta) \exp(i\Omega t), \quad \sigma_{xz}^I(x, y, h_1, t) = \sigma_{yz}^I(x, y, h_1, t) = 0, \\
W_{xz}^{II}(x, y, -h_2, t) &= 0, \quad \sigma_{xz}^{II}(x, y, -h_2, t) = f_1 \sigma_{zz}^{II}(x, y, -h_2, t), \\
\sigma_{yz}^{II}(x, y, -h_2, t) &= f_2 \sigma_{zz}^{II}(x, y, -h_2, t),
\end{aligned} \quad (3)$$

где $\xi = x/l$, $\eta = y/l$, Ω – частота внешнего воздействия, и условиях полного контакта между слоями пакета

$$\begin{aligned}
\sigma_{\alpha z}^I(x, y, 0, t) &= \sigma_{\alpha z}^{II}(x, y, 0, t), \quad \alpha = x, y, z, \\
u^I(x, y, 0, t) &= u^{II}(x, y, 0, t), \quad (u, v, w).
\end{aligned} \quad (4)$$

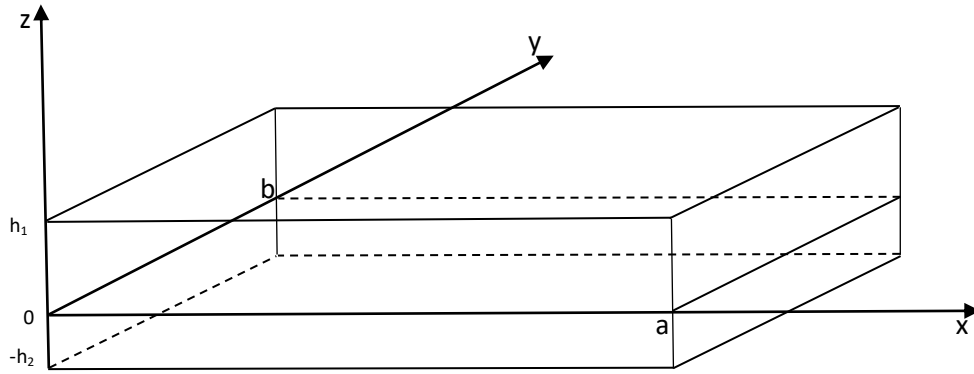


Рис.1

Решение сформулированной задачи будем искать в виде

$$\begin{aligned}
\sigma_{\alpha\beta}^k(x, y, z, t) &= \sigma_{ij}^k(x, y, z) \exp(i\Omega t), \quad \alpha, \beta = x, y, z, \quad i, j = 1, 2, 3, \quad k = I, II. \quad (5) \\
(u^k(x, y, z, t), v^k(x, y, z, t), w^k(x, y, z, t)) &= (u_x^k(x, y, z), u_y^k(x, y, z), u_z^k(x, y, z)) \exp(i\Omega t),
\end{aligned}$$

Перейдя в динамических уравнениях и соотношениях упругости к безразмерным координатам и перемещениям

$$\xi = x/l, \quad \eta = y/l, \quad \zeta = z/h, \quad U = u_x/l, \quad V = u_y/l, \quad W = u_z/l, \quad (6)$$

получим сингулярно возмущенную малым параметром $\varepsilon = h/l$ систему:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{11}^k}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{12}^k}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{13}^k}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \rho^k \Omega_*^2 U^k &= 0, \quad \frac{\partial \sigma_{12}^k}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{22}^k}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{23}^k}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \rho^k \Omega_*^2 V^k = 0, \\ \frac{\partial \sigma_{13}^k}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{23}^k}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{33}^k}{\partial \zeta} + \varepsilon^{-2} \rho^k \Omega_*^2 W^k &= 0, \quad \frac{\partial U^k}{\partial \xi} = a_{11}^k \sigma_{11}^k + a_{12}^k \sigma_{22}^k + a_{13}^k \sigma_{33}^k, \\ \frac{\partial V^k}{\partial \eta} &= a_{12}^k \sigma_{11}^k + a_{22}^k \sigma_{22}^k + a_{23}^k \sigma_{33}^k, \quad \varepsilon^{-1} \frac{\partial W^k}{\partial \zeta} = a_{13}^k \sigma_{11}^k + a_{23}^k \sigma_{22}^k + a_{33}^k \sigma_{33}^k, \\ \frac{\partial V^k}{\partial \xi} + \frac{\partial U^k}{\partial \eta} &= a_{66}^k \sigma_{12}^k, \quad \frac{\partial W^k}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial U^k}{\partial \zeta} = a_{55}^k \sigma_{13}^k. \end{aligned} \quad (7)$$

$$\frac{\partial W^k}{\partial \eta} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial V^k}{\partial \zeta} = a_{44}^k \sigma_{23}^k, \quad \Omega_*^2 = H^2 \Omega^2, \quad k = I, II$$

Решение системы (7) складывается из решений внешней задачи (I^{out}) и пограничного слоя (I_b), т.е. $I = I^{out} + I_b$.

Решение внешней задачи будем искать в виде

$$\begin{aligned} \sigma_{ij}^{kout} &= \varepsilon^{-1+s} \sigma_{ij}^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad i, j = 1, 2, 3, \quad s = \overline{0, N} \\ (U^{kout}, V^{kout}, W^{kout}) &= \varepsilon^s (U^{k(s)}, V^{k(s)}, W^{k(s)}), \quad k = I, II. \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь $s = \overline{0, N}$ (обозначение Эйнштейна) означает, что в (8) по повторяющемуся индексу s происходит суммирование от нуля до числа приближений N . Подставив (8) в (7) и приравняв в каждом уравнении коэффициенты при одинаковых степенях ε , получим следующую непротиворечивую систему для определения коэффициентов $\sigma_{ij}^{k(s)}, U^{k(s)}, V^{k(s)}, W^{k(s)}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{11}^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{12}^{k(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial \sigma_{13}^{k(s)}}{\partial \zeta} + \rho^k \Omega_*^2 U^{k(s)} &= 0, \quad \frac{\partial \sigma_{12}^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{22}^{k(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial \sigma_{23}^{k(s)}}{\partial \zeta} + \rho^k \Omega_*^2 V^{k(s)} = 0, \\ \frac{\partial \sigma_{13}^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{23}^{k(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial \sigma_{33}^{k(s)}}{\partial \zeta} + \rho^k \Omega_*^2 W^{k(s)} &= 0, \quad \frac{\partial U^{k(s-1)}}{\partial \xi} = a_{11}^k \sigma_{11}^{k(s)} + a_{12}^k \sigma_{22}^{k(s)} + a_{13}^k \sigma_{33}^{k(s)}, \\ \frac{\partial V^{k(s-1)}}{\partial \eta} &= a_{12}^k \sigma_{11}^{k(s)} + a_{22}^k \sigma_{22}^{k(s)} + a_{23}^k \sigma_{33}^{k(s)}, \quad \frac{\partial W^{k(s)}}{\partial \zeta} = a_{13}^k \sigma_{11}^{k(s)} + a_{23}^k \sigma_{22}^{k(s)} + a_{33}^k \sigma_{33}^{k(s)}. \end{aligned} \quad (9)$$

$$\frac{\partial V^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial U^{k(s-1)}}{\partial \eta} = a_{66}^k \sigma_{12}^{k(s)}, \quad \frac{\partial W^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial U^{k(s)}}{\partial \zeta} = a_{55}^k \sigma_{13}^{k(s)}, \quad \frac{\partial W^{k(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial V^{k(s)}}{\partial \zeta} = a_{44}^k \sigma_{23}^{k(s)},$$

Из системы (10) все напряжения можно выразить через перемещения по формулам

$$\begin{aligned} \sigma_{13}^{k(s)} &= \frac{1}{a_{55}^k} \left(\frac{\partial U^{k(s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial W^{k(s-1)}}{\partial \xi} \right), \quad \sigma_{23}^{k(s)} = \frac{1}{a_{44}^k} \left(\frac{\partial V^{k(s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial W^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right), \\ \sigma_{12}^{k(s)} &= \frac{1}{a_{66}^k} \left(\frac{\partial U^{k(s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial V^{k(s-1)}}{\partial \xi} \right), \quad \sigma_{11}^{k(s)} = \frac{1}{\Delta^k} \left(-A_{23}^k \frac{\partial W^{k(s)}}{\partial \zeta} + A_{22}^k \frac{\partial U^{k(s-1)}}{\partial \xi} - A_{12}^k \frac{\partial V^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right), \\ \sigma_{22}^{k(s)} &= \frac{1}{\Delta^k} \left(-A_{13}^k \frac{\partial W^{k(s)}}{\partial \zeta} - A_{12}^k \frac{\partial U^{k(s-1)}}{\partial \xi} + A_{33}^k \frac{\partial V^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right), \\ \sigma_{33}^{k(s)} &= \frac{1}{\Delta^k} \left(A_{11}^k \frac{\partial W^{k(s)}}{\partial \zeta} - A_{23}^k \frac{\partial U^{k(s-1)}}{\partial \xi} - A_{13}^k \frac{\partial V^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right), \quad Q^{k(m)} \equiv 0, \text{ при } m < 0, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} A_{11}^k &= a_{11}^k a_{22}^k - (a_{12}^k)^2, \quad A_{12}^k = a_{12}^k a_{33}^k - a_{23}^k a_{13}^k, \quad A_{13}^k = a_{11}^k a_{23}^k - a_{13}^k a_{12}^k, \\ A_{22}^k &= a_{22}^k a_{33}^k - (a_{23}^k)^2, \quad A_{23}^k = a_{13}^k a_{22}^k - a_{12}^k a_{23}^k, \quad A_{33}^k = a_{11}^k a_{33}^k - (a_{13}^k)^2, \\ \Delta^k &= a_{11}^k A_{22}^k - a_{12}^k A_{12}^k - a_{13}^k A_{23}^k, \end{aligned} \quad (11)$$

а для определения $U^{k(s)}, V^{k(s)}, W^{k(s)}$ получим уравнения

$$\frac{\partial^2 U^{k(s)}}{\partial \zeta^2} + a_{55}^k \rho^k \Omega_*^2 U^{k(s)} = R_U^{k(s)}, \quad R_U^{k(s)} = -a_{55}^k \left(\frac{\partial \sigma_{11}^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{12}^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right) - \frac{\partial^2 W^{k(s-1)}}{\partial \xi \partial \zeta}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 V^{k(s)}}{\partial \zeta^2} + a_{44}^k \rho^k \Omega_*^2 V^{k(s)} = R_V^{k(s)}, \quad R_V^{k(s)} = -a_{44}^k \left(\frac{\partial \sigma_{12}^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{22}^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right) - \frac{\partial^2 W^{k(s-1)}}{\partial \eta \partial \zeta}, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} A_{11}^k \frac{\partial^2 W^{k(s)}}{\partial \zeta^2} + \Delta^k \rho^k \Omega_*^2 W^{k(s)} &= R_W^{k(s)}, \\ R_W^{k(s)} &= -\Delta^k \left(\frac{\partial \sigma_{13}^{k(s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial \sigma_{23}^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right) + A_{23}^k \frac{\partial^2 U^{k(s-1)}}{\partial \xi \partial \zeta} + A_{13}^k \frac{\partial^2 V^{k(s-1)}}{\partial \eta \partial \zeta}. \end{aligned} \quad (14)$$

Решениями этих уравнений являются

$$\begin{aligned}
U^{k(s)} &= C_1^{k(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1^k \zeta + C_2^{k(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1^k \zeta + U_\tau^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad \gamma_1^k = \Omega_* \sqrt{\rho^k a_{55}^k}, \\
V^{k(s)} &= C_3^{k(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_2^k \zeta + C_4^{k(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_2^k \zeta + V_\tau^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad \gamma_2^k = \Omega_* \sqrt{\rho^k a_{44}^k}, \\
W^{k(s)} &= C_5^{k(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_3^k \zeta + C_6^{k(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_3^k \zeta + W_\tau^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta), \quad \gamma_3^k = \Omega_* \sqrt{\rho^k \Delta^k / A_{11}^k},
\end{aligned} \tag{15}$$

где $U_\tau^{k(s)}$, $V_\tau^{k(s)}$, $W_\tau^{k(s)}$ – частные решения уравнений.

Подставив значения $U^{k(s)}$, $V^{k(s)}$, $W^{k(s)}$ в формулы (10), для напряжений $\sigma_{13}^{k(s)}$, $\sigma_{23}^{k(s)}$, $\sigma_{33}^{k(s)}$ будем иметь

$$\begin{aligned}
\sigma_{13}^{k(s)} &= \Omega_* \sqrt{\rho^k / a_{55}^k} \left(C_1^{k(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1^k \zeta - C_2^{k(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1^k \zeta \right) + f_{13}^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta), \\
\sigma_{23}^{k(s)} &= \Omega_* \sqrt{\rho^k / a_{44}^k} \left(C_3^{k(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_2^k \zeta - C_4^{k(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_2^k \zeta \right) + f_{23}^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta), \\
\sigma_{33}^{k(s)} &= \Omega_* \sqrt{\rho^k A_{11}^k / \Delta^k} \left(C_5^{k(s)}(\xi, \eta) \cos \gamma_3^k \zeta - C_6^{k(s)}(\xi, \eta) \sin \gamma_3^k \zeta \right) + f_{33}^{k(s)}(\xi, \eta, \zeta),
\end{aligned} \tag{16}$$

где

$$\begin{aligned}
f_{13}^{k(s)} &= \frac{1}{a_{55}^k} \left(\frac{\partial U_\tau^{k(s)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial W_\tau^{k(s-1)}}{\partial \xi} \right), \quad f_{23}^{k(s)} = \frac{1}{a_{44}^k} \frac{\partial V_\tau^{k(s)}}{\partial \zeta} + \frac{1}{a_{55}^k} \frac{\partial W_\tau^{k(s-1)}}{\partial \eta}, \\
f_{33}^{k(s)} &= \frac{A_{11}^k}{\Delta^k} \frac{\partial W_\tau^{k(s)}}{\partial \zeta} - \frac{1}{\Delta^k} \left(A_{23}^k \frac{\partial U_\tau^{k(s-1)}}{\partial \xi} + A_{13}^k \frac{\partial V_\tau^{k(s-1)}}{\partial \eta} \right).
\end{aligned} \tag{17}$$

Удовлетворив граничным условиям (3) и условиям контакта (4), получим алгебраическую систему относительно $C_j^{k(s)}$. Решив эту систему, получим

$$\begin{aligned}
C_1^{I(s)} &= d_7^{(s)} + b_3 C_1^{II(s)}, \quad C_2^{I(s)} = d_{10}^{(s)} + C_2^{II(s)}, \quad C_3^{I(s)} = d_8^{(s)} + b_4 C_3^{II(s)}, \\
C_4^{I(s)} &= d_{11}^{(s)} + C_4^{II(s)}, \quad C_5^{I(s)} = d_9^{(s)} + b_5 C_5^{II(s)}, \quad C_6^{I(s)} = d_{12}^{(s)} + C_6^{II(s)}, \\
C_5^{II(s)} &= \frac{1}{b_5 B_5^I - B_6^I B_5^{II}} \left[d_3^{(s)} - B_5^I d_9^{(s)} + B_6^I d_{12}^{(s)} + B_6^I d_6^{(s)} \right], \\
C_6^{II(s)} &= d_6^{(s)} + B_5^{II} C_5^{II(s)}, \quad C_3^{II(s)} = \frac{1}{B_3^{II}} \left[d_5^{(s)} + b_2 B_6^{II} d_6^{(s)} + (b_2 + 1) B_5^{II} C_5^{II(s)} \right], \\
C_4^{II(s)} &= \frac{1}{b_4 B_3^I B_4^{II} + B_3^{II} B_4^I} \left[B_3^I b_4 \left(d_5^{(s)} + b_2 B_6^{II} d_6^{(s)} + (b_2 + 1) B_5^{II} C_5^{II(s)} \right) - d_2^{(s)} - B_4^I d_{11}^{(s)} + B_3^I d_8^{(s)} \right], \\
C_2^{II(s)} &= \frac{1}{b_3 B_1^I B_2^{II} + B_2^I B_1^{II}} \left[b_3 B_1^I \left(d_4^{(s)} + b_1 B_6^{II} d_6^{(s)} + (1 + B_6^{II}) b_1 B_5^{II} C_5^{II(s)} \right) - B_1^{II} (d_1^{(s)} - B_1^I d_7^{(s)} + B_2^I d_{10}^{(s)}) \right], \\
C_1^{II(s)} &= \frac{1}{B_1^{II}} \left[d_4^{(s)} + b_1 B_6^{II} d_6^{(s)} + (1 + B_6^{II}) b_1 B_5^{II} C_5^{II(s)} - B_2^{II} C_2^{II(s)} \right],
\end{aligned} \tag{18}$$

где

$$\begin{aligned}
B_1^I &= \cos \gamma_1^I \zeta_1, & B_2^I &= \sin \gamma_1^I \zeta_1, & B_3^I &= \cos \gamma_2^I \zeta_1, & B_4^I &= \sin \gamma_2^I \zeta_1, \\
B_5^I &= \cos \gamma_3^I \zeta_1, & B_6^I &= \sin \gamma_3^I \zeta_1, & B_1^{II} &= \cos \gamma_1^{II} \zeta_2, & B_2^{II} &= \sin \gamma_1^{II} \zeta_2, \\
B_3^{II} &= \cos \gamma_2^{II} \zeta_2, & B_4^{II} &= \sin \gamma_2^{II} \zeta_2, & B_5^{II} &= \cos \gamma_3^{II} \zeta_2, & B_6^{II} &= \sin \gamma_3^{II} \zeta_2, \\
b_1 &= f_1 \sqrt{\frac{A_{11}^{II} a_{55}^{II}}{\Delta^{II}}}, & b_2 &= f_2 \sqrt{\frac{A_{11}^{II} a_{44}^{II}}{\Delta^{II}}}, & b_3 &= \sqrt{\frac{a_{55}^I \rho^{II}}{a_{55}^{II} \rho^I}}, & b_4 &= \sqrt{\frac{a_{44}^I \rho^{II}}{a_{44}^{II} \rho^I}}, & b_5 &= \sqrt{\frac{A_{11}^{II} \rho^{II} \Delta^I}{A_{11}^I \rho^I \Delta^{II}}}, \\
d_1^{(s)} &= -\frac{1}{\Omega_*} \sqrt{a_{55}^I / \rho^I} f_{13}^{I(s)}(\xi, \eta, \zeta_1), & d_2^{(s)} &= -\frac{1}{\Omega_*} \sqrt{a_{44}^I / \rho^I} f_{23}^{I(s)}(\xi, \eta, \zeta_1), \\
d_3^{(s)} &= -\frac{1}{\Omega_*} \sqrt{\frac{\Delta^I}{A_{11}^I \rho^I}} \left(\sigma_{zz}^{+(s)} + f_{33}^{I(s)}(\xi, \eta, \zeta_1) \right), & \sigma_{zz}^{+(0)} &= \varepsilon \sigma_{zz}^+, & \sigma_{zz}^{+(s)} &= 0, \quad s \neq 0, \\
d_4^{(s)} &= \frac{1}{\Omega_*} \sqrt{a_{55}^{II} / \rho^{II}} \left(f_{13}^{II(s)}(\xi, \eta, -\zeta_2) - f_{13}^{II(s)}(\xi, \eta, -\zeta_2) \right), \\
d_5^{(s)} &= \frac{1}{\Omega_*} \sqrt{a_{44}^{II} / \rho^{II}} \left(f_{23}^{II(s)}(\xi, \eta, -\zeta_2) - f_{23}^{II(s)}(\xi, \eta, -\zeta_2) \right), & d_6^{(s)} &= -W_\tau^{II(s)}(\xi, \eta, -\zeta_2), \\
d_7^{(s)} &= \frac{1}{\Omega_*} \sqrt{a_{55}^I / \rho^I} \left(f_{13}^{II(s)}(\xi, \eta, 0) - f_{13}^{I(s)}(\xi, \eta, 0) \right), \\
d_8^{(s)} &= \frac{1}{\Omega_*} \sqrt{a_{44}^I / \rho^I} \left(f_{23}^{II(s)}(\xi, \eta, 0) - f_{23}^{I(s)}(\xi, \eta, 0) \right), \\
d_9^{(s)} &= \frac{1}{\Omega_*} \sqrt{\frac{\Delta^I}{A_{11}^I \rho^I}} \left(f_{33}^{II(s)}(\xi, \eta, 0) - f_{33}^{I(s)}(\xi, \eta, 0) \right), \\
d_{10}^{(s)} &= U_\tau^{II(s)}(\xi, \eta, 0) - U_\tau^{I(s)}(\xi, \eta, 0) & d_{11}^{(s)} &= V_\tau^{II(s)}(\xi, \eta, 0) - V_\tau^{I(s)}(\xi, \eta, 0), \\
d_{12}^{(s)} &= W_\tau^{II(s)}(\xi, \eta, 0) - W_\tau^{I(s)}(\xi, \eta, 0),
\end{aligned} \tag{19}$$

После определения $C_j^{k(s)}$ по формулам (15) определяются компоненты вектора перемещения, а по формулам (10), (16) – все компоненты тензора напряжений.

2. О математически точных решениях внешней задачи. Если функция σ_{zz}^+ является многочленом от ξ, η , итерация обрывается на определённом приближении. В результате будем иметь математически точное решение внешней задачи. В качестве иллюстрации рассмотрим случаи, когда $\sigma_{zz}^+ = a_0 + a_1 \xi + a_2 \eta$. Итерация обрывается на приближении $s=1$. В результате имеем математически точное решение

$$\begin{aligned}
u^k &= l \left(U^{k(0)} + \varepsilon U^{k(1)} \right) \exp(i\Omega t), \quad v^k = l \left(V^{k(0)} + \varepsilon V^{k(1)} \right) \exp(i\Omega t), \quad w^k = l \left(W^{k(0)} + \varepsilon W^{k(1)} \right) \exp(i\Omega t), \\
\sigma_{\alpha\beta}^k &= \left(\varepsilon^{-1} \sigma_{\alpha\beta}^{k(0)} + \sigma_{\alpha\beta}^{k(1)} \right) \exp(i\Omega t), \quad \alpha, \beta = x, y, z, \quad k = I, II. \\
U^{k(0)} &= C_1^{k(0)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1^k \zeta + C_2^{k(0)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1^k \zeta, \\
V^{k(0)} &= C_3^{k(0)}(\xi, \eta) \sin \gamma_2^k \zeta + C_4^{k(0)}(\xi, \eta) \cos \gamma_2^k \zeta, \\
W^{k(0)} &= C_5^{k(0)}(\xi, \eta) \sin \gamma_3^k \zeta + C_6^{k(0)}(\xi, \eta) \cos \gamma_3^k \zeta. \\
C_1^{I(0)} &= b_3 C_1^{II(0)}, \quad C_2^{I(0)} = C_2^{II(0)}, \quad C_3^{I(0)} = b_4 C_3^{II(0)}, \quad C_4^{I(0)} = C_4^{II(0)}, \\
C_5^{I(0)} &= b_5 C_5^{II(0)}, \quad C_6^{I(0)} = C_6^{II(0)}, \\
C_5^{II(0)} &= \frac{d_3^{(0)}}{b_5 B_5^I - B_6^I B_5^{II}}, \quad C_1^{II(0)} = \frac{(1 + B_6^{II}) b_1 B_5^{II} C_5^{II(s)}}{B_1^{II}}, \quad C_2^{II(0)} = \frac{b_3 B_1^I (1 + B_6^{II}) b_1 B_5^{II} C_5^{II(s)}}{b_3 B_1^I B_2^{II} + B_2^I B_1^{II}}, \\
C_3^{II(0)} &= \frac{(b_2 + 1) B_5^{II} C_5^{II(0)}}{B_3^{II}}, \quad C_4^{II(0)} = \frac{B_5^I b_4 (b_2 + 1) B_5^{II} C_5^{II(s)}}{b_4 B_3^I B_4^{II} + B_3^{II} B_4^I}, \quad C_6^{II(0)} = B_5^{II} C_5^{II(s)}, \\
d_3^{(0)} &= -\frac{\varepsilon}{\Omega_*} \sqrt{\frac{\Delta^I}{A_{11}^I \rho^I}} (a_0 + a_1 \xi + a_2 \eta)
\end{aligned} \tag{20}$$

Напряжения $\sigma_{\alpha\beta}^{k(0)}$ определяются по формулам (10), (16), где

$$f_{13}^{k(0)} = f_{23}^{k(0)} = f_{33}^{k(0)} = 0.$$

Для величин при $s = 1$ имеем

$$\begin{aligned}
U^{k(1)} &= C_1^{k(1)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1^k \zeta + C_2^{k(1)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1^k \zeta + U_\tau^{k(1)}(\xi, \eta, \zeta), \\
V^{k(1)} &= C_3^{k(1)}(\xi, \eta) \sin \gamma_2^k \zeta + C_4^{k(1)}(\xi, \eta) \cos \gamma_2^k \zeta + V_\tau^{k(1)}(\xi, \eta, \zeta), \\
W^{k(1)} &= C_5^{k(1)}(\xi, \eta) \sin \gamma_3^k \zeta + C_6^{k(1)}(\xi, \eta) \cos \gamma_3^k \zeta + W_\tau^{k(1)}(\xi, \eta, \zeta). \\
U_\tau^{k(1)}(\xi, \eta, \zeta) &= D_1^{k(1)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1^k \zeta + D_2^{k(1)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1^k \zeta, \\
&\left(U_\tau^{k(1)}, V_\tau^{k(1)}; D_1^{k(1)}, D_3^{k(1)}; D_2^{k(1)}, D_4^{k(1)}; a_{55}^k, a_{44}^k; A_{23}^k, A_{13}^k; a_1, a_2 \right) \\
D_1^{II(1)} &= \frac{\delta \varepsilon a_1 B_5^{II} \left(a_{55}^{II} A_{23}^{II} - \gamma_3^{II} \Delta^{II} \right)}{\Delta^{II} \left(a_{55}^{II} \rho^{II} \Omega_*^2 - (\gamma_3^{II})^2 \right)}, \quad D_2^{II(1)} = \frac{\delta \varepsilon a_1 (a_{55}^{II} A_{23}^{II} + \gamma_3^{II} \Delta^{II})}{\Delta^{II} \left(a_{55}^{II} \rho^{II} \Omega_*^2 - (\gamma_3^{II})^2 \right)}, \\
D_1^{I(1)} &= b_5 D_1^{II(1)}, \quad D_2^{I(1)} = b_5 D_2^{II(1)}, \quad \delta = -\frac{\sqrt{\Delta^I / A_{11}^I \rho^I}}{(b_5 B_5^I - B_6^I B_5^{II}) \Omega_*},
\end{aligned} \tag{21}$$

$$\begin{aligned}
W_\tau^{k(1)}(\xi, \eta, \zeta) &= D_5^{k(1)}(\xi, \eta) \sin \gamma_1^k \zeta + D_6^{k(1)}(\xi, \eta) \cos \gamma_1^k \zeta + D_7^{k(1)}(\xi, \eta) \sin \gamma_2^k \zeta + D_8^{k(1)}(\xi, \eta) \cos \gamma_2^k \zeta, \\
D_5^{II(1)} &= \left(\frac{\Delta^{II}}{a_{55}^{II}} + A_{23}^{II} \right) \frac{b_3 B_3^I B_5^{II} \varepsilon a_1 \delta \gamma_1^{II} (1 + B_6^{II})}{(b_3 B_3^I B_2^{II} + B_2^I B_1^{II})(\Delta^{II} \rho^{II} \Omega_*^2 - A_{11}^{II} (\gamma_1^{II})^2)}, \\
D_6^{II(1)} &= \left(\frac{\Delta^{II}}{a_{55}^{II}} + A_{23}^{II} \right) \frac{b_3 B_5^{II} \varepsilon a_1 \delta \gamma_1^{II} (1 + B_6^{II})}{B_1^{II} (\Delta^{II} \rho^{II} \Omega_*^2 - A_{11}^{II} (\gamma_1^{II})^2)}, \\
D_7^{II(1)} &= \left(\frac{\Delta^{II}}{a_{44}^{II}} + A_{13}^{II} \right) \frac{b_4 B_3^I B_5^{II} \varepsilon a_2 \delta \gamma_2^{II} (1 + b_2)}{(b_4 B_3^I B_4^{II} + B_4^I B_3^{II})(\Delta^{II} \rho^{II} \Omega_*^2 - A_{11}^{II} (\gamma_1^{II})^2)}, \\
D_8^{II(1)} &= \left(\frac{\Delta^{II}}{a_{44}^{II}} + A_{13}^{II} \right) \frac{B_5^{II} \varepsilon a_2 \delta \gamma_2^{II} (1 + b_2)}{B_3^{II} (\Delta^{II} \rho^{II} \Omega_*^2 - A_{11}^{II} (\gamma_1^{II})^2)}, \\
D_5^{I(1)} &= D_5^{II(1)}, \quad D_6^{I(1)} = b_3 D_6^{II(1)}, \quad D_7^{I(1)} = D_7^{II(1)}, \quad D_8^{I(1)} = b_4 D_8^{II(1)}.
\end{aligned}$$

Напряжения $\sigma_{\alpha\beta}^{k(1)}$ определяются аналогичным образом.

Институт механики НАН РА
e-mails: lagal@sci.am, mheraghalovyan@yahoo.com,
zaqaryantatevik@mail.ru

Академик Л. А. Агаловян, М. Л. Агаловян, Т. В. Закарян

О решении трёхмерной динамической смешанной задачи двухслойных ортотропных пластин, лежащих на жесткой подстилке

Решена пространственная смешанная динамическая задача теории упругости для двухслойной ортотропной пластинки. Считается что нижняя кромка пластинки жёстко закреплена с абсолютно жёстким основанием, а на верхнюю кромку двухслойного пакета действует нормальная нагрузка, гармонически меняющаяся во времени. Асимптотическим методом определены амплитуды вынужденных колебаний, компоненты тензора напряжений. Указаны случаи, когда найденное решение становится математически точным.

Ակադեմիկոս Լ. Ա. Աղալովյան, Մ. Լ. Աղալովյան, Տ. Վ. Ջաքարյան

Կոշտ հենարանի վրա դրված երկշերտ օրթոտրոպ սալերի եռաչափ դինամիկական խառը խնդրի լուծման մասին

Ասիմպտոտիկ մեթոդով լուծված է առաձգականության տեսության տարածական դինամիկական խառը եզրային խնդիր երկշերտ սալի համար, որը դրված է կոշտ հենարանի վրա: Կառուցված է իտեռացիոն պրոցես, որը հնարավորություն է ընձեռում որոշելու լարման թենզորի և տեղափոխման վեկտորի բոլոր բաղադրիչները նախօրոք տրված ասիմպտոտիկ ճշտությամբ: Նշված են այն դեպքերը, երբ ստացված լուծումը դառնում է մաթեմատիկորեն ճշգրիտ: Բերված է իլյուստրացիոն օրինակ:

Academician L. A. Aghalovyan, M. L. Aghalovyan, T. V. Zakaryan

**On the Solution of the Three-Dimensional Dynamic Mixed Problem
of Two-Layer Orthotropic Plates Lying on a Rigid Litter**

The spatial mixed dynamic problem of the theory of elasticity for a two-layer orthotropic plate is solved. It is considered that the lower edge of the plate is rigidly fixed with an absolutely rigid base, while the upper edge of the two-layer package is subject to normal load harmonically varying with time. The amplitudes of forced vibrations and the components of the stress tensor are determined by the asymptotic method. Cases are indicated when the solution becomes mathematically accurate.

Литература

1. Гольденвейзер А.Л. Теория упругих тонких оболочек. М. Наука. Физматлит. 1976. 512 с.
2. Aghalovyan L. A. Asymptotic Theory of Anisotropic Plates and Shells. Singapore. World Scientific Publishing. 2015. 376 p. (Рус. издание: Агалосян Л. А. Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука. Физматлит. 1997. 414 с.)
3. Агалосян Л.А., Геворкян Р.С. Неклассические краевые задачи анизотропных слоистых балок, пластин и оболочек. Ереван. Гитутюн. 2005. 468 с. (Aghalovyan L. A., Gevorgyan R. S. Nonclassical Boundary-Value Problems of Anisotropic Layered Beams, Plates and Shells. Yer. Gitutyun. 2005. 468 p.)
4. Агалосян Л.А. – Изв. вузов РФ. Северо-Кавказский регион. Естеств. науки. 2000. № 3. С. 8-11.
5. Агалосян Л.А., Закарян Т.В. – Изв. НАН РА. Механика. 2011. Т.64. №2. С.15-25.
6. Саргсян М.З.В кн.: Механика. 2009. Тр. междунар. школы-конф. молодых ученых. Ереван. Изд-во ЕГУАС. 2009. С. 297-303.

BIOLOGY

УДК 577:579.25:579.842.14

M. K. Zakharyan¹, K. A. Arakelova¹, Z. U. Gevorgyan²,
A. M. Sedrakyan¹

**Efflux Pumps in Non-Typhoidal *Salmonella* Isolates
Recovered from Patients in Armenia**

(Submitted by corresponding member of NAS RA R. M. Aroutiounian 17/IX 2021)

Keywords: *non-typhoidal Salmonella*, antimicrobial resistance, WGS, efflux pumps, ethidium bromide cartwheel method.

Non-typhoid *Salmonella* (NTS) infection is considered as one of the most frequent foodborne diarrheal diseases that cause morbidity and mortality worldwide [1]. Third-generation cephalosporins for children, and fluoroquinolones for adults are recommended in complicated cases [2]. The emergence and dissemination of resistant bacteria hampers the use of conventional antibiotics, and growing resistance to new antimicrobial (AM) agents as well as widespread dissemination of multidrug-resistance (MDR) among NTS isolates is aggravating the situation and complicated control and treatment of salmonellosis [2].

Active efflux of antibiotics is considered as one of the most important mechanisms of resistance in NTS strains [3]. Efflux pumps (EPs) are proteins localized in plasma membrane in bacterial cell, which are known to efflux a wide range of compounds (antibiotics, dyes, detergents, disinfectants, etc.) from within the bacterial cell to the external environment. Expression of EP is strongly regulated [3].

Salmonellosis is one of the major foodborne infections in Armenia [4]. According to the Statistical Committee of the Republic of Armenia [4] salmonellosis became a leading foodborne bacterial infection in Armenia in 2019 and 2020. In our previous studies the tendency toward the MDR phenotype among the human NTS isolates collected in Armenia was identified [5] and acquired AM resistance genes were characterized based on whole genome sequencing (WGS) data analysis [6]. However, there is a lack of information on the contribution of active efflux mechanisms in the development of AM resistance in human NTS isolates circulating in Armenia. Thus, the main objectives of this work were: (i) *in silico* identification of known EP genes in

MDR and non-MDR NTS isolates recovered from patients in Armenia using WGS data, (ii) exploration of EP activity in these isolates by the Ethidium bromide cartwheel method.

Materials and methods. The study included a total of 44 NTS strains isolated from patients with salmonellosis over the period from 1996 to 2016 at the “National Centre for Infectious Diseases” (MH, Armenia). All the strains isolated from fecal samples confirmed to be *Salmonella enterica* by standard biochemical tests. Serotypes of *Salmonella* were determined using the standard Kauffman-White scheme [7].

Antimicrobial susceptibility determination. Susceptibility to 14 AM agents belonging to 9 different classes was tested according to the guidelines of the Clinical and Laboratory Standards Institute by disk diffusion assays [8]. *Escherichia coli* ATCC 25922 strain was used for quality control. Isolates that were resistant to at least three different classes of AMs were considered as MDR.

WGS and annotation. DNA samples of NTS strains were extracted using MO BIO Laboratories Inc. UltraClean® Microbial DNA Isolation Kit in accordance with the manufacturer’s instructions. WGS of NTS isolates was performed by WGS provider, MicrobesNG (<https://microbesng.uk/>), within the frames of the ISTC project A-2140. Whole genome sequences of 44 isolates of NTS are available in the European Nucleotide Archive database (Project PRJEB36290). Resistance Gene Identifier tool (RGI [9]) was employed for *in silico* prediction of EP genes.

Ethidium bromide cartwheel (EtBrC) method. The EPs activity in NTS isolates was assessed by ethidium bromide EtBrC test as described [10] with slight modification. Briefly, overnight cultures of the bacterial isolates adjusted to 0.5 of a McFarland standard were streaked as cartwheel pattern on freshly prepared Trypticase soy agar (TSA) plates containing concentrations of EtBr ranging from 0.0 to 2.0 mg/L. The TSA plates were incubated at 37°C for 16 hours and then examined under UV light. The minimum concentration of EtBr that produces fluorescence for each isolate was recorded and the TSA-EtBr plates photographed. Isolates without fluorescence indicated EP activity, whereas those that fluoresced lacked EP activity.

Statistical analyses. *P* value (two-tailed) from Fisher’s exact test was calculated to evaluate statistical differences between the compared groups. *P* values $\leq 0,05$ were considered to be significant.

Results and discussion. A total of 44 NTS isolates recovered from fecal samples of patients with salmonellosis were included in this study. Of these, 33 isolates (75%) were resistant to 3 or more classes of AMs, i.e., displayed the MDR phenotype. The small set of highly virulent isolates that exhibited a non-MDR phenotype (11 isolates, 25%) was also included in the study for comparative analysis. The most predominant serotype in this study is *S. ser. Typhimurium* (*S. Typhimurium*; 70.45%, 31/44), represented by 25 MDR isolates and 6 non-MDR isolates. The second most represented serotype is *S. ser. Enteritidis* (*S. Enteritidis*): 4 MDR and 3 non-MDR isolates. In addition, 5

isolates belonging to NTS serotypes with lower prevalence in Armenia (2 *S. ser. Derby*, 1 *S. ser. Kentucky*, *S. ser. Agona*, and 1 *S. ser. Newport* isolates) were subjected to WGS given the importance of the AM resistance phenotypes detected.

The most frequent AM resistance profile that includes resistance to ampicillin, amoxicillin-clavulanic acid, ceftriaxone, ceftazidime, and nalidixic acid, was encountered in 48.48% of MDR isolates (16/33). Remarkably, an alarming number of MDR isolates, 12 isolates (36.36%), displayed simultaneous resistance towards third-generation cephalosporins and fluoroquinolones that are most commonly used to treat *Salmonella* infections. Among the 11 non-MDR isolates, 4 isolates (3 *S. Typhimurium* and 1 *S. Enteritidis*) had no resistance to any of the tested AM agents. Resistance to one AM agent was identified in 2 isolates and the remaining 5 non-MDR isolates exhibited resistance to 2 AM agents.

Genomes of all NTS isolates in this study were interrogated for *in silico* prediction of genes encoding for EPs using RGI tool [9]. The presence, diversity and prevalence of EP genes as well as their correlation with the AM resistance phenotype was explored.

The results indicated that all NTS isolates in this study, regardless of serotype and AM resistance phenotype, had the following EPs: AcrAB, AcrD, AcrEF, EmrAB, KpnEF, MdfA, MdsAB, MdtAB, MdtK, MdtM, MsbA, and YojI. The lower prevalence was found for EPs conferring resistance to tetracycline: TetA (13.64%, 6/44) and TetB (15.91%, 7/44). It should be noted, that the presence of TetA or TetB EPs was detected in all tetracycline-resistant isolates (12/12), whereas among susceptible to tetracycline isolates only one isolate (non-MDR *S. ser. Derby* K89) was positive for TetB (1/32, $p < 0.0001$). Besides, the presence of the EP encoded by *qacEΔ1* gene that mediates antiseptic resistance was identified in 29.55% of isolates (13/44).

Genomes of all isolates were also inspected for genes encoding for outer membrane proteins. The *tolC* and *mdsC* genes were predicted in all NTS isolates.

The occurrence of genes involved in regulation of EPs was also explored in the genome sequences. According to CARD, the uniform presence of *acrR*, *acrS*, *baeR*, *baeS*, *cpxA*, *crp*, *emrR*, *golS*, *h-ns*, *kdpE*, *marA*, *marR*, *mdtG*, *ramA*, *rsmA*, and *sdiA* was identified in all NTS isolates, irrespectively of their AM resistance phenotype. Besides, the high prevalence was observed for *soxR* and *soxS* genes that were detected in all but one isolates (97.73%, 43/44). Notably, the *tetR* gene was found in all isolates that were positive for *tetA* or *tetB* genes.

The efflux activity of NTS isolates was assessed by the ability to pump out EtBr out of the cell. The results indicated that *E. coli* ATCC 25922 strain (negative control) demonstrated maximum fluorescence, starting with the lowest concentration of EtBr, 0.5 mg/L (Fig. 1, J). All NTS isolates in this study showed well distinguishable EPs activity compared to the negative control strain at all EtBr concentrations used. The results are summarized and

the representative fluorescence patterns of clinical NTS isolates (MDR and non-MDR) that were identified are presented in Fig. 1.

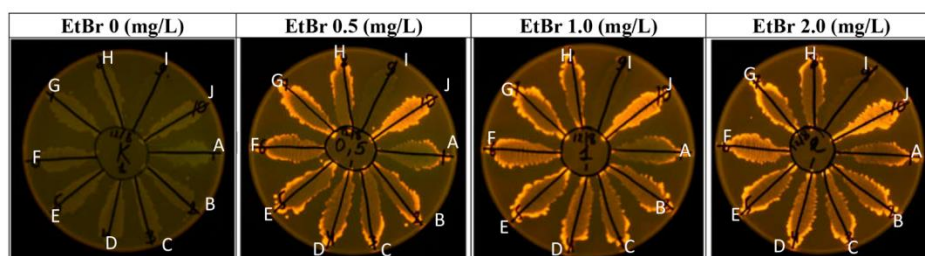


Fig. 1. Determination of efflux activity of NTS isolates by EtBrC method: A, B, C, and I – MDR *S. Typhimurium*; D, E – non-MDR *S. Typhimurium*; F – non-MDR *S. Derby* K89, G – MDR *S. Enteritidis*, H – non-MDR *S. Enteritidis*; J – *E. coli* ATCC25922 strain (negative control).

It should be emphasized that we detected two MDR *S. Typhimurium* isolates showing overexpression of EPs. These isolates did not fluoresce at all concentrations of EtBr used (Fig. 1, I). On the contrary, we detected non-MDR *S. ser. Derby* K89 isolate, displaying higher fluorescence, compared to all other NTS isolates at EtBr concentrations 1.0 mg/L and 2.0 mg/L (Fig. 1, F). However, the latter isolate did not reach the fluorescence level of the negative control strain even at the high concentrations of EtBr. The most common phenotype of fluorescence (Fig. 1; A-E, G, and H) was identified in 41 isolates of NTS: 31 MDR and 10 non-MDR. The subsequent experiments were performed to avoid differences in fluorescence levels due to variability in growth rate among NTS isolates. In brief, all NTS isolates were grown (16 h, 37°C) in TSA broth containing the same EtBr concentrations as in EtBrC test. The cell number in all bacterial suspensions was adjusted to 4.0 of a McFarland standard and 1 ml of each suspension was spined and the pellets were resuspended in an equal volume of TSA broth, 50 μ l. Then, 10 μ L of each obtained sample was loaded into the wells of a plastic chamber and examined under UV light. The summarized results demonstrating the identified profiles of fluorescence are presented in Figure 2. The titers of bacterial cells grown at EtBr concentration of 1.0 mg/L were evaluated.

The results indicated the pronounced efflux activity in all clinical NTS isolates compared to the negative control strain (Fig. 2, profile 1). The overexpression of efflux activity was detected in 12.12% (6/33) of MDR isolates (profiles 7 and 8), whereas this phenotype was not identified in non-MDR isolates. The lowest efflux activity (profile 2) was found in non-MDR *S. ser. Derby* K89 isolate mentioned above, which is consistent with the EtBrC test results. All other non-MDR isolates (90.9%, 10/11) demonstrated the phenotypes (profiles 3 and 5) that were identified in MDR isolates as well (profiles 4 and 6, respectively).

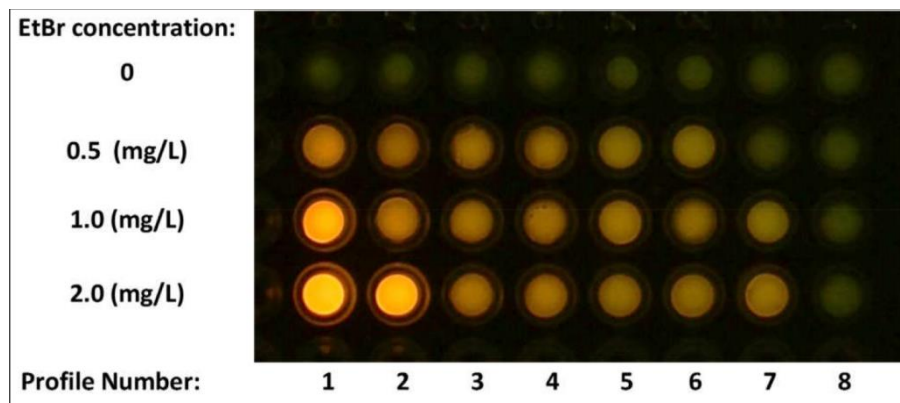


Fig. 2. Fluorescence profiles of NTS isolates in UV light after incubation with range of concentration of EtBr: 1 – *E. coli* ATCC 25922 (negative control); 2 – non-MDR *S. Derby* K89; 3, 5, 7, and 8 – MDR isolates; 4 and 6 – non-MDR isolates.

Thus, the uniform presence of major EP systems and their high activity was revealed in MDR and non-MDR isolates of NTS recovered from patients in Armenia. The results indicated a threatening potential for “awakening” of the MDR phenotype even in non-MDR strains, which is of great concern.

¹ Institute of Molecular Biology of NAS RA

² Yerevan State Medical University after M. Heratsi

e-mail: a_sedrakyan@mb.sci.am

**M. K. Zakharyan, K. A. Arakelova, Z. U. Gevorgyan,
A. M. Sedrakyan**

Efflux Pumps in Non-Typhoidal *Salmonella* Isolates Recovered from Patients in Armenia

Efflux pumps (EPs) in non-typhoidal *Salmonella* (NTS) isolates recovered from patients in Armenia were characterized. The uniform presence of major EPs, outer membrane proteins, and genes involved in regulation of EPs was identified in all NTS isolates, multidrug resistant (MDR) and non-MDR. The results indicated association of TetAR and TetBR EPs with resistance to tetracycline ($p < 0.0001$). The high activity of EPs was detected in NTS isolates by Ethidium bromide cartwheel (EtBrC) method.

**Մ. Կ. Զախարյան, Կ. Ա. Արակելովա, Զ. Ն. Գևորգյան,
Ա. Մ. Սեդրակյան**

**Հայաստանում հիվանդներից անջատված ոչ տիֆոիդ սալմոնելաների
իզոլատների արտազատման պոմպերը**

Բնութագրվել են Հայաստանում հիվանդներից անջատված ոչ տիֆոիդ սալմոնելաների (ՌՏՍ) իզոլատների ակտիվ արտազատման (ԱՄ) համակարգերը: Հակամանրէային դեղամիջոցների նկատմամբ բազմակայունությամբ օժտված զգայունություն

ցուցաբերող բոլոր հետազոտված ՈՏՍ իզոլյատների գենոմներում բացահայտվել է հիմնական ԱԱ համակարգերի, արտաքին թաղանթային սպիտակուցների և ԱԱ համակարգերի աշխատանքը կարգավորող գեների միատեսակ առկայություն: Բացահայտվել է TetAR և TetBR ԱԱ համակարգերի կապակցվածությունը տետրացիկլինի հանդեպ կայունության հետ ($p < 0.0001$): Բացահայտվել է ՈՏՍ իզոլյատների ԱԱ համակարգերի բարձր ակտիվություն՝ էթիդիում բրոմիդի ԱԱ մակարդակի գնահատման մեթոդի (EtBr cartwheel method) կիրառմամբ:

**Մ. Կ. Захарян, К. А. Аветикова, З. У. Геворгян,
А. М. Седракян**

Эффлюкс системы изолятов нетифоидных сальмонелл, выделенных от больных в Армении

Охарактеризованы эффлюкс системы (ЭС) изолятов нетифоидных сальмонелл (НТС), выделенных от больных в Армении. В геномах всех исследованных изолятов НТС, независимо от фенотипа множественной лекарственной устойчивости, обнаружен идентичный состав основных ЭС, белков наружной мембраны, а также регуляторных генов ЭС. Выявлена ассоциированность ЭС TetAR и TetBR с устойчивостью к тетрациклину ($p < 0.0001$). С применением метода, основанного на детекции уровня флуоресценции бактериальных суспензий в присутствии этидиум бромид (EtBr cartwheel method), выявлена повышенная активность ЭС в изолятах НТС.

References

1. World Health Organization. 2015. WHO estimates of the global burden of foodborne diseases: foodborne disease burden epidemiology reference group 2007-2015.
2. CDC. Antibiotic Resistance Threats in the United States, 2019; Atlanta, GA: U.S. Department of Health and Human Services.
3. Li X.-Z., Plésiat P., Nikaido H. – Clin. Microbiol. Rev. April 2015. V. 28(2). P. 337-417.
4. SCRA (2020). Statistical Committee of the Republic of Armenia/Socio-Economic Situation of RA/Public Health.
5. Sedrakyan A. M., Mnacakanyan A. A., Gevorgyan Z. U. et al. – Reports of NAS RA. 2007. V. 107. P. 87-93.
6. Sedrakyan A. M., Ktsoyan Z. A., Arakelova K. A. – Front. Microbiol. 2020. V. 11. Article 592223. doi: 10.3389/fmicb.2020.592223.
7. Grimont P. A. D., Weill F. X. – WHO Collaborating Centre for Reference and Research on *Salmonella*, Institut Pasteur, Paris, France. 2007.
8. CLSI. – CLSI supplement M100. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute; 2018.
9. Alcoc B. P., Rapheny A. R. et al. – Nucleic Acids Research. 2020. V. 48. P. 517-525.
10. Martins M., McCusker M. P., Viveiros M. et al. – Open Microbiol. J. 2013. V. 7. P. 72-82.

ЭКОЛОГИЯ

УДК 575.224.23

Член-корреспондент НАН РА Р. М. Арутюнян^{1,2}, Р. Э. Авалян²,
А. Л. Атоянц², Э. А. Агаджанян², Б. К. Габриелян³

Биотестирование водных проб оз. Севан в период цветения воды и после обработки цеолитом с применением модельного тест-объекта

(Представлено 1/X 2021)

Ключевые слова: биотестирование, цветение воды, цеолит, модельный тест-объект.

В настоящее время в связи с интенсивностью техногенных нагрузок на водные ресурсы, а также усилением процесса эвтрофикации (цветения) природных гидроэкосистем возникает практическая необходимость тестирования и оценки загрязненности водной среды с привлечением в качестве биоиндикаторов чувствительных тест-систем [1, 2].

За последнее время в некоторых районах оз. Севан наблюдается цветение воды в связи с массовым распространением сине-зеленых водорослей (цианобактерий). По данным гидро-экологических наблюдений (2019-2021) масштабное цветение воды начиналось в прибрежной части Большого Севана, распространяясь на глубоководные участки. Цветение в основном вызывали виды рода цианобактерий *Dolichospermum/Anabaena*, которые являются токсичными, и в этот период впервые в озере было обнаружено присутствие токсинов микроцистина и анатоксина. Исследования выявили, что вследствие эвтрофикации изменялись физико-химические показатели воды. В частности уменьшилась прозрачность воды и концентрация растворенного кислорода, в то время как концентрации ионов аммония, нитритов и фосфатов увеличились [3, 4].

В связи с этим разработана и реализуется исследовательская программа по изучению и устранению процесса эвтрофикации гидроэкосистемы оз. Севан. Осуществляются работы по развитию механизмов оценки процесса эвтрофикации Севана и методов борьбы с цветением, в результате которого количество кислорода в воде, доступного для рыбы и других

водных обитателей, уменьшается, что приводит к искажению биоразнообразия экосистемы озера [5].

Армения богата запасами минералов природных адсорбентов: цеолитов, диатомитов, перлитов, мела и др. Природные цеолиты находят все большее применение в промышленности ввиду возможности их использования в различных отраслях. Одной из важных областей их использования является производство дешевых природных сорбентов для охраны окружающей среды, в том числе для очистки воды. Цеолит очень хорошо удаляет из воды аммиак и ионы аммония, снижает жесткость и регулирует кислотность воды (стабилизирует pH), а также предотвращает рост и бесконтрольное распространение водорослей. Применение цеолита позволяет создать полностью экологическую систему фильтрации водоемов [6, 7]. Данный метод очистки широко используется во многих зарубежных странах, однако в Армении в рамках исследовательской программы по водочистке в качестве адсорбента цеолит применяется впервые.

Среди модельных растительных тест-объектов в качестве биоиндикатора загрязненности окружающей среды следует особо выделить растения *Tradescantia* (клоны 02 и 4430), использование которых позволяет оценить индукцию генетических нарушений под воздействием достаточно низких концентраций ксенобиотиков.

В качестве главного маркерного критерия теста Трад-ВТН (системы волосков тычиночных нитей (ВТН)) выступает изменение окраски соматических клеток ВТН с голубой на розовую (точковые соматические мутации). Под воздействием различных химических веществ, находящихся в водной среде, в голубых клетках ВТН могут происходить мутации, и их цвет меняется на розовый (рецессивные мутационные события (РМС)), а также на белый (бесцветные мутационные события (БМС)). Кроме того, в данном тесте учитываются различные морфологические изменения в ВТН – невыжившие (НВ) и разветвленные (РВ) волоски, а также нарушения в строении цветка – различного рода фасциации, изменения числа тычинок и лепестков венчика (уменьшение). С применением микроядерного теста (Трад-МЯ) учитываются два основных тест-критерия: процент микроядер в тетрадах и процент тетрад с микроядрами.

Целью настоящего исследования являлось биотестирование уровня генотоксичности и кластогенности водных проб оз. Севан в период цветения воды и после обработки цеолитом с применением двух биотестов (Трад-ВТН и Трад-МЯ) модельного тест-объекта *Tradescantia* (клон 02). Материалом исследования служили водные пробы оз. Севан, взятые в водосборных пунктах Личк, Лчашен, Норашен. Эти точки были выбраны в связи с тем, что именно здесь за последнее время чаще всего наблюдалось цветение воды.

Биотестирование проводилось в два этапа. На первом этапе (2020) изучали генетические эффекты в исследуемых образцах в периоды до, во время и после цветения воды (май, июль, октябрь соответственно). На вто-

ром этапе (2021) проводили тестирование тех же образцов во время цветения воды (июнь) и после обработки цеолитом.

Пробы воды и химический анализ элементов были предоставлены лабораторией гидрогеохимии ИГН НАН РА. В качестве условно фоновый образец (контроль) использовали водопроводную воду. Эксперименты проводились в условиях теплицы ЕГУ. В каждом водном варианте было проанализировано 5-10 растений с учетом 20-24 тыс. ВТН. Для микроядерного теста на каждый вариант было просмотрено по 3000 тетрад.

Для выполнения поставленных задач использовались две модельные тест-системы клон 02 традесканции – система волосков тычиночных нитей (тест Трад-ВТН) и микроядерный тест (тест Трад-МЯ). Оба биотеста проводились по стандартным методикам [7, 8]. В исследуемых водных образцах определялись концентрации химических элементов (NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , PO_4^{3-} , NO_3^- , NO_2^-). Все полученные результаты были статистически обработаны с применением компьютерной программы *Statgraphics Centurion 16. 2*. Проводили корреляционный анализ между частотой мутационных событий в ВТН, а также частотой встречаемости микроядер в тетрадах микроспор и концентрацией химических элементов в исследуемых водных пробах.

Полученные данные биотеста Трад-ВТН на первом этапе тестирования (2020) показали достоверное увеличение количества точковых соматических мутаций (РМС), бесцветных мутаций (БМС) и НВ во всех водных образцах. Максимальный уровень на всех этапах эксперимента наблюдался в варианте водной пробы Норашен (где частота РМС достоверно превышала контроль в 5-8 раз при $p < 0.001$ (табл. 1).

Аналогичные результаты были получены при изучении данных двух основных критериев микроядерного теста: процент микроядер в тетрадах и процент тетрад с микроядрами. Наибольшая частота изученных параметров наблюдалась также в варианте Норашен, достоверно превышая контрольный уровень в 2-3. 5 раза ($p < 0.01$; $p < 0.001$) (табл. 2).

Рассматривая особенности проявления генетических эффектов в зависимости от временного периода наблюдений (до цветения воды, во время цветения и после цветения) следует отметить, что в период цветения воды (июль) водный вариант Личк также отличался не только высоким уровнем РМС (генотоксический эффект, достоверно превышающий контроль в 3 раза при $p < 0.001$), количеством НВ (тератогенный эффект, превышающий контроль в 16 раз. при $p < 0.001$), но и процентом микроядер в тетрадах и тетрад с микроядрами (кластогенный эффект, достоверно превышающий показатели контроля в 2.5 раза при $p < 0.01$).

Следует отметить, что в период цветения водный вариант Личк по данным гидрохимического анализа характеризовался более кислой средой (рН 5.9), высокой концентрацией ионов K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , наличием органических и токсических веществ, что, возможно, и приводит к повышенному тератогенному эффекту. В период после цветения

(октябрь) в данном образце наблюдалось значительное снижение уровня генетических эффектов по сравнению с образцом периода цветения.

Таблица 1

**Индукция генотоксических эффектов в водных образцах
оз. Севан у традесканции (клон 02), I этап (2020)**

Водный образец	Соматические мутации		Морфологические изменения
	рецессивные мутации РМС / 1000	бесцветные мутации БМС/1000	невыжившие волоски НВ/1000
Период до цветения воды (май)			
Личк	1.2 ± 0.23 ***	5.4 ± 0.47 **	7.2 ± 0.54 ***
Норашен	2.0 ± 0.32 ***	6.9 ± 0.39 **	6.7 ± 0.59 ***
Лчашен	1.3 ± 0.25 ***	7.1 ± 0.57 **	5.8 ± 0.51 ***
Контроль	0.4 ± 0.19	3.6 ± 0.58	0.4 ± 0.29
Период цветения воды (июль)			
Личк	1.3 ± 0.25 ***	9.6 ± 0.68 **	6.4 ± 0.56 ***
Норашен	2.2 ± 0.38 ***	10.5 ± 0.84 **	5.6 ± 0.61 ***
Лчашен	0.6 ± 0.24	16.4 ± 1.24 **	6.2 ± 0.77 ***
Контроль	0.4 ± 0.19	3.6 ± 0.58	0.4 ± 0.29
Период после цветения воды (октябрь)			
Личк	0.7 ± 0.28 *	16.2 ± 1.4 ***	2.1 ± 0.5 ***
Норашен	3.2 ± 0.59 ***	22.2 ± 1.56 ***	3.3 ± 0.6 ***
Лчашен	0.87 ± 0.33 **	19.6 ± 1.54 ***	3.0 ± 0.61 ***
Контроль	0.4 ± 0.19	3.6 ± 0.58	0.4 ± 0.29

*p<0.05, **p<0.01, *** p<0.001.

В пробах воды Норашен и Лчашен на этой стадии (после периода цветения) не выявлено значительного изменения уровней генотоксичности и кластогенности.

Следует отметить, что во время цветения (июль) во всех вариантах также наблюдался ряд морфологических изменений цветка, таких как уменьшение числа тычинок, количества лепестков венчика, а также сросшиеся тычинки и лепестки, более заметные у варианта Личк (тера-тогенный эффект). В изученных водных вариантах наблюдалось также достоверное увеличение количества НВ (в 14-16 раз превышающее контроль при p<0.001)

Был проведен корреляционный анализ между уровнем соматических мутаций, процентом микроядер и химическим составом изучаемых водных образцов в зависимости от временного периода.

Таблица 2

**Индукция кластогенных эффектов у традесканции (клон 02),
I этап (2020)**

Водный образец	Частота МЯ в спорогенных клетках	
	МЯ в тетрадах (%±m)	тетрады с МЯ (%±m)
Период до цветения воды (май)		
Личк	5.3 ± 0.58**	4.3 ± 0.52**
Норашен	6.8 ± 0.56**	6.0 ± 0.53***
Лчашен	6.6 ± 0.45**	5.2 ± 0.40**
Контроль	2.4 ± 0.28	1.8 ± 0.24
Период цветения воды (июль)		
Личк	6.1 ± 0.90**	5.6 ± 0.87**
Норашен	9.0 ± 1.81***	8.0 ± 0.72***
Лчашен	3.0 ± 0.38*	2.7 ± 0.36*
Контроль	2.4 ± 0.28	1.8 ± 0.24
Период после цветения воды (октябрь)		
Личк	4.8 ± 0.39**	4.4 ± 0.37**
Норашен	7.3 ± 0.52***	5.5 ± 0.45***
Лчашен	5.8 ± 0.52**	4.6 ± 0.47**
Контроль	2.4 ± 0.28	1.8 ± 0.24

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Показана положительная достоверная корреляция между уровнем генетических параметров теста Трад-ВТН (РМС, БМС, НВ), а также маркерными критериями теста Трад-МЯ и ионами NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (p < 0.05; p < 0.01) в изученных образцах (в период до цветения воды).

Корреляционный анализ по данным, полученным на этапах цветения и после цветения воды, показал достоверную положительную корреляцию между уровнем НВ и ионами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- (p<0.01), а также между уровнем тест-критериев микроядерного теста и концентрацией вышеуказанных ионов на этапе после цветения воды (p<0.05; p<0.01).

Таким образом, на первом этапе биотестирования (2020) с использованием двух тест-систем традесканции на примере водного образца Личк показано, что цветение оз. Севан вызывает резкое усиление не только генотоксического (точечные мутации), но также кластогенного (процент микроядер) и тератогенного (невыжившие волоски) эффектов. Это может быть связано с повышением кислотности воды, высокой минерализацией,

а также наличием органических и токсических веществ в водной среде, подверженной процессу эвтрофикации.

На втором этапе биотестирования водных образцов в период цветения воды оз. Севан и после обработки цеолитом, проведенного в 2021 г. (водная проба Норашен была предоставлена только до обработки цеолитом, т.к. здесь не наблюдалось цветения воды), на основании данных двух биотестов традесканции (Трад-ВТН и Трад-МЯ) в период цветения (июнь) показано достоверное увеличение точковых соматических мутаций (РМС), бесцветных мутаций (БМС), НВ, а также процента МЯ и тетрад с МЯ во всех исследуемых вариантах по сравнению с фоном в зависимости от образца. Максимальное проявление РМС и НВ, а также тест-критериев микроядерного теста (процент МЯ в тетрадах и тетрад с МЯ) наблюдалось в варианте Лчашен и достоверно превысило контрольный уровень по обоим параметрам Трад-ВТН теста в 12.5 и 17 раз соответственно ($p < 0.001$) и в 3.5 раза ($p < 0.01$) по показателям Трад-МЯ теста (табл. 3).

В тестируемый период после обработки исследуемых водных проб цеолитом наблюдалось достоверное снижение уровня изучаемых тест-маркеров по сравнению с вариантами до обработки (особенно это проявилось в варианте Лчашен). Характерно, что в вариантах Лчашен и Личк снижение генетических эффектов (точковых мутаций и процента МЯ) после обработки цеолитом происходило на одном уровне.

Таблица 3

Генотоксические и кластогенные эффекты водных образцов бассейна оз. Севан в соматических клетках традесканции (клон 02) в период цветения воды и после обработки цеолитом, II этап (2021)

Вариант водной пробы	Тест Трад-ВТН			Тест Трад-МЯ	
	(РМС/1000) ± m	(БМС/1000) ± m	(НВ/1000) ± m	МЯ в тетрадах	тетрады с МЯ
Личк, цветение	0.8 ± 0.22*	21.0 ± 1.1***	16.0 ± 0.96***	6.2 ± 0.54***	4.9 ± 0.48***
Личк, цеолит	0.6 ± 0.2*	14.4 ± 0.97***	7.9 ± 0.72***	4.8 ± 0.48***	4.0 ± 0.44***
Лчашен, цветение	2.5 ± 0.32***	33.8 ± 1.2***	6.8 ± 0.53***	8.4 ± 0.62***	6.8 ± 0.56***
Лчашен, цеолит	0.6 ± 0.24*	30.0 ± 1.6***	5.7 ± 0.86***	4.7 ± 0.47***	3.9 ± 0.44
Контроль	0.2 ± 0.14	2.7 ± 0.51	0.4 ± 0.19	2.4 ± 0.28	1.8 ± 0.24

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$.

Рассматривая особенности проявления генетических эффектов в зависимости от временного периода наблюдений, следует отметить, что после обработки цеолитом наблюдалось достоверное снижение уровня генотоксических эффектов, особенно в варианте Лчашен, где понижение значения РМС было в 4 раза ($p < 0.01$), а маркерных критериев Трад-МЯ теста – в 2 раза ($p < 0.05$). В связи с этим, по данным биотестирования, можно говорить о положительном действии цеолита на токсичность воды оз. Севан в процессе его эвтрофикации). Корреляционный анализ по данным второго

этапа тестирования проводился в период цветения воды и показал достоверную положительную корреляцию между уровнем РМС, тест-критериями микроядерного теста и концентрацией ионов K^+ , Ca^{2+} , Cl^- , HCO_3^- ($p < 0.001$).

Таким образом, результаты тестирования показали повышение уровня генотоксических и кластогенных эффектов во время цветения воды во всех изученных водных пробах. После обработки воды цеолитом наблюдалось достоверное снижение рассмотренных генетических тест-маркеров, особенно этот эффект проявился в варианте Лчашен.

Полученные данные по биотестированию водных образцов оз. Севан в период цветения и после обработки цеолитом свидетельствуют о том, что применение цеолита в качестве природного сорбента целесообразно для снижения уровня токсичности воды оз. Севан в процессе его эвтрофикации.

Работа выполнена в рамках гранта № 1-15/T13-21 Комитета по науке МОНКС РА по теме «Исследование механизмов эвтрофирования озера Севан и разработка методов борьбы с явлениями “цветения”».

¹ Президиум НАН РА

² Ереванский государственный университет

³ Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА

e-mail: roubenm@sci.am

**Член-корреспондент НАН РА Р. М. Арутюнян, Р. Э. Авалян,
А. Л. Атоянц, Э. А. Агаджанян, Б. К. Габриелян**

**Биотестирование водных проб оз. Севан в период цветения
воды и после обработки цеолитом с применением
модельного тест-объекта**

Проведено биотестирование уровня генотоксичности и кластогенности водных проб, взятых из водосборных пунктов оз. Севан (Личк, Лчашен, Норашен) в период цветения воды и после обработки цеолитом с применением тест-системы волосков тычиночных нитей (Трад-ВТН) и микроядерного теста (Трад-МЯ) модельного тест-объекта традесканции (клон 02). Показано достоверное повышение уровня генетических эффектов в водных образцах Личк и Лчашен в период цветения воды. После обработки цеолитом наблюдалось достоверное снижение уровня изученных тест-маркеров.

**Թղթակից անդամ ՀՀ ԳԱԱ Ռ. Մ. Հարությունյան, Ռ. Ե. Ավալյան,
Ա. Լ. Աթոյանց, Է. Ա. Աղաջանյան, Բ. Կ. Գաբրիելյան**

**Սևանա լճից ջրի նմուշների կենսաթեստավորում ջրի ծաղկման ժամանակ
և ցեոլիտով մշակումից հետո մոդելային թեստ օբյեկտի կիրառմամբ**

Սևանա լճի ջրից ավազանից վերցված ջրի նմուշների գենոտոքսիկության և կլաստոգենության մակարդակի կենսաթեստավորում (Լիճք, Լճաշեն, Նորաշեն) ջրի ծաղկման ժամանակ և ցեոլիտով մշակումից հետո օգտագործելով Տրադեսկանցիա

(կլոն 02) թեստ օբյեկտի առէջաթելերի մազիկների (Տրադ-ԱՄ) և միկրոկորիզների (Տրադ-ՄԿ) թեստ-համակարգերի կիրառմամբ: Ցույց է տրվել ջրի ծաղկման շրջանում Լիճքի և Լճաշենի ջրի նմուշներում գենետիկական էֆեկտների մակարդակի հավաստի բարձրացում: Ցեռլիտով մշակումից հետո նկատվել է ուսումնասիրված թեստ-մարկերների մակարդակի հավաստի նվազում:

**Corresponding member NAS RA R. M. Aroutiounian, R. E. Avalyan,
A. L. Atoyants, E. A. Agajhanyan, B. K. Gabrielyan**

Biotesting of Water Samples from Lake Sevan during Water Bloom and after Treatment with Zeolite Using a Model Test Object

With the application of Trad-SHM (stamen hairs) and Trad-MN (micronuclei in tetrads of microspores) tests of Tradescantia (clone 02) model test object biotesting was carried out on genotoxicity and clastogenicity level of lake Sevan water samples, taken from water points Lichk, Lchashen, Norashen in the period of water blooming and after treatment of samples with zeolite powder. The increase of genetic effects level in the water samples in points of Lichk and Lchashen in the period of water bloom was revealed. The significantly decrease in the level of the test markers studied was observed after treatment with zeolite.

Литература

1. Матишов Г. Г., Селютин В. В., Месропян К. Э. и др. – Вестник Южного научного центра. 2016. Т.12. № 2. С.43-52.
2. Zhukova A. A., Mastitsky S. E. – 2014. Minsk BSU. 112 p. ISBN 978-985-566-014-0
3. Hambaryan L. R., Stepanyan L. G., Mikaelyan Q. G. – Proceeding of the Yerevan State University. 2020. V. 54 (2). P. 168-176. doi:10.31951/2658-3518-2
4. Hambaryan L., Khachikyan T., Ghukasyan E. – Limnology and Freshwater Biology. 2020. № 4. P. 662-664.
5. Gevorgyan G., Rinke R., Schultze M. et al. – J. Hydrobiology. 2020. P. 1-12. doi: 10.1002/iroh.202002060
6. Shaobin Wang, Yuelian Peng – Chemical Engineering Journal. 2010. V. 156(1). P. 11-24. doi:10.1016/j.cej.2009.10.029
7. Багров В. В., Камрукова А. С., Кострица В. Н. и др. – Журн. «Вода Magazine» 2017. № 6 (118).
8. Ma T. H., Cabrera G. L., Cebulski-Wasilevska A. et al. – Mutation Research. 1994(a). V. 310. № 2. P. 211–220. doi: 0027-5107/94//S07.00
9. Ma T. H., Cabrera G. L., Chen R. et al. – Mutation Research. 1994(b). V. 310. № 2. P. 220–230. doi: 0027-5107/94//S07.00

BOTANY

УДК 581

J. A. Akopian, A. G. Ghukasyan, Zh. H. Hovakimyan

Ecological-Phytocoenotic Assessment and the Issues of Conservation of the Ararat Valley Relic Salt Marshes

(Submitted by corresponding member of NAS RA Zh. H. Vardanyan 13/IX 2021)

Keywords: *Ararat valley, salt marshes, ecology, phytocoenosis, conservation.*

Introduction. In Armenia marshes occupy less than 1% of the total area of the republic, viz. about 30,000 hectares. The marsh vegetation in Armenia occurs at an altitude of 400 to 3000 m a.s.l. and is represented by 755 species of higher plants, of which 338 species are found in the desert-semidesert belt [1]. Salt marshes of Ararat valley with *Juncetea acuti* community, which are considered to be one of the refuges of the ancient Mediterranean hygro-halophytic flora, represent great scientific interest due to their originality and rich floristic composition [1 – 5]. Ararat relict salt marshes are included in the list of Natural monuments of Armenia and identified as an Important Plant Area (IPA) of global conservation concern [6]. Over the past decades, significant changes in the state of the environment and biodiversity have occurred in the salt marshes of the Ararat valley. Taking into account the intensification of anthropogenic pressure and the lack of information about the ecological-phytocoenotic state of Ararat salt marshes and about the rare and endangered plant species growing here, we have undertaken this investigation. The purpose of present study is to provide scientific data on the current state of the Ararat salt marshes for their restoration and conservation.

Materials and methods. Salt marshes have been preserved to the east of the Ararat (Ararat province of the RA). The average air temperature in the area of Ararat town in July is +25.8°C, in January –4.1°C. About 220 mm of precipitation falls annually with a maximum in May. A stable snow cover form not every year. In the vicinity of the city of Ararat, hydrocarbonate thermal mineral springs were found with a water temperature of about 20-25°C, containing biologically active components H₂SiO₃, HBO₂, elements Fe, Cu, Mn.

Near the territory of the Natural monument “Salt Marshes” there is a mineral spring “Ttu-Dzhur”. The territory of the salt marshes is located at an altitude of 792–822.5 m a.s.l., it is flat, with small micro-depressions. Monitoring of the hydrogeological state of the habitat revealed that the soils here are sulfate-alkaline with a pH of 7.6-8.0, the salt content in the soil is about 0.2%, in the water is about 0.3% [5]. A low rise of water by 10-15 cm above the soil level is noted in spring on small fragments of about 15-25 m². In the 70-80s of the last century Ararat salt marshes with *Juncetia acuti* community occupied an area about 150 hectares [4]. Current remaining area is about 87.98 hectares (Fig. 1), of which space close to the salt marshes natural condition occupier about 52.75 ha [5]. To carry out monitoring of Ararat salt marshes expeditions were made to Ararat province of Armenia in 2016-2021. Field works were done utilizing methods of unified system of environmental monitoring [7], bio-ecological [8] and phenological methods [9].



Fig. 1. Salt marshes near Ararat town. The total area of salt marshes (doted shape) is 87.98 ha (8.19 ha small and 79.79 ha large shape) [5].

Wells of different depths (30, 40, 60 cm) were drilled for the level of ground water determination. The botanical inventory of the salt marshes was carried out using the method of taxonomic analysis. Plants species abundance in the phytocoenosis was determined using the method of visual estimation according to the scale of O. Drude [10]. For mapping GPS has been used, from which received coordinates further imported to GIS inside ArcGIS 10.1 [11] program. Morphological features of plant samples will be studied using an

MBC-9 stereo microscope. Plants and habitats will be photographed with Nikon D3400 digital camera.

Results and discussion. Ararat salt marshes are a rich habitat with a great plant diversity often with a close herbaceous cover. The main edificator and the dominant species of Ararat salt marshes with a high frequency of occurrence and abundance is *Juncus acutus* L. The species forms a kind of habitat's micro-relief, consisting of tussocks 80-120 cm in diameter, up to 30 cm high, located at a distance of 100-200 cm from each other, and inter-tussocks spaces with small depressions. Tussocks consist of accumulations of old, dry parts of rhizomes, roots and stems of *Juncus*, as well as the remains of some other plants, which eventually become covered with soil. The tussocks of *J. acutus* are considered as "minimal phytogenic fields" or "edapho-spheres" [4, 12], on which many other plant species settle. According to our observations, on the tussocks of *J. acutus* grow annual, biennial and perennial plants, belonging to the main components of the community: *Microcnemum coralloides* (Loscos et Pardo) Font Quer ssp. *anatolicum* Wagenitz, *Lysimachia maritima* (L.) Galasso, Banfi & Soldano, *Falcaria falcarioides* (Bornm. et H. Wolff) H. Wolff., *Linum barsegianii* Gabr. et Dittr., *Thesium compressum* Boiss. & Heldr., *Suaeda altissima* Pall., *S. salsa* (L.) Pall., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Thymelaea passerina* (L.) Coss. & Germ., *Geranium collinum* Steph. ex Willd. and some others.

Besides *J. acutus* the most widespread, background plants on the salt marshes are such species as *Gypsophila perfoliata* L., *Thymelaea passerina* (L.) Coss. et. Germ., *Elytrigia obtusiflora* (DC.) Tzvelev, *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Cynanchum acutum* L., *Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Aeluropus litoralis* (Gouan) Parl., *A. pungens* (M. Bieb.) K. Koch, *Alhagi pseudalhagi* (M. Bieb.) Desf. ex B. Keller & Shap. The predominance of listed plant species indicates the ongoing processes of dehumidification of the habitat.

One of the most common species on studied territory is *Cynodon dactylon*. This perennial plant with elongated rhizomes forms an almost closed coverage (80-100%) in many places and occupies large areas of habitat. *C. dactylon* is a natural component of the community, but its expansion leads to clogging of the phytocenosis and can be considered as a biological threat factor. Camel thorn *Alhagi pseudalhagi*, which does not belong to the natural elements of the *Juncetea acuti* community, also actively grows due to drainage and changes in the level of groundwater in salt marshes. For comparison, in the period from 1973 to 1980, its occurrence on salt marshes was 10% [4]. Currently, camel thorn occupies entire areas, being a factor of expansion and threat to this ecosystem. *A. pseudalhagi* is distinguished by its adaptability to changing environmental conditions, high population density, which excludes the penetration of native plant species into fragments of its habitat.

The relatively common components of the phytocenosis are such species as *Althaea officinalis* L., *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth, *C. pseudophragmites* (Haller f.) Koeler, *Carex pachystylis* J. Gay, *Centaureum pulchellum* (Sw.) Druce, *Bassia hyssopifolia* (Pall.) Kuntze, *Cirsium alatum* (S. G. Gmel.)

Bobrov, *Frankenia hirsuta* L., *Geranium collinum* Stephan ex Willd., *Inula aucheriana* DC., *Iris musulmanica* Fomin, *Linum barsegianii* Gabr. et Dittr., *Lotus tenuis* Waldst. & Kit., *Falcaria falcarioides* (Bornm. et H. Wolff) H. Wolff, *Lysimachia maritima* (L.) Galasso, Banfi & Soldano (= *Glaux maritima* L.), *Merendera sobolifera* C.A. Mey., *Microcnemum coralloides* (Loscos et Pardo) Font Quer ssp. *anatolicum* Wagenitz, *Petrosimonia brachiata* (Pall.) Bunge, *Plantago lanceolata* L., *P. major* L., *P. tenuiflora* Waldst. & Kit., *Puccinella gigantea* (Grossh.) Grossh., *P. distans*, *Pulicaria vulgaris* Gaertn., *Scorzonera parviflora* Jacq., *Suaeda altissima* Pall., *S. heterophylla* Bunge ex Boiss., *S. salsa* (L.) Pall., *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC., *Teucrium scordioides* Schreb and some others.

The vascular plants in the *Juncetea acuti* community are represented by three life forms: annuals, perennials and shrubs. Leading role in the vegetation cover belongs to perennial herbs, while other life forms are much less. Shrubs are represented by single specimens of *Tamarix ramosissima* Ledeb. When analyzing the taxonomic composition of the habitat's flora, the predominance of Poaceae family representatives is revealed: 37 species from 20 genera of the Poaceae family were found [13]. Other common plant families (Apiaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Fabaceae, Frankeniaceae, Geraniaceae, Iridaceae, Juncaceae, Lamiaceae, Linaceae, Malvaceae, Onograceae, Orchidaceae) include from 1 to 9 species. The species composition of the Cyperaceae family is now significantly depleted. Occasionally such species as *Bolboschoenus maritimus* (L.) Palla, *Scirpoides holoschoenus* (L.) Soják, *Holoschoenus vulgaris* Link, *Schoenus nigricans* L., *Acorellus pannonicus* (Jacq.) Palla, *Carex diluta* M. Bieb., *Carex pachystylis* J. Gay are met. The Chenopodiaceae species *Salicornia perennas* Willd. and *Salsola soda* L., and such marsh flora species as *Triglochin maritima* L., *T. palustris* L. (Juncaginaceae), *Alisma lanceolata* With. (Alismataceae), *Butomus umbellatus* L. (Butomaceae) are not found.

Edificators and the main components of the community are distributed over 4 layers – from the upper to the lower layer. In some areas, the vegetation is represented only by the lower layer to 5-15(20) cm in height, with the participation of some soil cover plants species such as *Aeluropus littoralis*, *A. pungens*, *Cynodon dactylon*, and by *Microcnemum coralloides* ssp. *anatolicum*, *Petrosimonia brachiata*, *Frankenia hirsuta*, *Crypsis acuteata*, *Linum barsegianii*. Sometimes creeping form of *Phragmites australis* is noted. In wet areas in the lower layer of vegetation, *Lysimachia maritima*, *Merendera sobolifera* and *Carex pachystylis* J. Gay are distributed. *Acorellus pannonicus* (Jacq.) Palla is met on some strongly moistened small fragments. The second layer (50-80 cm) is represented by *Cirsium alatum*, *Inula aucheriana*, *Thymelaea passerina*, *Falcaria falcarioides*, *Gypsophila perfoliata*, *Lythrum salicaria*, *Suaeda altissima*, *S. heterophylla*, *S. salsa*, *Bassia hyssopifolia*, *Teucrium scordioides* and others. In the third layer (1-1.2 m in height) there are such species as *Jucus acutus*, *Iris musulmanica*, while the previously observed large numbers of marsh plants *Carex diluta* M. Bieb., *Scirpoides holoschoenus*

(L.) Soják, *Schoenus nigricans* L., *Juncus maritimus* Lam. are very rare at present. The upper fourth layer (1.5-2 m height) is represented by *Puccinellia gigantea*, *Althaea officinalis*, *Elytrigia obtusiflora*, *Phragmites australis*, *Typha domingensis*, *Tamarix ramosissima*.

Depending on the micro-relief, the depth of groundwater, humidification and salinity, the composition of the vegetation of the habitat varies. The grassy vegetation in salt marshes is dense, with coverage about 80%-100%. By the end of summer and in autumn, the cover is reduced compared to the spring vegetation, due to dehumidification of the habitat. On relatively lowered fragments with high humidity vegetation groups with *Juncus acutus*, *Althaea officinalis*, *Ononis arvensis* L., *Iris musulmanica*, *Lysimachia maritima*, *Cirsium alatum*, *Lotus tenuis*, *Lythrum salicaria* L., *Plantago maritima*, *P. tenuiflora*, *Trifolium fragiferum* L., *Geranium collinum* Steph. ex Willd., sometimes *Scirpoides holoschoenus*, *Schoenus nigricans* L., *Carex diluta* M. Bieb., *Orchys palustris*, *Samolus valerandii* L. and some other species are observed.

In the area of Ararat salt marshes 12 rare and endangered, as well as endemic and relict plant species, included in Red Book of Plants of RA [14] were currently recorded: *Cirsium alatum* (S. G. Gmel.) Bobrov, *Inula aucheriana* DC., *Merendera sobolifera* C. A. Mey., *Juncus acutus* L., *Puccinellia grossheimiana* V. I. Krecz., *Sphaerophysa salsula* (Pall.) DC., *Iris musulmanica* Fomin, *Falcaria falcarioides* (Bornm., H. Wolff) H. Wolff, *Microcnemum coralloides* (Loscos et Pardo) Font Quer ssp. *anatolicum* Wagenitz, *Linum barsegianii* Gabr. et Dittr., *Thesium compressum* Boiss., *Trigonella capitata* Boiss. Such species as *Cirsium alatum*, *Falcaria falcarioides*, *Linum barsegianii*, *Thesium compressum* are known in the flora of Armenia only from this habitat. It should be noted that *Microcnemum coralloides* ssp. *anatolicum*, which is a relic of the Early Miocene, is of particular interest in Ararat salt marshes. The species is included in Annex 6 of the Berne Convention. *Microcnemum* has a disjunctive range, except for Armenia, it is found in Spain, Iran, Anatolia, Syria, where it is also protected as an endangered species.

During the expeditions in June 2019 in the vicinity of Ararat town, another new fragment of salt marsh vegetation with an area of about 1.5 hectare was discovered, located around the mineral spring. The vegetation in this area is represented by all the main species that make up the *Juncetea acuti* community and is distinguished by a higher density. Rare and endangered species *Cirsium alatum*, *Inula aucheriana*, *Juncus acutus*, *Sphaerophysa salsula*, *Iris musulmanica*, *Falcaria falcarioides* were here registered. *Microcnemum coralloides* ssp. *anatolicum* was not found.

The conducted ecological-phytocoenotic studies confirm the scientific importance of the relic salt marshes in the vicinity of Ararat town because of its originality and rich floral composition. As a result of monitoring during the period 2016-2021, new data on phytocoenotic diversity and the current ecological situation of the habitat were obtained. At present, the extant habitat of Ararat salt marshes with *Juncetea acuti* community occupies more about two times smaller area than in the 1990s before. In the context of the aggravation of

environmental problems, which is the result of the disturbance and degradation of natural ecosystems, salt marshes near Ararat are a territory that requires special environmental attention. Measures aimed at protecting and maintaining the natural state of the territory, as well as preserving the biological diversity of Ararat salt marshes should be assessed from these positions.

Rare and endangered, as well as endemic and relic species of plants growing on Ararat salt marshes are among natural objects of special protection. As a result of the monitoring, it was found that the abundance, vitality and frequency of occurrence of such rare and endangered species as *Inula aucheriana*, *Cirsium alatum*, *Merendera sobolifera*, *Juncus acutus*, *Falcaria falcariaoides*, *Microcnemum coralloides* ssp. *anatolicum*, *Linum barsegianii* in the investigated territory is satisfactory. Due to intensive grazing, ignition of vegetation, drainage of marshes, there is a reduction in the number of populations of some rare and endangered species of Armenian flora such as *Thesium compressum*, *Iris musulmanica*, *Frankenia pulverulenta*, *Dianthus cyri*, *Orchis palustris*, *Puccinellia grossheimiana*, *Saussurea salsa*. Aridization, drainage, lowering of the groundwater level negatively affects the wetland flora and vegetation of this ecosystem, leading to a reduction in phytocoenosis the species of the families *Cyperaceae*, *Juncaceae*, *Juncaginaceae*, some *Chenopodiaceae* halophyte species *Salicornia perennans* Willd. and *Salsola soda* L., such marsh flora species as *Triglochin maritima* L., *T. palustris* L. (*Juncaginaceae*), *Alisma lanceolata* With. (*Alismataceae*), *Butomus umbellatus* L. (*Butomaceae*) and some others.

Conclusion. The research results revealed a tendency to decrease the naturalness of plant diversity on the territory of the Ararat salt marshes. The observed progressing desertification processes, drainage, lowering of the groundwater level and other anthropogenic factors impact, lead to a disturbance of the ecological balance of habitat and have a negative influence on the marsh flora and vegetation. This conducts to the dominance of more drought tolerant plant species in the composition of *Juncetea acuti* community, and the appearance of new species previously uncommon for this habitat.

At present, the issues of the conservation of endangered plant communities and habitats have become very urgent in the world. Relic salt marshes of the Ararat valley are a vanishing habitat. Despite the changes taking place, due to the uniqueness and rich floristic composition, preserved salt marshes habitat is of considerable scientific and aesthetic interest. In the context of the aggravation of environmental problems, which is the result of the disturbance and degradation of natural ecosystems, salt marshes near Ararat town are a territory that requires special environmental attention. Measures aimed at protecting and maintaining the natural state of the territory, as well as preserving the plant diversity of Ararat salt marshes should be assessed from this position.

In order to Ararat salt marshes with *Juncetea acuti* community and numerous endangered species of Armenian flora preservation, the following recommendations should be taken into account: reviewing the issue of raising the conservation status of relic salt marshes near Ararat town and improving

protection regime; conducting periodic monitoring and inventory of the state of vegetation and endangered species; ensuring the necessary control over the environmental changes in the habitat; search for new fragments of this community preserved in the Ararat valley; providing ecological education and the local population involvement in the “Ararat salt marshes” Natural Monument protection activities; listing it in the number of objects for the ecotourism organization. The results of present study can be used in organizing measures for the salt marshes of the Ararat valley conservation.

Institute of Botany after A. Takhtajan of NAS RA
e-mails: akopian_janna@inbox.ru, anyaghukasyan@gmail.com,
jannagevorg@mail.ru

J. A. Akopian, A. G. Ghukasyan, Zh. H. Hovakimyan

Ecological-Phytocenotic Assessment and the Issues of Conservation of the Ararat Valley Relic Salt Marshes

The Ararat valley relict salt marshes with *Juncetea acuti* community represent a considerable scientific interest due to their originality and rich floristic composition. Salt marshes of Ararat are considered to be one of the refuges of the ancient Mediterranean hygro-halophytic flora and are included in the list of natural monuments of Armenia. Data on natural conditions, flora composition, ecological and phytocenotic characteristics of the habitat are given in the article. The states of rare and endangered plants species are estimated. The need of the habitat conservation regime regulation is discussed.

Ժ. Ա. Հակոբյան, Ա. Գ. Դուկասյան, Շ. Հ. Հովակիմյան

Արարատյան հարթավայրի ռելիկտային աղակալած ճահիճների պահպանման խնդիրները և էկոլոգաֆիտոցենոտիկ գնահատականը

Արարատյան հարթավայրի ռելիկտային աղակալած ճահճուտները նշանակալի գիտական հետաքրքրություն են ներկայացնում իրենց յուրօրինակությամբ և հարուստ ֆլորիստիկ կազմով: Դրանք դիտվում են որպես հինմիջերկրածովային հիգրոհալոֆիտ ֆլորայի ապաստաններից մեկը և ընդգրկված են Հայաստանի բնության հուշարձանների ցանկում: Էդեկություններ են բերվում բնական պայմանների, ֆլորայի կազմի, բնակմիջավայրի էկոլոգիական և ցենոտիկ բնութագրերի վերաբերյալ: Տրվում է տարածքում աճող հազվագյուտ և վտանգված բուսատեսակների ներկա վիճակի գնահատականը: Քննարկվում է տվյալ տարածքի պահպանման ռեժիմի կարգավորման անհրաժեշտությունը:

Ж. А. Акопян, А. Г. Гукасян, Ж. О. Овакимян

Эколого-фитоценотическая оценка и задачи сохранения реликтовых засоленных болот Араратской равнины

Реликтовые ситниково-касатиковые засоленные болота Араратской равнины по своей оригинальности и богатому флористическому составу представляют значительный научный интерес. Они рассматриваются как один из рефугиумов древ-

несредиземноморской гигрогалофитной флоры и включены в список природных памятников Армении. Приводятся сведения о природных условиях, составе флоры, экологическая и ценогическая характеристика местообитания. Дана оценка состояния произрастающих здесь редких и исчезающих видов растений. Обсуждается необходимость урегулирования режима сохранения данного местообитания.

References

1. *Барсегян А. М.* Водно-болотная растительность Армянской ССР. Изд-во АН АрмССР. 1990. 354 с.
2. *Тахтаджян А. Л.* – Тр. Бот. ин-та. Арм. филиала АН СССР. 1941. № 2. С. 1-180.
3. *Тахтаджян А. Л.* – Тр. Бот. ин-та. Арм. филиала АН СССР. 1946. № 4. С. 51-107.
4. *Барсегян А. М.* – Фл., растит., раст. рес. Армении. 1991. Вып. 13. С. 207-220.
5. *Akopian J., Ghukasyan A., Hovakimyan J.* Natural monument of Armenia “Salt marshes” in the vicinity of Ararat town. 2018. Yerevan. Institute of Botany after A. L. Takhtajyan NAS RA. 120 p. “Arman Asmangulyan” Publisher House. ISBN 978-9939-875-14-9.
6. *Asatryan A., Fayvush G.* Important Plant Areas Representing the Rare and Threatened Habitat Types of Armenia. Yerevan. 2013. 78 p.
7. *Hill D., Fasham M., Tucker G. et al.* Handbook of biodiversity methods: survey, evaluation and monitoring. Cambridge University Press. 2005. 589 p.
8. *Serebryakov I. G.* Ecological morphology of plants. M. High School. 1962. 20 p.
9. *Бейдеман И. Н.* Методика изучения фенологии растений и растительных сообществ. Новосибирск. 1974. 156 с.
10. *Drude O.* Handbuch der Pflanzengeographie. 1890. Stuttgart. 582 s.
11. ESRI. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Enviromental Systems Research Institute, 2012.
12. *Уранов А. А.* В кн.: Проблемы современной ботаники. Т. 1. М.–Л. Наука. 1965. С. 251-254.
13. *Ghukasyan A. G., J. A. Akopian.* – Electronic Journal of Natural Sciences of NAS RA. 2018. № 1 (30). P. 3-13.
14. *Tamanyan K., Fayvush G., Nanagyulyan S. et al.* (eds.). The Red Book of Plants of the Republic of Armenia. Higher plants and Fungi. Second edition. Yerevan. Zangak. 2010. 598 p.

БОТАНИКА

УДК 634.0.11+58.006

**Член-корреспондент НАН РА Ж. А. Варданян,
Н. Н. Мурадян, А. А. Григорян**

Особенности создания дендроколлекций методом родовых комплексов в ботанических садах Армении и перспективы дальнейшего их обогащения

(Представлено 28/IX 2021)

Ключевые слова: *интродукция, дендроколлекция, род, вид, древесное растение, озеленение.*

Многовековая история интродукции растений показала, что при их выращивании в новых условиях существования результаты не всегда удовлетворительны. Поэтому возникла необходимость разработки теоретических методов и практических способов интродукции растений. Среди многочисленных методов интродукции (климатических аналогов – Г. Мейер, агроклиматических или экологических – Г. Селянинов, флорогенетический метод – А. Кормилицын, ботанико-географический – Н. Вавилов и др.) особое место занимает метод эдификаторов интродукции родовыми комплексами Ф. Русанова [1, 2]. Каждый из перечисленных методов имеет свое преимущество и теневые стороны, потому в зависимости от цели интродукции определяется и выбор метода.

В течение нескольких десятилетий деятельности ботанических садов Армении в результате использования традиционных общепризнанных методов созданы многочисленные дендроколлекции иноземных дендрофлор – Кавказа, Северной Америки, Восточной Азии, Евросибири, а также разные экобиоморфные экспозиционные коллекции. Начиная с 1970-х гг. согласно решению СБС СССР специалистами по интродукции древесных растений были начаты работы по созданию дендроколлекций по отдельным родам. Согласно предлагаемому Ф.Н. Русановым методу в конкретном районе или экорегионе для испытания мобилизуются по возможности все виды данного рода [1]. При этом выявляются особенности биологии и экологии представителей рода и возможность их освоения в новых усло-

виях существования. В этом отношении метод родовых комплексов является довольно продуктивным, и его применение создает широкие возможности для изучения вопросов приспособительной эволюции рода, потенциала приспособления и внедрения видов в данном регионе. С другой стороны, разнообразие видов во флорогенетическом отношении отражает историю рода в целом, исторические пути развития отдельных видов в разнообразных климатических условиях. Методом родовых комплексов в Ереванском ботаническом саду целенаправленно исследуются и создаются дендроколлекции нескольких относительно богатых в видовом отношении высокодекоративных представителей родов, а именно: *Syringa*, *Lonicera*, *Spiraea* [3-6], *Philadelphus* [7]. В дальнейшем планируются исследования, а также создание показательной коллекции интродуцированных представителей родов *Berberis*, *Deutzia*, *Cotoneaster* и др.

В данной работе приводится краткое обсуждение результатов исследований по интродукции отдельных родов.

Род *Syringa* L. (семейство *Oleaceae*). Представители рода сирени – листопадные деревья и кустарники со стволами и ветвями, покрытыми серой корой с многочисленными чечевичками. Цветы душистые в верхушечных и пазушных метельчатых соцветиях. Цветут в мае – июне. Многостороннее исследование интродукции представителей рода *Syringa* с целью создания их экспозиционного коллекционного участка – сирингария в Ереванском ботаническом саду было начато еще в 1960-е гг. [3, 8].

Известно три очага естественного распространения сирени: Восточная Азия, Гималаи и Балкано-Карпатская область. Из 28 распространенных видов сирени 22 встречаются в Китае, в провинциях Хуань, Сычуань и Юннань, а 2 вида – в долинах нижнего течения реки Амур (*S. wolffi*, *S. amurensis*). В Гималаях растут *S. afganica* и *S. emodi*. Из Балкано-Карпатских видов *S. josikaea* растет в Венгрии, *S. vulgaris* – в Болгарии. Ареал распространения последнего вида раньше был более широким, но к настоящему времени сократился и ограничен только Балканами. Теперь этот вид распространен почти повсеместно благодаря большому количеству культурных сортов. Мировой сортимент этой культуры насчитывает более 2300 описанных сортов, при этом две трети получены с участием сирени обыкновенной.

В течение нескольких десятилетий в Ереванском ботаническом саду была собрана коллекция из 20 видов и около 80 сортов сирени. К сожалению, в годы энергетического кризиса в республике наряду с другими видами большой ущерб понесла и коллекция рода *Syringa*, в результате чего многочисленные интродуцированные представители были уничтожены. Однако накопленный опыт и результаты многолетних исследований позволяют рекомендовать для широкого внедрения в озеленение республики, особенно в предгорной и лесной зонах, как красиво цветущие кустарники следующие виды сирени: *S. vulgaris*, *S. villosa*, *S. josikaea*, *S. henryi*, *S. amurensis*, *S. microphylla*, *S. tomentosa*.

Из испытанных в Ереванском ботаническом саду 120 сортов сирени

обыкновенной для массового применения в зеленом строительстве Армении вполне перспективны около 25: *Praecox Necker*, *Leon Gambetta*, *Maric Legray*, *Lavoisie*, *Florant Stepmann*, *Condorest*, *Capitaine Nestrow*, *Nugode Vries*, *William Robinson*, *Marschal Foche*, *Vastale* и др.

Таким образом, представители рода *Syringa* благодаря своей экологической пластичности и высокой декоративной ценности, несложности выращивания посадочного материала весьма перспективны для культивирования во всех природных зонах республики.

Род *Lonicera* L. (семейство *Caprifoliaceae*). Представители данного рода – прямостоячие, стелющиеся или вьющиеся кустарники, листопадные или вечнозеленые.

Род *Lonicera* L. отличается разнообразием и богатством видового состава (около 200 видов), полиморфностью и широким ареалом, охватывающим области Северного полушария с умеренным и субтропическим, а частично и тропическим климатом и лишь частично тропические районы Малайзии. Наибольшее число (37%) из имеющихся в нашей коллекции видов в природе распространено в районах Китая, Дальнего Востока, Кореи, Японии и Монголии; 20 % – в Средней Азии и Западной Сибири; 11.4% – в Европе; 17.1 % – в Северной Америке, а остальные – на Кавказе и в Средиземноморье [4].

На территории Армении прирастают 4 вида аборигенных жимолостей: *L. caprifolium*, *L. bracteolaris*, *L. caucasica*, *L. iberica* [9].

Большинство представителей этого рода благодаря высокой декоративности используется в зеленом строительстве, некоторые же виды отличаются высокой засухоустойчивостью и перспективны при создании лесомелиоративных и декоративных насаждений в аридных регионах республики. Вьющиеся виды и формы используются преимущественно в вертикальном озеленении, украшая стены, беседки и т.п. Жимолости декоративны в течение всего вегетационного периода, особенно во время цветения и плодоношения. Несмотря на это в ассортименте декоративных растений республики они до сих пор не нашли своего места. Проводимая Л. М. Григоряном научная инвентаризация показала, что в ботанических садах и дендропарках республики собрана довольно богатая коллекция красиво цветущих интродуцированных жимолостей [10]. Высокие декоративные качества большинства видов жимолостей давно привлекали внимание садоводов. Однако в практике озеленения в настоящее время используется всего лишь несколько видов: *L. maackii*, *L. fragrantissima*, *L. tatarica*, *L. henryi*, *L. morrowii*, *L. japonica*, *L. caucasica* и *L. xylosteum*.

Исходя из этих обстоятельств в Ереванском ботаническом саду и его отделениях в 1990-х гг. проведена целенаправленная интродукция представителей этого рода с целью более детального изучения биологических особенностей отдельных представителей в новых условиях произрастания и выявления степени их приуроченности и перспективности применения.

Род *Lonicera* является одним из ценных объектов для интродукции в Армению высокодекоративных растений. Из около 200 видов его миро-

вого генофонда более 80 подлежат интродукции в Армению [4, 5]. Наиболее перспективными очагами для дальнейшей интродукции являются Восточная Азия, Центральная и горная Средняя Азия, Европа, Северная Америка. В настоящее время коллекция этого рода в Армении насчитывает 29 видов, 7 гибридов и 10 форм, в том числе в Ереванском ботаническом саду 25 видов, 3 гибрида и 6 форм.

Род *Spiraea* L. (семейство *Rosaceae*). Представители рода таволги – листопадные кустарники 1.5-2 м высоты с прямостоячими, раскинутыми, лежащими, поднимающимися или стелющимися ветвями. Соцветия у видов, цветущих весной, сидячие или почти сидячие зонтики или щитковидные кисти; у видов, цветущих летом, простые или сложные щитки. Цветы белые, светло- или темно-розовые, красные до пурпуровых. Цветет с апреля до октября.

О таксономии рода имеются самые разноречивые данные: по [11] в роде *Spiraea* содержится 100 видов, по [12, 13] – 90, по [14] – 80.

Представители рода *Spiraea* L. распространены преимущественно в лесостепной, степной и полупустынной зонах и субальпийском поясе гор Северного полушария – Евразии и Северной Америки. Наибольшее число видов распространено в Азии – 41, Сибири – 16, Гималаях – 13, Северной Америке – 14. На Кавказе встречается лишь 2 вида.

Благодаря большому разнообразию по форме и размеру кустов, срокам и продолжительности цветения, окраске цветков и форме соцветий они нашли широкое применение в практике озеленения: при создании живых изгородей различной высоты, в кустарниковых группах, на каменистых участках, в одиночных посадках, а также для создания садов длительного цветения.

Видовое разнообразие и декоративные особенности данного рода диктовали необходимость целенаправленной интродукции его новых декоративных и устойчивых видов в ботанические сады Армении и создания богатой коллекции для широкого использования в зеленом строительстве республики. Целенаправленная интродукция и адаптация к новым условиям произрастания высокодекоративных видов рода *Spiraea* L. в Ереванском ботаническом саду была начата в 2015 г. [6].

Была проведена инвентаризация интродуцированных видов рода *Spiraea* в ботанических садах Армении, Иджеванском дендропарке и зеленых насаждениях разного типа, уточнен видовой состав, проведен таксономический и ботанико-географический анализ. Было установлено, что виды рода *Spiraea* в коллекциях и насаждениях республики представлены очень ограниченно: *Spiraea chamaedryfolia*, *S. douglasii*, *S. Japonica*, *S. japonica* f. *little princess*, *S. trilobata*, *S. x vanhouttei*, *S. trichocarpa*, *S. x revirescens*.

В результате проведенных работ по интродукции научная коллекция рода *Spiraea* в ботанических садах значительно обогатилась и в настоящее время составляет 22 вида: *Spiraea alba*, *S. alpina*, *S. betulifolia*, *S. blumei*, *S. chamaedryfolia*, *S. decumbens*, *S. douglasii*, *S. fritschiana*, *S. japonica*, *S. Ja-*

ponica f. little princess, S. mongolica, S. media, S. pubescens, S. x revirescens, S. rosthornii, S. Sargentiana и др. Даны рекомендации для их целевого использования по категориям озеленения, а также для широкого использования в зеленых насаждениях в разных регионах республики [6].

Согласно результатам исследования род *Spiraea* оценивается как ценный и перспективный источник для дальнейшей интродукции новых видов (более 40 видов подлежат интродукции в Армению: *Spiraea chinensi, S. gemmata, S. lasiocarpa, S. menziesii, S. palmata, S. pyramidata, S. Beauverdiana, S. decumbens, S. cantoniensis* и др.) и широкого использования в озеленении республики.

Род *Philadelphus L.* (семейство *Hydrangeaceae*). Чубушник или садовый жасмин – листопадный кустарник. В различных регионах умеренной зоны Северного полушария распространено около 70 видов [12]. Видовым разнообразием отличаются Северная Америка (40 видов) и Китай (22) [7]. В Армении естественно растет только *Philadelphus caucasicus*, который встречается в северо-восточных лесных формациях [9].

В Армении интродукция представителей рода *Philadelphus*, как и других таксонов, тесно связана с деятельностью ботанических садов и дендропарков [15]. Несмотря на большое разнообразие видов и сортов, *Philadelphus* в садово-парковом строительстве республики используется крайне недостаточно. Наиболее распространенными являются *Ph. coronarius, Ph. caucasicus* и *Ph. grandiflorus*.

В ботанических садах и дендропарках Армении было интродуцировано около 40 высокодекоративных видов и разновидностей чубушника, большая часть которых в составе коллекции по разным причинам не сохранилась. В роде насчитывалось 128 видов, 8 гибридов, 3 сорта и 2 формы: *Ph. coronarius, Ph. grandiflorus, Ph. Lewisii, Ph. Magdaleneae, Ph. nepalensis, Ph. pekinensis, Ph. satsumanus, Ph. Schrenkii, Ph. tenuifolius, Ph. verrucosus, Ph. x falconerii, Ph. x magnificus* и др. [16].

Эти красивые быстрорастущие кустарники засухоустойчивы, морозоустойчивы, хорошо адаптируются, обильно цветут и плодоносят, устойчивы к вредителям и болезням, выдерживают загрязнение воздуха городов и промышленных предприятий. Размножаются семенами, отводками, черенками и корневищами. Обладают естественными декоративными свойствами: окраской листьев, размером цветов, цветовыми оттенками, ароматом – и могут красиво смотреться благодаря искусственной обрезке. Преимущество чубушника в основном заключается в разнообразии сортов, представляющих большой интерес для ландшафтного дизайна. Наибольшей декоративности достигают чубушники в период цветения. В зависимости от вида период их цветения обычно составляет 2 месяца, с начала июня до конца июля. Правильный выбор видов или сортов может значительно продлить период цветения.

Среди древесных растений род *Philadelphus* более других богат душистыми растениями [17], использование которых позволяет создавать в зеленых насаждениях «Ароматные сады» – декоративные экспозиции но-

вого типа. Благодаря высокой пылеустойчивости чубушники используются также в зеленых насаждениях для защиты от пыли жилых микрорайонов, зданий и объектов [18].

Род *Deutzia* Thunb. (семейство *Hydrangeaceae*). Некоторые представители данного рода в ботанических садах Армении давно оценены по достоинству за длительное и декоративное цветение, однако до сих пор еще недостаточно изучены. В составе рода насчитывается около 50 видов листопадных кустарников, произрастающих в дикой природе Мексики, Гималаев, Восточной Азии и Дальнего Востока [12]. Этот декоративный обильно цветущий кустарник по красоте и неприхотливости можно сравнить с такими популярными культурами, как сирень и гортензия. Куст дейции бывает раскидистой или прямостоячей формы высотой от 50 см до 4 м. Именно такое разнообразие и варьирование в росте делает это растение очень привлекательным для дизайна участка. Низкорослую раскидистую дейцию часто используют в дизайне альпийских горок, а также рассаживают вдоль заборов и по бордюрам. Кустарник отлично смотрится и в одиночку на фоне зеленого газона [12].

Дейция цветет на побегах прошлого года. Красивые цветки беловатого, розового, лилового и пурпурного оттенков не имеют запаха и собраны в довольно крупные соцветия типа кисти или шара. В условиях Ереванского ботанического сада дейция зацветает сразу после сирени, но до того как начинают распускаться розы и чубушник, и сад почти без перерыва украшают цветущие кустарники.

Коллекция рода *Deutzia* ботанических садов Армении в 1990-е гг. составляла 20 таксонов [3, 16]: *D. discolor*, *D. gracilis*, *D. x lemoinei*, *D. longifolia*, *D. x magnifica*, *D. x rosea*, *D. rubens*, *D. scabra*, *D. scabra* f. *rubra* и др.

По многим литературным данным представители рода *Deutzia* не особо морозостойкие [12]. 20 видов и разновидностей дейции (*Deutzia discolor*, *D. Gracilis*, *D. grandiflora*, *D. hypoglauca*, *D. x elegantissima* и др.), прошедшие испытание в Ереванском ботаническом саду, несколько труднее приспосабливаются к нашим условиям [19]. По сравнению с чубушником плодоношение более слабое, прорастаемость семян неудовлетворительная, но в то же время черенки укореняются хорошо.

Результаты многолетнего интродукционного опыта Ереванского ботанического сада таксонов дейций показывают, что 3 высокоустойчивых вида (*D. parviflora*, *D. amurensis* и *D. glabrata*) вполне перспективны для всех климатических зон республики, а другие, менее устойчивые, можно применять для озеленения в предгорных регионах, в том числе и в г. Ереване, поскольку они отличаются высокой декоративностью, особенно в период массового цветения.

Род *Berberis* L. (семейство *Berberidaceae*). Представители рода барбариса зимостойки, жароустойчивы, нетребовательны к почве, довольно светолюбивы. Отличаются формой и окрасом листьев, размерами, урожай-

ностью. У разных сортов листья бывают зеленые, желтые, пурпурные. Все барбарисы имеют простые, тройчатые или даже пятерные колючки. Цветут барбарисы начиная с конца мая и до начала июля. Цветки мелкие, душистые, золотисто-желтые, собраны в многочисленные кистевидные или щитковидные соцветия. Ягоды красные, пурпурные или черные, кислые, съедобные. Кусты раскидистые, высотой 2-2.5 м. Карликовые формы высотой 30-40 см образуют аккуратный шарик, которым можно украсить рокарий или альпийскую горку. Но главное, барбарисы незаменимы для осенних аранжировок. Многие сорта меняют окраску и становятся фантастически яркими и выразительными.

Содержит 175 видов вечнозеленых, полувечнозеленых или листопадных кустарников. Распространен в умеренных зонах Северного полушария [12]. В Армении встречаются 2 вида – *B. vulgaris* и *B. orientalis* [9]. В ботанических садах и дендропарках Армении интродуцировались 53 вида и разновидностей [16]: *B. amurensis*, *B. brachypoda*, *B. concinna*, *B. canadensis*, *B. duelsiana*, *B. francisci-ferdinandi*, *B. gagnepainii*, *B. Gilgiana*, *B. hookeri*, *B. julianae*, *B. ilicifolia*, *B. integerrima*, *B. levis*, *B. lycium* и др. Ботанико-географический анализ испытанных видов показал, что особенно хорошо прижилась *Berberis amurensis*, ежегодно обильно цветут и плодоносят *B. thunbergii*, *B. aggregate*, *B. cretica* [5, 20].

Представители рода *Berberis* пригодны для использования в ландшафтном дизайне: живых изгородях, групповых насаждениях, каменистых садах. Высокодекоративные качества барбариса проявляются в яркой листве (желтой, пурпурной, серебристо-окаймленной и пятнистой), ярких, долго остающихся на кустарнике плодах, они хорошо переносят обрезку.

Род *Cotoneaster* Medik. (семейство *Rosaceae*). Кизильники – листопадные или вечнозеленые кустарники. Около 50-60 видов рода произрастают в Евразии, Северной Африке и Северной Америке [12, 14]. Произрастают от предгорий до альпийского пояса, на каменистых склонах, скалах, осыпях, речных обрывах, лесных опушках. В отличие от предыдущих родов в составе аборигенной дендрофлоры представлен довольно богато – *Cotoneaster integerrimus*, *C. melanocarpus*, *C. Meyeri*, *C. multiflorus*, *C. saxatilis*, *C. suavis* и *C. armenus*. Последний является эндемиком для дендрофлоры Армении [9].

Декоративные кизильники отличаются разнообразием габитуса, обилием цветения и плодоношения, ярко выраженной осенней окраской листьев. Особую ценность как высокодекоративные растения кизильники приобретают в осенний период, когда усыпаны разноцветными округлыми, одиночными, парными или убранными в небольшие щитки плодами. Однако в Армении эти оригинальные растения до сих пор применяются очень мало. В ботанических садах и дендропарках Армении коллекция рода *Cotoneaster* была представлена 32 видами (1985 г.) [16]: *Cotoneaster acutifolius*, *C. adpressus*, *C. bacillaris*, *C. cooperi*, *C. dammeri*, *C. dielsiana*, *C. disticha*, *C. divaricatus*, *C. fovelata*, *C. franchetii*, *C. frigida*, *C. horizontalis* и др.

Кизильники пригодны для озеленения почти всех населенных пунктов республики. В ландшафтном дизайне широко распространен *C. horizontalis*. Известен также и *C. lucida*, который широко используется в озеленении республики. Для дальнейшей интродукции рекомендуются также виды *Cotoneaster mongolica*, *C. melanocarpa* [5].

Таблица 1

Декоративная оценка представителей некоторых родов, интродуцированных в ботанических садах Армении

Род	Число интродуцированных видов и разновидностей	Декоративные качества			Целенаправленное применение в озеленении				
		окраска, величина цветков	обилие и цвет плодов	осенняя окраска листьев	в качестве солитера	для групповых посадок	для живых изгородей	для вертикального озеленения	для рокария, альпийария
<i>Syringa</i> L.	20	+	-	-	+	+	-	-	-
<i>Lonicera</i> L.	46	+	+	-	+	+	-	+	-
<i>Spiraea</i> L.	22	+	-	+	+	+	+	-	+
<i>Philadelphys</i> L.	40	+	-	-	+	+	+	-	-
<i>Deutzia</i> Thunb.	20	+	-	-	+	+	-	-	+
<i>Berberis</i> L.	53	+	+	+	+	+	-	-	+
<i>Cotoneaster</i> Medik.	32	+	+	+	+	+	-	-	+

Таблица 2

Состояние и перспективы интродукции представителей некоторых таксонов по родовым комплексам в ботанических садах Армении

Род	Мировой генофонд (число видов)	Число интродуцированных видов в Армении	Число видов, подлежащих дальнейшей интродукции	Наиболее устойчивые и высокодекоративные виды
<i>Syringa</i> L.	28	20	28	20
<i>Lonicera</i> L.	200	46	80	37
<i>Spiraea</i> L.	90	22	40	19
<i>Philadelphys</i> L.	70	40	47	20
<i>Deutzia</i> Thunb.	50	20	10	15
<i>Berberis</i> L.	175	53	30	50
<i>Cotoneaster</i> Medik.	60	32	13	29

Резюмируя результаты исследования по интродукции вышеуказанных таксонов по методу родовых комплексов в ботанических садах Армении, следует отметить, что большинство представителей изученных родов вполне пригодны для создания показательной богатой коллекции в условиях ботанического сада и перспективны при создании различных композиционных оформлений в зеленом строительстве республики (табл. 1, 2). В составе аборигенной дендрофлоры отсутствуют представители родов *Syringa* и *Deutzia*, очень бедно представлены роды *Spiraea* (2 вида), *Berberis* (2) и *Philadelphus* (1). Что касается остальных родов, то их состав в Армении относительно богат: *Lonicera* – 4 вида, а *Cotoneaster* – 8. В настоящее время целенаправленно исследуется род *Philadelphus*, а в дальнейшем намечаются исследования и по родам *Berberis*, *Deutzia* и *Cotoneaster*.

Институт ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА
e-mail: nelli.muradyan12@gmail.com

**Член-корреспондент НАН РА Ж. А. Варданян,
Н. Н. Мурадян, А. А. Григорян**

Особенности создания дендроколлекций методом родовых комплексов в ботанических садах Армении и перспективы дальнейшего их обогащения

Обсуждаются результаты интродукции и создания показательных дендроколлекций ряда таксонов (*Syringa*, *Lonicera*, *Spiraea*, *Philadelphus*) методом родовых комплексов, а также создание соответствующих высокодекоративных коллекций из родов *Berberis*, *Deutzia*, *Cotoneaster* в ботанических садах Армении.

**ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ժ. Հ. Վարդանյան,
Ն. Ն. Մուրադյան, Ա. Ա. Գրիգորյան**

**Ցեղային կոմպլեքսի մեթոդով դենդրոհավաքածուների ստեղծման
առանձնահատկությունները և դրանց հետագա հարստացման հեռանկարները
Հայաստանի բուսաբանական այգիներում**

Քննարկվում են ցեղային կոմպլեքսի մեթոդով մի շարք տաքսոնների (*Syringa*, *Lonicera*, *Spiraea*, *Philadelphus*) ներկայացուցիչների ներմուծման և ցուցադրական դենդրոհավաքածուների ստեղծման արդյունքները, ինչպես նաև *Berberis*, *Deutzia*, *Cotoneaster* ցեղերի բարձր գեղագարդ տեսակների հետագա ուսումնասիրության և համապատասխան հավաքածուների ստեղծման հեռանկարները Հայաստանի բուսաբանական այգիներում:

**Corresponding member of NAS RA Zh. H. Vardanyan,
N. N. Muradyan, A. A. Grigoryan**

**Features of Creating Dendrological Collections by the Method of Generic
Complexes in the Botanical Gardens of Armenia and Prospects
for Further Their Enrichment**

Results of introduction and creation of dendrological collections of a number of taxa (*Syringa*, *Lonicera*, *Spiraea*, *Philadelphus*) by the method of generic complexes are discussed. Further research and creation of appropriate highly ornamental collections from the genera *Berberis*, *Deutzia*, *Cotoneaster* in the botanical gardens of Armenia are proposed.

Литература

1. Русанов Ф. Н. – Бюлл. ГБС. 1971. Т. 71. С. 15-20.
2. Русанов Ф. Н. В кн.: Материалы Междунар. симп. по биологии древесных растений. Нитра. 1973. С. 543-546.
3. Лавчян Э. К. – Бюлл. Бот. сада АН АрмССР. 1979. № 25. С. 65-73.
4. Григорян Л. М. – Изв. с.-х. наук. Ереван. 1994. № 7-12. С. 229-335.
5. Варданын Ж. А. Научные основы интродукции древесных растений в Армении. Ереван. Гитутюн. 2012. 398 с.
6. Мурадян Н. Н. Оценка рода *Spiraea* L. как источника интродукции высокодекоративных видов для Армении. Автореф. канд. дис. Ереван. 2020. 26 с.
7. Варданын Ж. А., Григорян А. А. – Биолог. журн. Армении. 2021. Т. 73. № 1. С. 71-80.
8. Лавчян Э. К. Род *Syringa* и его интродукция в Армянской ССР. Автореф. канд. дис. Ереван. 1971. 28 с.
9. Варданын Ж. А. Деревья и кустарники Армении в природе и культуре. Ереван. Ин-т ботаники НАН РА. 2003. 367 с.
10. Григорян Л. М. Био-экологические особенности представителей рода *Lonicera* L., интродуцированных в Армению. Автореф. канд. дис. Ереван. 1996. 20 с.
11. Lémée A. Dictionnaire descriptif et synonymique des genres de plantes phanérogames. V. 6. Brest. Impr. commerciale et administrative. 1935. P. 234-236.
12. Деревья и кустарники СССР. Т. I-VI. М. – Л. 1949-1962.
13. Соколов С. Я., Связева О. А. География древесных растений СССР. Деревья и кустарники СССР. Т. 7. М. – Л. Наука. 1965. 265 с.
14. Rehder A. Manual of cultivated trees and shrubs. The Macmillan Co. New-York. 1949. P. 327-342.
15. Ярошенко Г. Д., Григорян Е. А., Лавчян Э. К. – Бюл. Бот. сада АН Арм. ССР. № 13. 1953. С. 43-49.
16. Аннотированный каталог деревьев и кустарников ботанических садов и дендропарков Армянской ССР. – Бюл. Бот. сада АН Арм. ССР. № 27. 1985. 164 с.

17. *Камалян Н. С.* Душистые древесные растения и перспективы их использования в озеленении. Автореф. канд. дис. Ереван. 1997. 27 с.
18. *Тарасова Ж. Г., Агаджанян Г. В.* – Бюл. Бот. сада АН Арм. ССР. № 26. 1985. С. 71-76.
19. *Лавчян Э. К.* – Бюл. Бот. сада Арм. ССР. 1985. № 26. С. 51-60.
20. *Арутюнян Л. В.* – Бюл. Бот. сада АН Арм. ССР. 1973. № 23. С. 5-50.

ՈՒՏԴ 581

Ժ. Հ. Հովակիմյան, Գ. Մ. Ֆայվուշ,
ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ժ. Հ. Վարդանյան

Հայաստանի դենդրոֆլորայի որոշ հազվագյուտ
ռելիկտային ներկայացուցիչների էկոլոգիական
հարմարվողականությունը *in situ* և *ex situ* պայմաններում

(Ներկայացված է 13/IX 2021)

Բանալի բառեր. *հազվագյուտ և վտանգված ռելիկտային ծառաբույսեր, ջրային ռեժիմ, ֆոտոսինթեզ, տրանսպիրացիա, քլորոֆիլ-էկոլոգիական հարմարվողականություն:*

Հայաստանը տիպիկ լեռնային երկիր է, ունի հարուստ բնական էկոհամակարգեր և կլիմայական, ռելիեֆային ու հողային բազմազանություն, որոնք նպաստել են ինքնատիպ ու հարուստ կենսաբազմազանության ձևավորմանը: Մեր մոլորակի բուսական աշխարհի, բույսերի առանձին տեսակների և ընդհանրապես էկոհամակարգերի պահպանման խնդիրը միջազգային բնապահպանական կոնվենցիաների ուշադրության կենտրոնում է: Էկոհամակարգերի, ինչպես նաև առանձին տեսակների *in situ* և *ex situ* պահպանության անհրաժեշտությունը սահմանված է 2010 թ.-ին Այիչիում ընդունված «Պահպանության և օգտագործման նպատակային խնդիրներում» [1]:

Վերջին տարիներին Կարմիր գրքում ներառված բույսերի և կենդանիների հազվագյուտ ու վտանգված տեսակների բաշխման վերլուծության հիման վրա [2] հայտնաբերվել են կենսաբազմազանության «թեժ կետեր», որոնք բուսաբանական ու բնապահպանական տեսանկյունից հատուկ կարևորություն ներկայացնող տարածքներ են (ԿԲՏ) [3–6]: Դրանցից շատերը մեծ արժեք են ներկայացնում նաև որպես էներգիկ, ռելիկտ և վտանգված բուսատեսակների պոպուլյացիաներ

կրող և առանձնահատուկ ֆլորիստիկ հարստություն ներկայացնող տարածքներ: Վերջին տասնամյակներին Հայաստանի էկոհամակարգերը և կենսաբազմազանությունը ենթարկվել են մարդածին ինտենսիվ ներգործության (անտառների հատում, ջրային և կենսաբանական ռեսուրսների գերօգտագործում, տնտեսության ճյուղերի զարգացում), որոնց հետևանքով դեգրադացվել են բնական էկոհամակարգերը, տեղի է ունեցել առանձին տեսակների բնական միջավայրի կորուստ, կլրճատվել են դրանց արեալները, փոփոխվել է պոպուլյացիաների քանակական և որակական կազմը [2]:

Կենսաբազմազանության մեկ այլ սպառնալիք է կլիմայի փոփոխության ազդեցությունը: Ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ կլիմայի փոփոխությունը հատկապես կարող է ազդել էկոլոգիական փոքր ամպլիտուդով հազվագյուտ տեսակների վրա, որի արդյունքում որոշ հազվագյուտ և վտանգված տեսակներ կհայտնվեն անհետացման եզրին: Կանխատեսվող ջերմաստիճանի բարձրացման և տեղումների նվազման դեպքում պետք է սպասել կլիմայի չորության և անապատացման պրոցեսների արագացում [7–9]:

Հազվագյուտ և վտանգված բուսատեսակների պահպանության գործում կարևոր դեր է վերապահվում բուսաբանական այգիներին, դենդրոպարկերին, որոնց գործունեության առաջնահերթ խնդիրներից է *ex situ* պայմաններում տեղական ֆլորայի պահպանությունը բույսերի հավաքածուների ստեղծման, ցուցադրման և պահպանման միջոցով [9–11]: Հազվագյուտ ծառաթփատեսակների կենսակառուցվածքային առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունը չափազանց կարելի է դրանց հարմարվողականության բնույթի պարզաբանման և վերարտադրության ապահովման համար: ՀՀ բուսաբանական այգիներում հազվագյուտ և անհետացող ծառաթփատեսակների հարմարվողականության հետ կապված՝ այդ տեսակները բնական պայմաններում պահպանելու, դրանց վերականգնումն ապահովելու և մշակության մեջ լայնորեն ներդնելու համար կատարվել են մի շարք հետազոտություններ [9, 10–13] և այլը:

Այդ առումով տարբեր կլիմայական պայմաններում բույսերի ջրային ռեժիմի, տրանսպիրացիայի ինտենսիվության, ֆոտոսինթետիկ գործունեության ուսումնասիրությունները չափազանց կարևոր են: Ելնելով դրանից՝ մեր հետազոտության նպատակն է ուսումնասիրել Իջևանի ֆլորիստիկ շրջանում տարածված հազվագյուտ ռելիկտային ծառաբույսերի էկոֆիզիոլոգիական որոշ առանձնահատկություններ և դրանց հարմարվողականության աստիճանը մշակության պայմաններում Երևանի և Վանաձորի բուսաբանական այգիներում: Իջևանի ֆլորիստիկ շրջանի հարուստ և փարթամ բուսականության կազմում

առանձնակի տեղ են գրավում հազվագյուտ ծառաբույսերը, այդ թվում և ռելիկտները, որոնցից Կարմիր գրքում գրանցված են տասնյակ տեսակներ [2]: Հաշվի առնելով կենսաբազմազանության պահպանման գործում վերջիններիս էկոլոգիական հարմարվողականության առանձնահատկությունները ինչպես *in situ*, այնպես էլ *ex situ* պայմաններում՝ մեր կողմից իրականացվել են ՀՀ Կարմիր գրքում ընդգրկված *Corylus colurna* L., *Taxus baccata* L., *Staphylea pinnata* L. ռելիկտային ծառատեսակների էկոֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունների ուսումնասիրություններ:

***Corylus colurna* L. (Corylaceae)** ՀՀ Կարմիր գրքում գրանցված է որպես «Վտանգված տեսակ» (EN): Հանդիպում է Իջևանի ֆլորիստիկ շրջանում (Սևքար, Գետահովիտ, Ենոքավան, Ոսկեպար): Իջևանի տարածքում է գտնվում «Արջատիլենու» պետական արգելավայրը, որտեղ G1.A7311 էկոհամակարգում այն շատ առատ ներկայացված է (Կաղնու-բոխու-արջատիլենու անտառ): Այլ վայրերում արջատիլենին սովորաբար հանդիպում է կաղնու-բոխու անտառային համակեցություններում՝ փոքր խմբերով կամ առանձնյակներով [7, 13]: Աճում է միջին լեռնային գոտում՝ ծովի մակարդակից 1200-1500 մ բարձրությունների վրա: Գերադասում է հարուստ և խոնավ փուխր հողեր, զգայուն է օդի հարաբերական խոնավության և հողի հիմնայնության նկատմամբ: Բազմանում է սերմերով, տալիս է բնական վերած: Սննդի արդյունաբերության մեջ օգտագործվում է թարմ, մի փոքր չորացրած, հիմնականում հրուշակեղենի մեջ: Բարձր յուղայնությամբ ուտելի ընկույզներով, գեղեցիկ վարդագույն արժեքավոր բնափայտով ծառ է: Պտուղները հարուստ են A, B1, C վիտամիններով: Ժողովրդական բժշկության մեջ տերևների խառնուրդն օգտագործվում է լյարդի և լեղապարկի հիվանդությունների, իսկ տերևների և ճյուղերի կեղևի խառնուրդը՝ արյան մեջ խոլեստերինի մակարդակը նվազեցնելու, ինչպես նաև երակների վարիկոզ հիվանդության բուժման նպատակով [7, 11, 14, 15]: Հայաստանի սահմաններից դուրս տարածված է Բալկանյան թերակղզում, Փոքր Ասիայում, Իրանում, Հիմալայներում, Կովկասի սահմաններում՝ Դաղստանում, Արևմտյան և Արևելյան Անդրկովկասում, Թալիշում:

***Taxus baccata* L. (Taxaceae)** ՀՀ Կարմիր գրքում գրանցված է որպես «Խոցելի տեսակ» (VU): Հանդիպում է Իջևանի (Ախնաբաղի և Ոսկեպարի կենու պուրակներում և հարակից անտառներում) և Զանգեզուրի (Շիկահողի պետական արգելոց) ֆլորիստիկ շրջաններում: Աճում է ստորին և միջին լեռնային գոտիներում՝ ծովի մակարդակից 700-1500 մ բարձրությունների վրա՝ գետերի ափերին, խոնավ անտառային համակեցություններում: Երբեմն ձևավորում է մաքուր (միատարր) կենու պուրակներ (էկոհամակարգ G3.97B), ավելի հաճախ հանդիպում է

հաճաքենու անտառներում՝ եզակի անհատներով (էկոհամակարգ G4.91) [7, 13]: Ստվերատար է, մեզոֆիլ, լավ է աճում թույլ թթվային և չեզոք ռեակցիա ունեցող հողերում: Պտուղները քաղցրահամ են, ուտելի թռչունների կողմից, որոնք էլ կենու հիմնական տարածողներն են: Բազմանում է սերմերով և կտրոններով: Կարող է օգտագործվել սիրտ-անոթային համակարգի հիվանդությունների բուժման նպատակով: Սերմերը պարունակում են եթերային և ճարպային յուղեր: Ունի արժեքավոր բնափայտ [16, 7, 12]: Հայաստանի սահմաններից դուրս տարածված է Կովկասում, Եվրոպայում, Միջերկրածովյան ավազանի երկրներում, Փոքր Ասիայում և Հարավային Աֆրիկայում:

***Staphylea pinnata* L. (Staphyleaceae)** ՀՀ Կարմիր գրքում գրանցված է որպես «Խոցելի տեսակ» (VU), (G1. A324-AM): Հանդիպում է միայն Իջևանի ֆլորիստիկ շրջանում (Իջևան, Բարեկամավան, Սևքար, Բազրատաշեն): Աճում է ստորին լեռնային գոտում՝ ծովի մակարդակից 600-950 մ բարձրությունների վրա, սովորաբար բոխու անտառներում՝ ենթանտառային թփուտներով: Բարեկամավանի շրջակայքում նկարագրված է G1.A324 էկոհամակարգը (բոխու անտառ՝ ենթանտառում *Staphylea pinnata*), որի կազմում գերակշռում է ենթանտառում [8]: Ջերմասեր և խոնավասեր է պահանջկոտ օդի հարաբերական խոնավության նկատմամբ, լավ է աճում փուխր և բերրի հողերում: Բազմանում է սերմերով, անդալիսով և արմատային մացառներով: Ծաղկափթույնները պարունակում են մեծ քանակությամբ վիտամին C: Սերմերը պարունակում են պիստակի յուղ հիշեցնող ճարպեր: Արժեքավոր մեղրատու է: Օգտագործվում է որպես դեկորատիվ բույս [7, 12]: Հայաստանի սահմաններից դուրս տարածված է Եվրոպայում, Միջերկրածովյան ավազանում, Փոքր Ասիայում, Կովկասում, Արևմտյան և Արևելյան Անդրկովկասում:

Նյութ և մեթոդ: Ուսումնասիրություններն իրականացվել են 2016-2019 թթ.-ին Իջևանի ֆլորիստիկ շրջանում (ստորին անտառային գոտի, 630-750 մ), Երևանի (կիսաանապատային գոտի, 1200-1250 մ) և Վանաձորի (մեզոֆիլ անտառային գոտի, 1400-1500 մ) բուսաբանական այգիներում: Որպես ուսումնասիրության օբյեկտ ծառայել են *Corylus colurna* L., *Taxus baccata* L. *Staphylea pinnata* L. հազվագյուտ բուսատեսակները: Ուսումնասիրված ծառաթփատեսակներն ընդհանուր առմամբ ջերմասեր են, լավ են աճում խոնավ, ստվերոտ, չափավոր տաք վայրերում, ունեն բարեխառն գոտուն բնորոշ կենսամորֆոլոգիական կառուցվածք, որն էլ հնարավորություն է տալիս ծառաթփատեսակներին ապահովելու իրենց բնականոն կենսագործունեությունն ու վերարտադրությունը [12, 17]:

Մեր կողմից առաջին անգամ ուսումնասիրվել են վերևում նշված տեսակների էկոֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունները (ջրային ռեժիմ, ջրային անբավարարություն, տրանսպիրացիայի և ֆոտոսինթեզի ինտենսիվություն, պլաստիդային պիգմենտների քանակ, ասիմիլացիոն ցուցանիշներ)՝ ելնելով բուսական օրգանիզմի ամբողջականության սկզբունքից՝ հաշվի առնելով կլիմայի չորության ինդեքսը [18]: Կլիմայի չորության աստիճանը բնութագրող ցուցանիշը, ըստ Մարտոնի՝ $I=P/(t+10)$ հարաբերակցությունն է, որտեղ I -ն կլիմայի չորության ինդեքսն է, P -ն՝ տարեկան տեղումների քանակը (մմ), t -ն՝ միջին ջերմաստիճանը ($^{\circ}\text{C}$) (աղյուսակ 1): Հետազոտություններն իրականացվել են ինչպես բնության մեջ (Իջևան քաղաքի շրջակայքում), այնպես էլ Երևանի և Վանաձորի բուսաբանական այգիներում:

Աղյուսակ 1

2016-2019 թթ. մարտ-հոկտեմբեր ամիսների համեմատական եղանակային տվյալները (միջին ամսական ջերմաստիճանի և տեղումների քանակ) և հետազոտվող տարածքների համար հաշվարկված կլիմայի չորության ինդեքսը

Ամիսներ	Երևան (1200-1250 մ)			Իջևան (630-750 մ)			Վանաձոր (1400-1500 մ)		
	Միջին ջերմ., $^{\circ}\text{C}$	Տեղումների քանակ, մմ	Կլիմայի չորության ինդեքս	Միջին ջերմ., $^{\circ}\text{C}$	Տեղումների քանակ, մմ	Կլիմայի չորության ինդեքս	Միջին ջերմ., $^{\circ}\text{C}$	Տեղումների քանակ, մմ	Կլիմայի չորության ինդեքս
Մարտ	8.7	26.6	1.4	7.5	40.6	2.3	4.9	43.1	2.8
Ապրիլ	13.5	18.2	0.7	11.0	42.2	1.9	8.6	41.3	2.2
Մայիս	18.1	51.2	1.8	16.2	90.2	3.4	13.6	103.3	4.4
Հունիս	23	27.7	0.8	20.6	78.4	2.5	17.2	96.8	3.5
Հուլիս	27.5	14.2	0.3	23.5	55.8	1.6	19.9	61.4	2.0
Օգոստոս	27.4	6.0	0.1	23.5	22.5	0.6	20.0	32.3	1.1
Սեպտեմբեր	22.5	9.5	0.3	18.5	28.1	0.9	15.5	40.9	1.6
Հոկտեմբեր	14.0	30.4	1.3	12.9	33.7	1.4	10.4	40.9	2.0
Նոյեմբեր	6.7	41.8	2.5	6.7	27.3	1.6	3.6	32.6	2.3
Միջին տարեկան	17.9	25.0	1,0	15.6	46.5	1.8	12.6	54.7	2.4

Աղյուսակի (1) վերլուծությունից պարզ են դառնում, որ որքան փոքր է արիդային ինդեքսը, այնքան մեծ է կլիմայի չորության պայմանները:

Հետազոտությունների իրականացման ժամանակ բոլոր չափումները կատարվել են ժամը 11⁰⁰-13⁰⁰-ընկած ժամանակահատվածում, յուրաքանչյուր չափում արվել է 3 կրկնողությամբ և երեքական տարբերակներով: Ֆիզիոլոգիական հետազոտությունները կատարվել են ընդունված մեթոդներով [19, 20], և բերված տվյալները ներկայացնում են կատարված անալիզների միջին արդյունքները, որոնք ենթարկվել են վիճակագրական մշակման: Ենթափորձային օբյեկտների ինտենսիվ աճման շրջանում որոշվել են բույսերի ջրային ռեժիմի ցուցանիշները (ազատ և կապված ջուր, ջրային անբավարարություն), տրանսպիրացիայի և ֆոտոսինթեզի ինտենսիվությունը, քլորոֆիլի քանակը և ասիմիլյացիոն ցուցանիշները: Ֆոտոսինթեզի ինտենսիվության, ինչպես նաև պլաստիդային պիգմենտների քանակական և որակական փոփոխությունները լուսային էներգիան կլանելու և քիմիականի վերափոխելու գործում կատարում են կարևոր դեր: Այդ նպատակով որոշվել են քլորոֆիլի քանակը, "a" և "b" տեսակների քանակական փոփոխությունները, որն ի վերջո պատկերացում է տալիս կլիմայական փոփոխությունների ընթացքում հազվագյուտ տեսակների ֆոտոսինթետիկ ապարատի հարմարվողականության և CO₂ ասիմիլյացնելու մասին [21]:

Արդյունքներ և քննարկում: ՀՀ բուսաբանական այգիներում ծառաթփատեսակների էկոֆիզիոլոգիական հարմարվողականության հետ կապված կատարվել են մի շարք հետազոտություններ [22], որոնցում ստացված տվյալները որոշակիորեն համընկնում են նաև մեր կողմից ստացված ցուցանիշների հետ:

Բույսերի էկոֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունների պարզաբանմանն ուղղված աշխատանքներում առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվում դրանց ջրային ռեժիմին, որը բացատրվում է բուսական օրգանիզմի կյանքում ջրի անփոխարինելի դերով: Ուստի առավել դրական արդյունք ստանալու համար խիստ կարևորվում են ջրային ռեժիմի ուսումնասիրությունները, քանի որ ջուրն այն միջավայրն է, որտեղ կատարվում են բույսերի կենսագործունեության ռեակցիաները, նյութերի կլանումը, տեղաշարժը, շրջապտույտը և այլն: Ելնելով այդ հանգամանքից՝ մեր ուսումնասիրություններն ընդգրկել են տարբեր կլիմայական պայմաններում աճող հազվագյուտ բուսատեսակների ջրային ռեժիմի հարցերը (աղյուսակ 2):

Ուսումնասիրության արդյունքներից պարզվում է, որ, ըստ կլիմայի չորության ինդեքսի և աճելավայրի բարձրության, ջրային ռեժիմի ցուցանիշները բաշխվել են հետևյալ կերպ. Իջևանի և Վանաձորի

Աղյուսակ 2

Ջրային ռեժիմի և տրանսպիրացիայի ինտենսիվության ցուցանիշներն ըստ աճելավայրի հիպսոմետրիկ բարձրությունների (2016-2019 թթ. միջին ցուցանիշներ)

Բարձր., մ	Ջրի ձևերը, % թաց քաշից (M,m)					Տրանսպ. ինտ-ը, մգ/գ թաց քաշից, ժամ
	Ընդհանուր ջուր	Ազատ ջուր	Կապված ջուր	Ազատ/ Կապված	Ջրային անբավ.	
Ջոնջոլենի փետրատերև (Staphylea pinnata L.)						
Իջևան, 630-750	75,00±0,71	50,00	25,00	2	25,37±0,77	470,58±0,75
Երևան, 1200-1250	66,66±0,64	44,44	22,22	2	24,81±0,68	240,00±0,61
Վանաձոր, 1400-1500	78,43±0,82	54,29	24,14	2	28,50±0,89	692,30±0,75
Կենի հատապտղային (Taxus baccata L.)						
Իջևան, 630-750	79,41±1,29	52,94	26,47	2	4,76±0,89	352,94±1,28
Երևան, 1200-1250	63,07±0,94	42,05	21,02	2	3,84±0,85	193,54±1,13
Վանաձոր, 1400-1500	80,59±0,87	55,73	24,86	2	6,54±0,78	358,20±1,22
Արջատիլենի (Corylus colurna L.)						
Իջևան, 630-750	80,00±0,92	53,34	26,66	2	37,45±1,08	444,89±0,84
Երևան, 1200-1250	61,42±0,73	40,95	20,47	2	35,06±0,69	240,00±1,24
Վանաձոր, 1400-1500	83,67±0,95	57,78	25,89	2	38,65±1,14	461,53±0,86

բուսաբանական այգում, ի տարբերություն Երևանի բուսաբանական այգու, ընդհանուր և ազատ ջրի ցուցանիշն ավելանում է, իսկ կապվածինը՝ նվազում: Պետք է նշել նաև այն փաստը, որ ավելանում են նաև ջրային անբավարարությունը, ջուր պահելու ունակությունը և տրանսպիրացիայի ինտենսիվությունը, որոնք պայմանավորված են եղաֆիկ, եղանակային պայմանների փոփոխությամբ և արտաքին (լույսի ինտենսիվություն, մթնոլորտային գոլորշիների ճնշման անբավարարություն, ջերմություն) ու ներքին (հերձանցքների թիվ, տերևների դիֆուզիոն դիմադրողականություն) պայմանների համալիր ազդեցությամբ: Սա պայմանավորված է նաև այն հանգամանքով, որ բոլոր տեսակները մեզոֆիլ են և ավելի լավ են հարմարված Կովկասյան տարածաշրջանի

համեմատաբար մեզոֆիլ կլիմայական պայմաններին, իսկ Երևանը գտնվում է Հին Միջերկրական շրջանի արիդային հայ-իրանական պրովինցիայի սահմաններում [23]: Բոլոր ցուցանիշները սերտ կապված են միմյանց հետ, և տվյալ էկոլոգիական պայմաններում դրանց ներդաշնակ առկայությունն ապահովում է բույսերի հոմեոստազն ու դինամիկ կենսագործունեությունը:

Ուսումնասիրություններ են կատարվել նաև վերը նշված ծառաբույսերի տերևներում քլորոֆիլի պարունակության և ֆոտոսինթեզի ինտենսիվության հետ կապված (աղյուսակ 3):

Աղյուսակ 3

Քլորոֆիլի պարունակության, ֆոտոսինթեզի ինտենսիվության և ասիմիլյացիոն միջին ցուցանիշներ (2016-2019 թթ.)

Բարձր., մ	Քլորոֆիլ, մգ/դմ ²				Ֆոտ. ինտ. մգ CO ₂ դմ ² /ժամ	Ասիմիլյացիոն թիվ
	a	B	a+b	a/b		
<i>Ջոնգոլենի փետրատերև (Staphylea pinnata L.)</i>						
Իջևան, 630-750	5,44±0,6	1,70±0,2	7,14	3,20	8,8±0,5	1,48±0,8
Երևան, 1200-1250	4,25±0,4	1,16±0,1	5,41	3,66	6,4±0,2	1,38±0,2
Վանաձոր, 1400-1500	5,25±0,7	1,67±0,4	6,92	3,14	9,2±0,9	1,60±0,7
<i>Կենի հատապտղային (Taxus baccata L.)</i>						
Իջևան, 630-750	4,56±0,5	1,81±0,4	6,37	2,51	8,6±0,3	1,53±0,2
Երևան, 1200-1250	3,18±0,2	1,02±0,1	4,2	3,11	5,4±0,4	1,35±0,3
Վանաձոր, 1400-1500	4,02±0,9	1,72±0,6	5,74	2,33	10,4±0,8	1,82±0,5
<i>Արջատիլենի (Corylus colurna L.)</i>						
Իջևան, 630-750	5,16±0,4	1,62±0,3	6,78	3,18	10,2±0,2	1,36±0,2
Երևան, 1200-1250	4,11±0,3	1,04±0,1	5,15	3,95	6,7±0,5	1,29±0,3
Վանաձոր, 1400-1500	4,94±0,5	1,06±0,3	6,00	4,66	11,9±0,8	1,58±0,5

Ըստ աղյուսակ 3-ի վերլուծության՝ աճելավայրի բարձրությունը և, համապատասխանաբար, լուսավորության ինտենսիվության բարձրացումը հանգեցնում են ընդհանուր քլորոֆիլի պարունակության նվազման, դա բնական է և բացատրվում է քլորոֆիլի a և b ձևերի և լույսի հարաբերակցությամբ, որի արդյունքում քլորոֆիլի ընդհանուր պարունակությունը, a/b հարաբերակցությունը բարձրության հետ կապված նվազում է: Սա կարելի է վերագրել կենսաբանական առանձնահատկությանը, այն բույսի պատասխան ռեակցիան է լույսի բարձր ինտենսիվությանը, քանի որ լինելով ստվերասեր տեսակներ՝ ավելի շատ քլորոֆիլ են կուտակում լույսի ցածր և ավելի քիչ՝ բարձր ինտենսիվության պայմաններում: Կանաչ պիգմենտների պարունակության փոփոխությունները հակառակ ձևով են համահարաբերակցվել բույսերի ֆունկցիոնալ ակտիվության հետ [21]: Մեր փորձի արդյունքները նույնպես վկայում են այն մասին, որ Իջևանի և Վանաձորի բուսաբանական այգում տեղի են ունեցել քլորոֆիլի անկում և ֆոտոսինթեզի ինտենսիվության ու ասիմիլյացիոն ցուցանիշների աճ: Իսկ Երևանի բուսաբանական այգին զբաղեցնում է միջանկյալ տեղ:

Այսպիսով, տարբեր հողակլիմայական պայմաններում աճելիս, ըստ կլիմայի չորության ինդեքսի, բույսերի ֆիզիոլոգիական ցուցանիշները փոխվում են հող-բույս-մթնոլորտ համալիրում, և տվյալ վայրի պայմաններին համապատասխան այդ փոփոխությունները կրում են հարմարվողական բնույթ: Ուստի, մեր ուսումնասիրության արդյունքներից պարզ է դառնում, որ, չնայած դրանց բնական աճման վայրի, հողակլիմայական պայմանների որոշակի տարբերություններին, հազվագյուտ բուսատեսակները կարող են աճել նաև Երևանի կիսաանապատային գոտու պայմաններում, եթե ապահովեն համապատասխան պայմաններ՝ կանոնավոր ոռոգում և խնամք, իսկ Վանաձորի մեզոֆիլ անտառային գոտում, որտեղ, ի տարբերություն Երևանի բուսաբանական այգու, զբաղեցվել են ավելի բարձր ցուցանիշներ, կարող են լայնորեն աճեցվել:

Ելնելով հետազոտությունների արդյունքներից, կարելի է եզրակացնել, որ Արջատիլենի (*Corylus colurna* L.), Կենի հատապտղային (*Taxus baccata* L.), Ջոնջոլենի փետրատերև (*Staphylea pinnata* L.) հազվագյուտ ռելիկտային ծառատեսակների էկոֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունների ուսումնասիրությունները թույլ են տալիս գնահատել դրանց էկոլոգիական հարմարվողականության աստիճանը և իրականացնել համապատասխան միջոցառումներ այս տեսակների *ex situ* պահպանության համար: Այդ տեսակներից Վանաձորի բուսաբանական այգին միանգամայն նպաստավոր է ուսումնասիրված տեսակների աճեցման և պահպանման համար: Երևանի բուսաբանական այ-

զու պայմաններում նպատակահարմար է դրանք ներառել նախատեսվող ցուցադրական «ռելիկտային պարկի» ստեղծման ծրագրում:

ՀՀ ԳԱԱ Ս. Թախտաջյանի անվ. բուսաբանության ինստիտուտ
e-mails: jannagevorg@mail.ru, gfayvush@yahoo.com,
zh.vardanyan@gmail.com

**Ժ. Հ. Հովակիմյան, Գ. Մ. Ֆայվուշ,
ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ժ. Հ. Վարդանյան**

**Հայաստանի դենդրոֆլորայի որոշ հազվագյուտ ռելիկտային
ներկայացուցիչների էկոլոգիական հարմարվողականությունը
in situ և *ex situ* պայմաններում**

Ուսումնասիրվել են Հայաստանի Հյուսիսարևելյան տարածաշրջանում տարածված և ՀՀ Կարմիր գրքում գրանցված *Corylus colurna* L., *Taxus baccata* L., *Staphylea pinnata* L. հազվագյուտ և վտանգված ռելիկտային տեսակների էկոֆիզիոլոգիական առանձնահատկությունները ինչպես Իջևանի ֆլորիստիկ շրջանում, այնպես էլ Երեւանի և Վանաձորի բուսաբանական այգիներում: Գնահատվել է ուսումնասիրված ծառատեսակների հարմարվողականությունը, և բացահայտվել են խոցելիության հնարավոր պատճառները *in situ* և *ex situ* պայմաններում: Նշված շրջաններում էկոֆիզիոլոգիական մի շարք ցուցանիշների (ֆոտոսինթեզի ու տրանսպիրացիայի ինտենսիվություն, ջրային անբավարարություն, քլորոֆիլի պարունակություն, ասիմիլյացիա) առանձնահատկությունները պայմանավորված են կլիմայի չորության ինդեքսի՝ դրանց հարմարվողականությամբ:

**Ж. О. Овакимян, Г. М. Файвуш,
член-корреспондент НАН РА Ж. А. Варданян**

**Экологическая приспособляемость некоторых редких
реликтовых представителей дендрофлоры Армении
в условиях *in situ* и *ex situ***

Исследованы эко-физиологические особенности трех редких реликтовых видов древесных растений (*Corylus colurna* L., *Taxus baccata* L., *Staphylea pinnata* L.), включенных в Красную книгу растений Армении, которые произрастают в естественных условиях северо-востока Армении и в условиях Ереванского и Ванадзорского ботанических садов. Оценена приспособленность исследованных видов и выявлены возможные причины их уязвимости в условиях *in situ* и *ex situ*. Целый ряд эко-физиологических показателей (интенсивность фотосинтеза и транспирации, водный дефицит, содержание хлорофилла, ассимиляция) изученных растений определяется индексом аридности климата районов исследования, что выявляет их приспособленность к условиям произрастания.

**Zh. H. Hovakimyan, G. M. Fayvush,
corresponding member of NAS RA Zh. H. Vardanyan**

**Ecological Adaptability of Some Rare Relict Representatives of Armenian
Dendroflora in *in situ* and *ex situ* Conditions**

The eco-physiological features of three rare relict species of woody plants included in the Red Book of Plants of Armenia (*Corylus colurna* L., *Taxus baccata* L., *Staphylea pinnata* L.), growing in natural conditions in the North-East of Armenia and in the conditions of Yerevan and Vanadzor botanical gardens are investigated. The adaptation of the studied species was assessed and the possible reasons for their vulnerability to *in situ* and *ex situ* conditions were identified. A number of eco-physiological indicators (intensity of photosynthesis and transpiration, water deficit, chlorophyll content, assimilation) of the studied plants are determined by the climate aridity index of the study areas, which determines their adaptability to growing conditions.

Գրականություն

1. The Fifth National Report of the Convention on Biological Diversity of the Republic of Armenia. Yerevan. 2014. 126 p.
2. Tamanyan K., Fayvush G., Nanagulyan S. et al. (ed.). The Red Book of Plants of the Republic of Armenia. Yerevan. Zangak. 2010. 598 p.
3. Asatryan A., Fayvush G. Important Plant Areas representing the rare and threatened habitat types of Armenia. Yerevan. 2013. 78 p.
4. Fayvush G. M., Baloyan S. A., Vardanyan Zh. H. et al. – Takhtajania, 1. 2011. P. 185-189.
5. Fayvush G., Tamanyan K., Kalashyan M. et al. – Ann. Naturhist. Mus. Wien. 2013. B 115. P. 11-20.
6. Таманян К. Г., Файвуш Г. М. – Флора, растительность и растительные ресурсы Армении. 2009. Вып. 17. С. 73-78.
7. Fayvush G. M., Aleksanyan A. S. Habitats of Armenia. Yerevan. Institute of Botany of NAS RA. 2016. 357 p.
8. Fayvush G., Ghazaryan H., Jenterejyan K. et al. In: Fourth National Communication on Climate Change. Yerevan. UNDP Armenia, 2020. P. 101-117.
9. Варданян Ж. А. – Бюлл. ГБС. 1987. Вып. 146. С. 72-77.
10. Vardanyan Zh. A. Scientific basis for the introduction of woody plants in Armenia. 2012. Yerevan. Gitutyun. 398 p.
11. Григорян А. А. В кн.: Состояние и охрана флоры и растительного покрова Армении. Ереван. 1984. С. 93-102 (на арм.яз.).
12. Григорян А. А., Варданян Ж. А., Пайтян Ю. Е. и др. В кн.: Тезисы докладов Всесоюз. совещания по семеноведению и семеноводству интродуцентов. Баку. 1981. С. 40-41.
13. Vardanyan Zh. A. 2003. Trees and shrubs of Armenia in nature and culture. Yerevan. 2003. 367 p.
14. Mehdiyeva N. P., Fayvush G., Alizade V. M. et al. *Corulus avellana* L., *Corulus colurna* L. Ethnobotany of the Caucasus. Springer. 2017. P. 689-692.
15. Мулкиджанян Я. И., Цатурян Г. М. – Изв. АН АрмССР. Биол. науки, 1965. Т. 18. № 2. С. 41-46.

16. *Batsatsashvilli K., Mehdiyeva N. P., Fayvush G. et al.* – *Corulus avellana* L., *Corulus colurna* L. *Ethnobotany of the Caucasus*. Springer. 2017. P. 225-232.
17. *Петровская-Баранина Т. П.* Физиология адаптации и интродукции растений. М. Наука. 1983. 152 с.
18. *Агаханянц О. Е.* Аридные горы СССР. М. Мысль. 1981. 270 с.
19. *Salnikov A. I., Maslov I. L.* Physiology and biochemistry of plants: workshop. Perm. Publishing house of FGBOU VPO Perm State Agricultural Academy. 2014. 300 p.
20. *Mezhunts B. Kh., Navasardyan M. A.* Method for determining the content of chlorophylls a, b and carotenoids in plant leaf extracts. 2010. Patent for Invention. № 2439 A. Yerevan.
21. *Казарян В. В., Давтян В. А.* – Доклады НАН РА. 2011. Т. 111. № 4. С. 391-395.
22. *Григорян А. А., Варданын Ж. А., Балаян Дж. В.* – Бюлл. Бот. сада АН Арм. ССР. 1985. Вып. 27. С. 1-164.
23. *Тахтаджян А. Л.* Флористические области Земли. Л. Наука. 1978. 248 с./

БОТАНИКА

УДК 581.331.2:582.579.2

А. М. Айрапетян, А. Г. Мурадян

Новые данные к морфологии пыльцы *Gladiolus kotschyanus*
Boiss. (Iridaceae) флоры Армении

(Представлено чл.-кор. НАН РА Ж. А. Варданяном 27/X 2021)

Ключевые слова: *Gladiolus kotschyanus*, подвиды, морфология пыльцы.

Введение. Представители рода *Gladiolus* L. – многолетние травянистые растения с мечевидными листьями, произрастающие главным образом в Африке, на о. Мадагаскар, в Европе, на Кавказе, в Малой, Средней и Центральной Азии, а также в Сибири [1]. Из 9 видов данного рода, характерных для флоры Армении, полиморфный вид *G. kotschyanus* Boiss. представлен двумя подвидами – *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* и *G. kotschyanus* subsp. *distichus* Gabrielian. Подвид *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* произрастает в Ширакском, Ахурянском, Лорийском, Апаранском, Иджеванском, Севанском, Дарелегисском, Зангезурском и Арагацском флористических районах на высоте 1800-2700 м над ур. м. на субальпийских лугах, пастбищах, заболоченных местах. Вне пределов Армении встречается на Кавказе, в Анатолии, с.-в. Ираке, Иране [1]. Подвид *G. kotschyanus* subsp. *distichus* Gabrielian – эндемик Армении, произрастает в Арагацском (г. Арагац), Севанском (г. Бугда), Гегамском (Гегамский хр.), Дарелегисском (с. Гнишик), Зангезурском (с. Горгайк) флористических районах на высоте 2200-2500 м над ур. м. в верхнем горном поясе на влажных лугах [1].

В работе «Местообитания Армении» [2] вид *G. kotschyanus* включен в категорию Е5.42 – высокотравные сообщества влажных лугов с доминированием *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim. и ряда других видов, которые в Армении представлены в среднем и верхнем горных поясах преимущественно в поясе лугостепей, на влажных лугах, в травостое. Описание морфологии пыльцы рода *Gladiolus* в целом (на уровне СМ) дано в 10-м томе «Флоры Армении». Краткие сведения по пыльце вида *G. kotschyanus* приводятся в двух литературных источниках [3, 4].

В настоящей работе впервые приводятся результаты исследований морфологии пыльцы подвидов *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* и *G. kotschyanus* subsp. *distichus* на уровне светового (СМ) и сканирующего электронного (СЭМ) микроскопов.

Материал и методика. Материалом для настоящих исследований послужила пыльца, полученная из гербария Института ботаники НАН Армении (ЕРЕ). Изучение особенностей морфологии пыльцы проводилось с применением СМ, а также СЭМ.

Для исследования на уровне светового микроскопа (AmScope) пыльцевые зерна были обработаны двумя основными методами – методом окрашивания основным фуксином [5] и упрощенным ацетолизным методом [6]. При этом, как и в предыдущих исследованиях [7], после обработки каждым из вышеуказанных методов нами выявлены некоторые различия по общей форме, размерам пыльцевых зерен (в данном случае большого экваториального диаметра), а также ширины борозды. Оказалось, что при окрашивании фуксином пыльцевые зерна становятся более округлыми, а борозды – более широкими, в то время как после обработки ацетолизом пыльца более продолговатая, а борозда выглядит значительно уже. Объяснением этому может служить дегидратация пыльцы после обработки ацетолизом, подобное явление мы отмечали также при изучении (с помощью СЭМ) неацетоллизованной пыльцы, обработанной 70% спиртом.

На уровне СМ пыльца исследовалась при увеличении $\times 200$, $\times 400$ и $\times 1000$, измерения проводились на 10 пыльцевых зернах по каждому из изученных образцов. Данные по размерам пыльцевых зерен по каждому из подвидов *G. kotschyanus* флоры Армении (на уровне СМ) представлены в табл. 1, а сведения об особенностях структуры и скульптуры (на уровне СМ и СЭМ) – в табл. 2.

Микрофотографии пыльцы на уровне сканирующего электронного микроскопа (JEOL JSM-7000) были получены в Центре эколого-ноосферных исследований НАН РА (Ереван, Армения) методом вакуумного напыления золотом сухих неацетоллизированных пыльцевых зерен. По каждому подвиду на уровне СЭМ проведен подсчет числа шипиков и перфораций на 5 мкм^2 поверхности пыльцевого зерна (на 5 участках по каждому из изученных образцов).

Палинологическая терминология, используемая в наших исследованиях, в основном соответствует общепринятой терминологии [8-10].

Изученные образцы: *G. kotschyanus* Boiss.: АрмССР, Ехегнадзорский р-он, между сс. Хачик и Гнишик, увлажненные травянистые склоны слева от дороги, 2400-2500 м над. ур. м. Leg. Б. Аревшатян, Торосян (ЕРЕ, 146831); Armenia, Aragatsotn province, old pass track E. of Spitak pass, above Sipan, $40^{\circ}44'01''\text{N}$ $44^{\circ}16'16''\text{E}$ 19.06.2007. Leg. K. Tamanyan, H. Ter-Voskanyan, E. Vitek 07-0860 (ЕРЕ, 196862); Armenia, Vayots Dzor prov., Vajk distr., Djermuk, Kechut village, gorge with mineral fountain, around fountain, 2058 m s. m; $39^{\circ}49'03''\text{N}$ $45^{\circ}38'11''\text{E}$ 19.06.2004. Leg. E. Vitek, K. Ta-

manyany, G. Fayvush, M. Oganesyanyan, A. Ter-Voskanyan (ERE 183064); ***G. kotschyanus* subsp. *distichus* Gabrielian**: АрмССР, Сисианский р-он, окр. с. Горгайк, около болота. 22.06.1980. Leg. Г. Файвуш, К. Таманян (ERE, 145305); Holotypus. Армения, Севанский р-н, окрестности с. Агашен, г. Бугда, субальпийское высокоотравье, 2300 м над ур. м. 8.8.1967. Leg. Е. Gabrielian (ERE, 145367).

Описание пыльцевых зерен.

Род *Gladiolus* L.

***G. kotschyanus* Boiss.** (табл. 1, 2; фототабл. I, II). Пыльцевые зерна (п. з.) дистально-1-бороздные, лодочковидные, килеватые, киль обычно широкий, округлый или округло-угловатый (фототабл. I, 4; II, 4); в очертании с полюса п. з. широкоэллиптические, в очертании с экватора – двояковыпуклые; полярная ось (п. о.) у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* 32-44.8 мкм, а у *G. kotschyanus* subsp. *distichus* – 32.9-44.9 мкм; большой экваториальный диаметр (б. э. д.) у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* 61.2-65.7 мкм, а у *G. kotschyanus* subsp. *distichus* – 55.0-58.2 мкм; малый экваториальный диаметр (м. э. д.) у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* и *G. kotschyanus* subsp. *distichus* соответственно 41.9-46.7 мкм и 35.8-41.6 мкм. Борозда у обоих подвигов длинная, достигает концов пыльцевых зерен, от широкой до очень широкой, с наличием оперкулума, представленного двумя полосками скульптурированной экзины на поверхности борозды, перемежающимися участками бороздной мембраны (фототабл. I, 1, 4; фототабл. II, 1, 4, 5); скульптура мембран борозд у пыльцы обоих видов нерегулярно разнородная, бородавки часто расположены небольшими группами (СМ СЭМ) (фототабл. I, 1, 4, 5; фототабл. II, 1, 4, 7). Экзина тонкая, у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* 1.6 мкм толщины, столбчатый слой четко выражен, столбики длинные, тонкие, равномерно расставленные (фототабл. I, 8); у подвида *G. kotschyanus* subsp. *distichus* толщина экзины в пределах 1.1 мкм, столбчатый слой почти незаметен. На уровне СМ у обоих подвигов скульптура общей поверхности п. з. и на бороздных оперкулумах густо мелкогранулярная; на уровне СЭМ скульптура экзины, а также поверхности бороздных оперкулумов перфорированно-шиповатая, шипики конические, с заостренными, иногда слабо закругленными концами, количество шипиков и перфораций на единицу площади поверхности пыльцевого зерна соответственно 18-19 и 32-33 у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus*, 33-34 и 50-52 – у *G. kotschyanus* subsp. *distichus*.

Закключение. Исследования показали, что пыльцевые зерна у обоих изученных подвигов вида *Gladiolus kotschyanus* флоры Армении (*G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* и *G. kotschyanus* subsp. *distichus*) дистально-1-бороздные, лодочковидные, борозды характеризуются наличием 2-полосного оперкулума, перемежающегося участками бороздной мембраны; скульптура экзины, а также поверхности бороздных оперкулумов перфорированно-шиповатая (СЭМ). Установлено, что основным отличием между указанными подвидами (на уровне СМ) является длина большого экваториального диаметра, которая несколько больше у подвида *G.*

kotschyanus subsp. *kotschyanus*, а на уровне СЭМ – также и количество шипиков и перфораций на единице площади поверхности пыльцевого зерна, которых у подвида *G. kotschyanus* subsp. *distichus* примерно вдвое больше, чем у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus*.

Сравнительный анализ полученных нами данных по размерам пыльцевых зерен в целом у вида *G. kotschyanus* с данными, приведенными в литературе [3, 4], показал, что пыльцевые зерна у образцов, собранных на территории Армении, по своим размерам несколько мельче таковых (приблизительно на 10-15%), отмеченных в вышеуказанных работах.

Таблица 1

Некоторые палиноморфологические данные по виду *Gladiolus kotschyanus* Boiss. при различных методах обработки пыльцы на уровне СМ¹

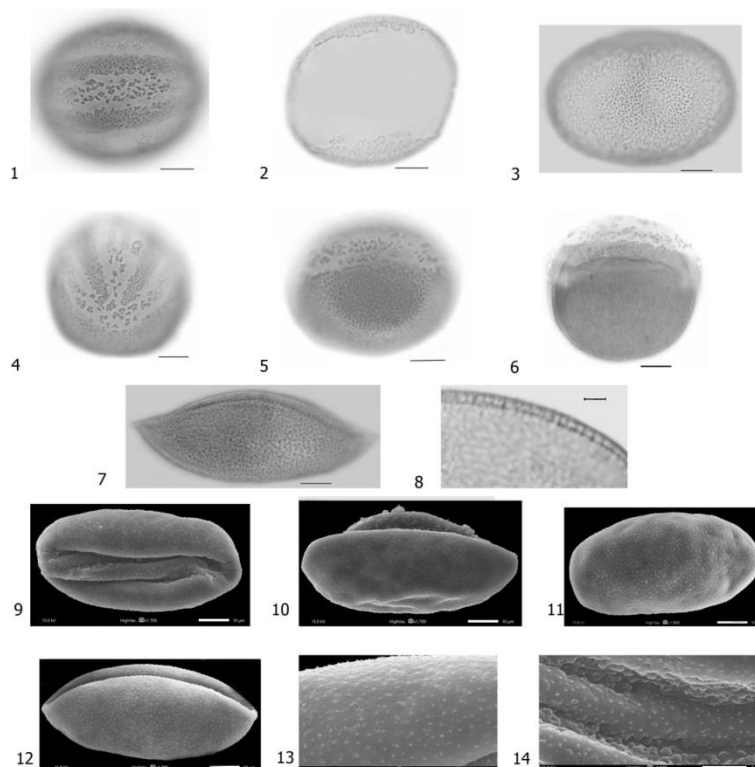
Вид	Полярная ось, мкм		Б. э. д., мкм		М. э. д., мкм	
	фуксин	ацетоллиз	Фуксин	ацетоллиз	фуксин	Ацетоллиз
<i>G. kotschyanus</i> subsp. <i>kotschyanus</i>	28.9-54.5/44.8	23.1-50.5/34.2	52.9-71.2/61.2	60.6-81.7/65.7	34.2-52.4/46.7	33.3-53.9/41.9
<i>G. kotschyanus</i> subsp. <i>distichus</i>	37.7-48.5/44.9	23.5-42.4/32.9	46.1-60.9/55.0	45.2-71.1/58.2	38.7-48.4/41.6	28.9-42.7/35.8

Таблица 2

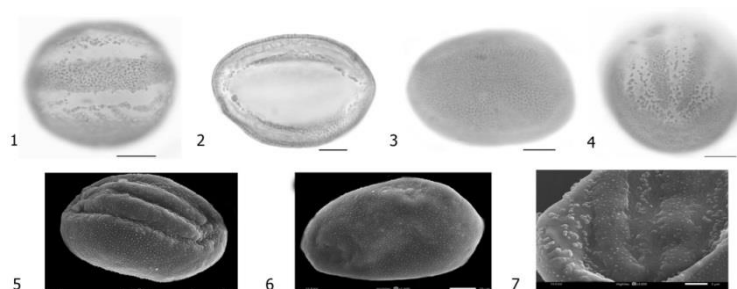
Особенности структуры и скульптуры экзины пыльцевых зерен вида *G. kotschyanus* Boiss.

Вид	СМ		СЭМ		
	Толщина экзины, мкм	Скульптура экзины	Скульптура экзины	Кол-во шипиков на 5 мкм ²	Кол-во перфораций на 5 мкм ²
<i>G. kotschyanus</i> subsp. <i>kotschyanus</i>	1.1-2.4/1.6	Гранулярная	Перфорированно-шипиковатая	12-25/18.5	17-49/33
<i>G. kotschyanus</i> subsp. <i>distichus</i>	0.6-1.6/1.1	- // -	- // -	25-43/34	25-77/51

¹ После косой линии в таблицах приведены усредненные данные, полученные при измерении 10 пыльцевых зерен.



Фототаблица I. Пыльцевые зерна подвида *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus*. 1-6 – фуксин: 1-2 – дистальный полюс (1 – борозды с 2-полосным оперкулумом), 3 – проксимальный полюс, 4 – п. з. со стороны м. э. д., борозда с 2-полосным бороздным оперкулумом, 5-6 – латеральная сторона п. з., 7-8 – ацетоллиз: 7 – латеральная сторона п. з., 8 – экзина, столбчатый слой (СМ); 9 – дистальный полюс, 10, 12 – латеральная сторона, 11 – проксимальный полюс, 13 – скульптура экзины, 14 – скульптура бороздной мембраны (СЭМ) (масшт. линейка: 1-7, 9-12 – 10 мкм, 8 – 3 мкм, 13 – 2 мкм, 14 – 5 мкм).



Фототаблица II. Пыльцевые зерна подвида *G. kotschyanus* subsp. *distichus*. 1-4 – фуксин: 1-2 – дистальный полюс, 3 – проксимальный полюс, 4 – п. з. со стороны м. э. д., борозды с 2-полосным оперкулумом (СМ); 5 – п. з. со стороны б. э. д., 6 – проксимальный полюс, 7 – скульптура борозды и 2-полосной бороздной мембраны (СЭМ) (масшт. линейка: 1-6 – 10 мкм, 7 – 5 мкм).

Благодарности. Приносим свою благодарность коллективу Центра эколого-ноосферных исследований НАН РА (Ереван, Армения) за содействие при проведении исследований на сканирующем электронном микроскопе.

Институт ботаники им. А. Тахтаджяна НАН РА
e-mail: alla.hayrapetyan.63@gmail.com, all.muradyan.1991@mail.ru

А. М. Айрапетян, А. Г. Мурадян

**Новые данные к морфологии пыльцы *Gladiolus kotschyanus* Boiss.
(Iridaceae) флоры Армении**

С помощью светового (СМ) и сканирующего электронного (СЭМ) микроскопов изучена морфология пыльцы двух подвигов вида *Gladiolus kotschyanus* Boiss. (сем. Iridaceae) флоры Армении. Показано что основным отличием на уровне СМ между указанными двумя подвидами являются размеры пыльцевых зерен и, в частности длина большого экваториального диаметра (61.2-65.7 мкм у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* и 55.0-58.2 мкм у *G. kotschyanus* subsp. *distichus*), а на уровне СЭМ – количество шипиков и перфораций на единицу площади поверхности пыльцевого зерна (соответственно 18-19 и 32-33 у *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus*, 33-34 и 50-52 – у *G. kotschyanus* subsp. *distichus*).

Ա. Մ. Հայրապետյան, Ա. Հ. Մուրադյան

**Նոր տվյալներ Հայաստանի ֆլորայի (Iridaceae) *Gladiolus kotschyanus* Boiss
ծաղկափռչու մորֆոլոգիայի վերաբերյալ**

Լուսային (ԼՄ) և սկանավորող էլեկտրոնային (ՄԷՄ) մանրադիտակների օգնությամբ ուսումնասիրվել է Հայաստանի ֆլորայի *Gladiolus kotschyanus* Boiss. (Iridaceae ընտ.) տեսակի երկու ենթատեսակների ծաղկափռչու մորֆոլոգիան: Ցույց է տրված, որ ԼՄ-ի մակարդակով նշված երկու ենթատեսակների միջև հիմնական տարբերությունը համարվում են ծաղկափռչու չափերը, մասնավորապես մեծ հասարակածային տրամագծի երկարությունը (61.2-65.7 մկմ *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* ենթատեսակի մոտ և 55.0-58.2 մկմ *G. kotschyanus* subsp. *distichus*-ի մոտ), իսկ ՄԷՄ-ի մակարդակով՝ փշիկների և ծակոտիների քանակը ծաղկափռչու մեկ միավոր մակերեսի վրա (համապատասխանաբար 18-19 և 32-33 *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus* ու 33-34 և 50-52 *G. kotschyanus* subsp. *distichus* ենթատեսակների մոտ):

A. M. Hayrapetyan, A. H. Muradyan

**New Data to the Pollen Morphology of *Gladiolus kotschyanus* Boiss.
(Iridaceae) of the Flora of Armenia**

Pollen morphology of two subspecies of the species *Gladiolus kotschyanus* Boiss. (family Iridaceae) of flora of Armenia was studied using light (LM) and scanning

electron (SEM) microscopies. The main difference between these two subspecies under LM is the size of pollen grains, and, in particular, the length of the large equatorial diameter (61.2-65.7 μm in *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus*, and 55.0-58.2 μm in *G. kotschyanus* subsp. *distichus*), and under SEM – the number of spines and perforations per unit surface area of the pollen grain (respectively, 18-19 and 32-33 in *G. kotschyanus* subsp. *kotschyanus*, 33-34 and 50-52 in *G. kotschyanus* subsp. *distichus*).

Литература

1. Габриэлян Э. Ц., Оганесян М. Э. В кн.: Флора Армении. Тахтаджян А. Л. (ред.). Т. 10. 2001. С. 146-161.
2. Файвуш Г. М., Алексанян А. С. Местообитания Армении. Ереван. 2016. 357 с.
3. Dönmez E. O., Işık S. – Grana. 2008. V. 47. P.15-38.
4. Aktürk S., Toroğlu S., Dinçer S. et al. – Global Journal of Medicinal Plant Research. 2016. V 4. № 4. P. 1-8.
5. Смольянинова Л. А., Голубкова В. Ф. – ДАН СССР. 1950. Т. 75. № 1. С. 125-126.
6. Аветисян Е. М. – Бот. журн. 1950. Т. 35. № 4. С. 385-387.
7. Мурадян А. Г. – Биолог. журн. Армении. 2021. Т. 73. Вып. 6. С. 52-55.
8. Эрдтман Г. Морфология пыльцы и систематика растений. М. 1956. ИЛ. 486 с.
9. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Палинологическая терминология покрытосеменных растений. Л. Наука. 1967. 84 с.
10. Бобров А. Е., Куприянова Л. А., Литвенцева М. Б. и др. Споры папоротникообразных и пыльца голосеменных и однодольных растений флоры европейской части СССР. Л. 1983. 207 с.

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.8; 615.919; 616.858

Т. К. Арутюнян

Соотношение возбудительных и тормозных синаптических процессов в нейронах базолатеральной амигдалы при активации инфралимбической коры

(Представлено чл.-кор. НАН РА Л. Р. Манвеляном 3/X 2021)

Ключевые слова: *инфралимбическая кора мозга (Infralimbic cortex), базолатеральная амигдала (basolateral amygdala).*

Введение. Болезнь Паркинсона (БП) – медленно прогрессирующее хроническое нейродегенеративное заболевание, характеризующееся как моторными, так и немоторными проявлениями. Немоторные проявления включают в себя психические расстройства. Последние проявляются в виде деменции, депрессии, когнитивных нарушений. Диагностика психических расстройств важна для планирования лечебных и реабилитационных программ. Заболевания с нарушениями движений достаточно трудно диагностировать [1]. Ошибок при постановке диагноза можно избежать, если когнитивные дисфункции будут включены в диагностические критерии [2].

В целом когнитивные нарушения, обнаруживаемые при двигательных расстройствах, относятся к категории «подкорковой деменции». Тонкие, специфические когнитивные нарушения часто могут быть обнаружены у пациентов с заболеваниями, сопровождающимися двигательными расстройствами [3]. В частности, базолатеральная амигдала (basolateral amygdala (BLA)) участвует в модуляции тревожности, наличие которой является одним из факторов риска развития БП [4]. Значительные патологические изменения при БП, включая атрофию и образование телец Леви, проявляет миндалину [5]. Баланс между возбуждающими и тормозными постсинаптическими токами в конечном итоге определяет состояние возбудимости эфферентных нейронов BLA [6-9].

В настоящей работе проведены исследования соотношения возбудительных и тормозных процессов в нейронах BLA, активированных инфралимбической корой мозга (Infralimbic cortex (IL)) у интактных крыс.

Материал и методы. Проводили электрофизиологические исследования на 7 крысах-самцах линии Альбино (250 г) в серии экспериментов на intactных крысах. Исследование проводилось в соответствии с принципами Базельской декларации и рекомендациями руководства ARRIVE [10]. В стереотаксическом аппарате производили трепанацию черепа от брегмы до лямбды и вскрывали твердую мозговую оболочку. После краниотомии раздражающий электрод вживляли в ипсилатеральную IL (AP+3.24; L±2.5; DV 5 мм) в соответствии с координатами атласа Паксиноса и Ватсона [11], а стеклянные микроэлектроды с диаметром кончика 1-2 μM , заполненные 2M NaCl, вводили в BLA (AP-2.28, L±5, DV 8.7 мм) для экстраклеточной регистрации спайковой активности одиночных нейронов. Осуществляли высокочастотную стимуляцию IL посредством прямоугольных толчков тока (длительностью 0.05 мс, амплитудой 0.12–0.18 мВ, силой тока 0.32 мА и частотой 100 Гц в течение 1 с). Операции осуществляли на наркотизированных уретаном животных (уретан 1.5 г/кг в/б). Была зарегистрирована импульсная активность 105 нейронов.

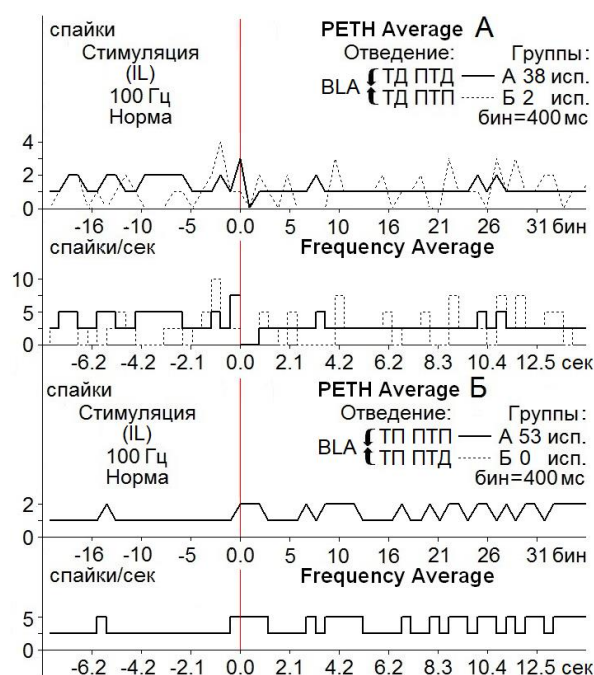


Рис. 1. Усредненные перистимульные (PETH Average) гистограммы и гистограммы частоты (Frequency Average) депрессорных, депрессорно-возбудительных (А, группы А, Б) и возбудительных (Б, группы А, Б) постстимульных проявлений активности нейронов BLA при ВЧС (100 Гц, 1 с) IL в норме. Для групп указано количество испытаний (исп.).

Активность проявлялась в виде тетанической потенциации (ТП) и депрессии (ТД) с посттетаническими – ПТП и ПТД. Проводили программный математический анализ импульсной активности нейронов в режиме online. Использовали построения комплексных усредненных и суммированных перистимульных временных гистограмм (РЕТН) числа потенциалов действия с разностной кривой и гистограмм частоты с вычислением средней частоты потенциалов действия. Однородность двух независимых выборок контролировалась t-критерием Стьюдента. Учет критических значений в сравнении с таковыми нормального распределения при уровнях 0.05, 0.01 и 0.001 показал, что в большинстве случаев спайкинга статистически значимое изменение достигало как минимум уровня 0.05.

Результаты и обсуждение. Проведен анализ импульсной активности одиночных нейронов BLA при ВЧС IL в норме (105 нейронов, $n=7$). Посредством анализа на основе усредненного количества спайков (РЕТН), с пересчетом в межимпульсные интервалы и частоты в Гц (Frequency Average), в нейронах BLA в ответ на ВЧС IL тетаническая депрессия в обеих последовательностях в норме определялась порядка 3.0- и 1.0-кратного снижения престимульной активности, при скудном выявлении ТД ПТП (2 против 38) (рис. 1 А, группы А, Б). Тетаническая потенция, сопровождаемая посттетанической потенциацией, оказалась в пределах 1.0-кратного повышения частоты потенциалов (рис. 1 Б, группа А), при отсутствии ТП ПТД вообще. Иными словами, депрессорные постстимульные проявления активности нейронов BLA оказались более выраженными, чем возбуждательные. При оценке относительной степени выраженности вышеотмеченных эффектов на примере диаграмм усредненной частоты спайков, выведенных на основе растера пре- и постстимульных депрессорных, депрессорно-возбуждательных и возбуждательных проявлений активности нейронов BLA в норме, с указанием средних цифровых значений в реальном времени 20 с до и после стимуляции включая время ВЧС, получены значения, представленные в виде дисковых диаграмм на рис. 3 (на основе рис. 2). Исходя из полученных данных значения ТД в ТД ПТД и уровни ТП в ТП ПТП нейронов BLA на ВЧС IL (рис. 2 А-В; 3 А), в сравнении с престимульным уровнем активности, определялись в пределах 1.87-кратного понижения и 1.55-кратного повышения частоты потенциалов. Как видно, указанные значения отличались незначительно, с некоторым превалированием депрессорных.

Престимульная частота активности нейронов BLA на ВЧС IL, предшествующая депрессорным и возбуждательным постстимульным эффектам, достигала 5.06 и 4.30, с превалированием депрессорных (рис. 2, А, 3 Б). Постстимульная частота активности BLA на ВЧС IL, сопровождающая указанные эффекты, исчислялась в пределах 2.70 и 6.67, соответственно, что свидетельствует о значительном превалировании возбуждательных эффектов. Чрезвычайно скудно проявлялись посттетанические разнонаправленные депрессорные эффекты (ТД ПТП), всего лишь 2 из 40, а таковые возбуждательные (ТП ПТД) отсутствовали – ни одного из 53. По-видимому,

назначение BLA в качестве чувствительного центра долговременной эмоциональной памяти диктует необходимость позднего возвращения постстимульного синаптического эффекта к престимульному уровню, с одной стороны, и к превалированию защитных депрессорных эффектов, с другой.

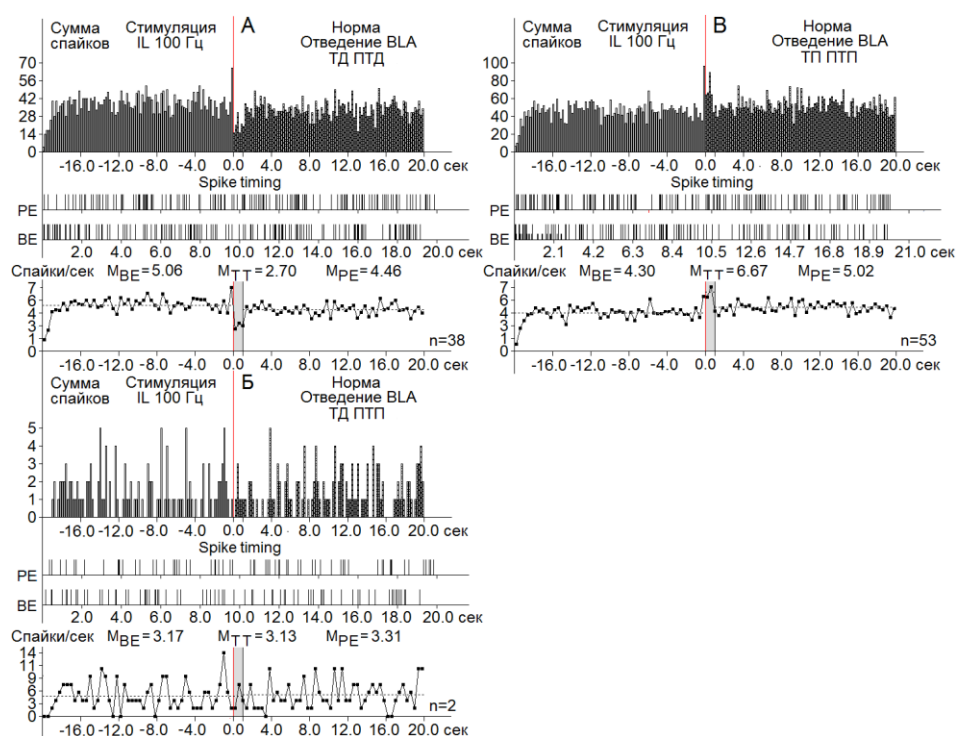


Рис. 2. Гистограммы суммы спайков пре- и постстимульных депрессорных проявлений активности (А), депрессорно-возбудительных (Б), возбудительных (В), в реальном времени 20 сек (до и после стимуляции) нейронов BLA, вызванных ВЧС IL в норме. Здесь: диаграммы частоты спайков, представленных в гистограммах, с усредненными значениями (М) для временных отрезков до стимуляции (BE – before event), на время тетанизации (TT – time tetanization) и после стимуляции (PE – post event). Справа от диаграмм – количество испытаний (n).

Заключение. Анализ выраженности депрессорных и возбудительных эффектов на примере диаграмм усредненной частоты спайков выявил незначительное превалирование депрессорных эффектов над возбудительными. Показаны скудное проявление разнонаправленных депрессорных эффектов и отсутствие разнонаправленных возбудительных эффектов. Престимульная частота активности нейронов BLA при ВЧС IL, предшествующая депрессорным эффектам, оказалась выше таковой, предшествующей возбудительным. Постстимульная частота, сопровождающая возбудительные эффекты, достигала значительного превалирования по сравнению с таковой, сопровождающей депрессорные.

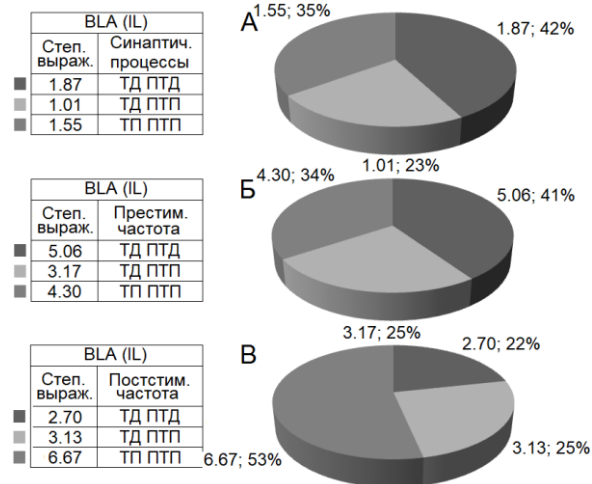


Рис. 3. А-В – цифровое и процентное соотношение степени выраженности (по усредненной частоте) возбудительных и тормозных синаптических пост-стимульных эффектов (А), а также частоты пре- и постстимульной активности (Б, В) в одиночных нейронах BLA на ВЧС IL в норме. Обозначения: степ. выраж. – степень выраженности, престим. – престаимпульсная, постстим. – постстимульная.

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

Т. К. Арутюнян

Соотношение возбудительных и тормозных синаптических процессов в нейронах базолатеральной амигдалы при активации инфраламбической коры

Проведен анализ импульсной активности одиночных нейронов базолатеральной амигдалы (BLA) при высокочастотной стимуляции инфраламбической коры (IL). Исследовались частота потенциалов действия и степень выраженности возбудительных и депрессорных эффектов. Установлено, что депрессорные и возбудительные эффекты оказались почти равными. В нейронах BLA предстимульная частота депрессорных эффектов превышала этот показатель у возбуждающих эффектов, а постстимульная частота возбудительных эффектов превышала этот показатель у депрессорных.

Տ. Կ. Հարությունյան

Բազոլատերալ ամիգդալի նեյրոններում գրգռիչ և արգելակիչ սինապտիկ գործընթացների հարաբերակցությունը ինֆրալամբիկ կեղևի ակտիվացման պայմաններում

Իրականացվել է բազոլատերալ ամիգդալի (BLA) մեկական նեյրոնների իմպուլսային ակտիվության վերլուծություն ինֆրալամբիկ կեղևի (IL) նեյրոններ բարձր

հաճախականությամբ խթանման դեպքում: Վերլուծվել են գործողության պոտենցիալների հաճախականությունը և գրգռիչ և արգելակիչ էֆեկտների արտահայտվածության աստիճանը: Արգելակիչ և գրգռիչ էֆեկտները գրեթե հավասար էին: BLA նեյրոններում նախխթանման հաճախականությունը արգելակիչ էֆեկտներում գերազանցում էր այդ ցուցանիշը գրգռիչ էֆեկտներում: Հետխթանման հաճախականությունը գրգռիչ էֆեկտներում գերազանցում էր այդ ցուցանիշը դեպրեսորային էֆեկտներում:

T. K. Harutyunyan

The Ratio of Excitable and Inhibitory Synaptic Processes in Basolateral Amygdala Neurons by Activation of Infralimbic Cortex

The pulse activity of single basolateral amygdala (BLA) neurons was analyzed with high-frequency stimulation of the infralimbic cortex (IL). The frequency of action potentials was analyzed. The degree of severity of excitatory and depressor effects was also analyzed. Depressor and excitatory effects were almost equal. The prestimulus frequency of BLA neurons in depressor effects exceeded that in excitatory effects. The poststimulus frequency in excitatory effects exceeded that in depressive effects.

Литература

1. Pillon B., Dubois B., Agid Y. – Neurology. 1996. V. 46(2). P. 329-34. doi:10.1212/wnl.46.2.329.
2. Hughes A. J., Daniel S. E., Kilford L. et al. – J Neurol Neurosurg Psychiatry. 1992. V. 55(3). P. 181-4. doi: 10.1136/jnnp.55.3.181.
3. Cummings J. L. – Br J Psychiatry. 1986. V. 149. P. 682-697.
4. Y. N. Sun, L. Yao, L.-B. Li et al. – Neuropharmacology. 2018. V. 15(137). P. 275-285. doi:10.1016/j.neuropharm.2018.05.016.
5. Harding A. J., Stimson E., Henderson J. M. et al. – Brain. 2002. V. 125. P. 2431-2445.
6. Rainnie D. G., Asproдини E. K., Shinnick-Gallagher P. – 1991. J. Neurophysiol. 1991. V. 66. P. 986-998.
7. Rainnie D. G., Asproдини E. K., Shinnick-Gallagher P. – J. Neurophysiol. 1991. V. 66. P. 999-1009.
8. Sajdyk T. J., Shekhar A. – J. Pharmacol. Exp. Therapeut. 1997. V. 283. P. 969-977.
9. Sajdyk T. J., Shekhar A. – Brain Res. 1997. V. 764. P. 262-264.
10. Kilkenney C., Browne W., Cuthill I. C. et al. – The ARRIVE guidelines 06 July 2010.
11. Paxinos G., Watson C. The rat brain in stereotaxic coordinates, 5th ed. Elsevier. Academic Press. 2005. 367 p.

ԲԱՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Ս. Սահակյան

Ազաթանգեղոսի խմբագրությունների տիպաբանություն

(Ներկայացված է ՀՀ ԳԱԱ թղթ. անդամ Լ. Ն. Աբրահամյանի կողմից 25/X 2021)

Բանալի բառեր՝ *Ազաթանգեղոս, պատմություն, վարք, հունարեն, ասորերեն, արաբերեն, լատիներեն, բնագիր, խմբագրություն, տիպաբանություն:*

Մայր Ազաթանգեղոսի բովանդակային (մասամբ էլ բնագրային) հենքի վրա ստեղծվել են երկու հայկական (հուն. «Վարք» և Օքրիդայի «Վարք») և մեկ ասորական խմբագրություններ, որոնք ունեն ակնհայտ եկեղեցաբանական, եկեղեցա-քաղաքական, դավանաբանական և առհասարակ գաղափարաբանական բնույթ: Բացի այդ, եղել են նաև այլ տիպի խմբագրություններ, որոնք չեն դիտարկվել Ազաթանգեղոսի այլալեզու տարբերակներում, և որոնց պետումը արխիվներից և միջնադարյան վանական հավաքածուներից հատկապես հաջողվել է ազաթանգեղագետ Ժերար Գարիտին: Վերջինիս հայաստանյան «թղթակից» Արամ Տեր-Ղևոնդյանն իր հոդվածներից մեկում ի մի է բերել գրանցված ազաթանգեղյան խմբագրությունները (հայերենը ներառյալ՝ 17 միավոր, ինը լեզվով ([1], էջ 494-495) և բաժանել երկու խմբի՝ հայերեն՝ նրանից արված թարգմանություններով, և վարքային խմբագրություններ:

Իրականում 20 միավորից շատ են, եթե չանտեսենք հայերեն հայսմավուրքները և հիսուսյան Անտոն Բոնուկիի (XVIII դ. I կես) լատիներեն գրած «Ս. Գրիգորի վարքը» ([2], էջ 950) և նրա հայերեն ([2], էջ 950-951) ու արաբերեն ([1], էջ 349-354) թարգմանությունները: Եվ այսպես, դրանք բաժանվում են ոչ թե երկու, այլ չորս տիպի խմբագրությունների, և ահա թե ինչպես:

Վերը նշվեց նույն տիպի երեք խմբագրությունների մասին. հուն. և Օքրիդայի վարքեր, որոնք թարգմանվել են հայերեն նախօրինակներից,

և ասորական եկեղեցա-քաղաքական խմբագրություն, որի տիպին է պատկանում նաև վերոնշյալ լատինական վարքը՝ իր լրիվ հայերեն և համառոտ արաբերեն թարգմանություններով: Որովհետև այն ասորականի նման հայերեն նախօրինակ չունեցող միանգամայն ինքնուրույն լատիներեն շարադրանք է, որը կոչված է ցույց տալու, որ ս. Գրիգորը կաթողիկե կամ ընդհանրական տիեզերական եկեղեցու հետևորդ է եղել, բայց հայ եկեղեցին իբր հետագայում շեղվել է ճշմարիտ դավանաբանական ուղուց: Այն կարելի է կոչել լատինական վարք [3]:

Իսկ ամենաառաջին տիպը մայր Ազաթանգեղոսն է և նրանից բխող թարգմանական խմբագրությունները՝ վրացերեն և հունարեն [4], վերջինից էլ՝ արաբերեն [5]: Այս հունարեն թարգմանության հիման վրա X դ. ստեղծվել է Մետափրաստյան համառոտ խմբագրությունը, իսկ նրանից թարգմանվել են բազմալեզու տարբերակներ՝ լատիներեն, վրացերեն, սլավոներեն, արաբերեն, վերջինից էլ՝ եթովպերեն: Եթե սրանց էլ ավելացնենք հայերեն հայսմավուրքային տարբերակները, կունենանք մի ընդհանուր անվամբ տոնացուցային խմբագրության տիպ, որը խիստ գործառնային է, ունի արարողակարգային բնույթ, ուղղված է տոնական լսարանին և բարձրաձայն ընթերցվում է, եթե անգամ լսարանը դատարկ է, ինչը հաճախ է լինում մեր ժամանակներում, որովհետև այդ ընթերցմամբ սրբին է հղվում հերթական խընդրանքը՝ բարեխոսելու մեղավոր հոգիների համար:

Ստեղծվել են նաև ընդհանուր ճանաչողական բարեխոսական նպատակի միտված խմբագրություններ, որոնք, որպես կանոն, հենվում են մեկից ավելի աղբյուրների վրա և կոչված են ընթերցողական նյութ մատուցելու բարեպաշտ քրիստոնյաներին աշխարհի տարբեր մասերում տառապող և սքանչելագործող հավատակիցների վերաբերյալ: Խմբագրության այդ տիպին են պատկանում արաբական վարք կոչվածը՝ գտնված Ն. Մառի և լրացված Ա. Տեր-Ղևոնդյանի կողմից, Լաֆոնտենի գտած հունարեն համառոտ վարքը ([6], էջ 125-145), Գարիտի կոպտական դրվագը և արաբերեն համառոտ վարքը ([7], էջ 221)՝ հավանաբար կոպտերենի միջնորդությամբ թարգմանված հունարենից՝ ըստ նույն Գարիտի ([8], էջ 51-71):

Հետաքրքիր է, որ արաբերեն վարքի (Ն. Մառի) թարգմանիչը, եթե հունարեն մեկ բնագրից չի թարգմանել, ուրեմն ինքն է հունարեն մի քանի բնագրերից քաղել և կազմել նոր կոմպիլատիվ խմբագրությունը, դրա համար էլ նրանում նկատվում են հուն. Ազաթանգեղոսի, հուն. վարքի և Օքրիդայի վարքի հետքերը: Կրկին կուգեինք չբացատել հնարավորությունն այն բանի, որ այդ գործը կատարել է մի անհայտ հույն խմբագիր վերոնշյալ աղբյուրների համադրմամբ: Որովհետև, ինչպես արաբ, այնպես էլ հույն խմբագրին հետաքրքիր չեն այն եկեղեցա-

բանական ենթատողային գաղափարները, որոնք առանձին-առանձին կյանքի են կոչել դրանց հայերեն նախօրինակները: Հույն կամ արաբ խմբագրին հասու չեն տեղական հայկական անցյալի քաղաքական միտումները, որոնք չէին ընկալվի, եթե օտար խմբագիրները ապրեին անգամ VII դարում, երբ ստեղծվել են հայերեն քաղկեդոնական և միակամական խմբագրությունները և թարգմանվել հունարեն հենց հայերի նախաձեռնությամբ: Այլազգի խմբագիրները ազաթանգեղյան այդ տարբեր գրվածքները կարևորում էին սրբախոսական տեղեկատվական իմաստով՝ որպես ճանաչողական լրացուցիչ նյութ, որը և հանգեցնում էր գրչական-տեղեկատվական խմբագրությունների ստեղծման:

Նույն երևույթը ենթադրել ենք նաև հայերեն մայր Ազաթանգեղոսի հունարեն թարգմանության հետագա ճակատագրում, երբ հերթական գրիչը Օքրիդայի «Վարքի» կորած վիպական սկզբնամասը ներմուծում է հուն. Ազաթանգեղոսի բնագիր՝ ճոխացնելով վերջինս և աղբյուր դառնալով Սիմեոն Մետափրաստեսի խմբագրության համար:

Հենց այս տեսակետից էլ կարելի է հասկանալ ու մեկնաբանել այն առանձնահատկությունները, որոնցով աչքի են ընկնում, ասենք, հուն. համառոտ վարքում, Գևորգ Ասորու մոտ, նեստորական Պատմության կամ արաբերեն համառոտման մեջ եղած ազաթանգեղյան նյութերը: Դրանք կարևորում են միայն սրբի անձն ու նրա սքանչելագործությունները, այսինքն՝ այն տեղեկատվությունը, որը հուսադրում ու վեհացնում է ընթերցողին՝ նրան տալով բարեխոսի մի նոր կերպար: Եվ հենց այս միտումն է, որ Ազաթանգեղոսին համաշխարհային գործառույթներ է տվել, և Գրիգորին պանծացրել տիեզերական եկեղեցում և աշխարհի բազում ազգերին հայաշխարհի մասին գիտելիքներ մատուցել:

Պատկերացնել կարելի է, թե աստուծո հույսով առօրյա տառապանքների մեջ ապրող հույնը, հաբեշը, կոպտը կամ արաբը, կարդալով ս. Գրիգոր հայի վարքը, ինչպես է ի դեմս նրա ձեռք բերել մի նոր ու գորավոր բարեխոսական հենարան և ինչպես է ըստ էության ըմբռնել սրբին, որ արաբական համառոտման մեջ կամ անհայտ մի այլ տարբերակում դուրս է թողել բնագրի ավելորդ շեղումները և կիզակետ դարձրել մեն մի հերոս Գրիգորին՝ հենց նրան իսկ դիտելով հայոց թագավորի խոզացման պատճառ: Մա նշանակում է, որ ոչ թե հայկական ինչ-որ բնագրից է ծագում նման տեղեկությունը, թեկուզ Ազաթանգեղոսի սկզբնական փուլում՝ առանձին պատմվող Գրիգորի վարքում, հենց այդպես էլ պետք է լիներ, այլ, որ այուժետային բնական պատումը վերագարթնում է, երբ շեշտը դրվում է նրա բնական ֆունկցիոնալ նշանակության վրա, այն է՝ ընթերցողի բարեպաշտական պահանջ-

ների իրագործումը: Ոչինչ, որ կփոխվի պլուծեն, կաղավաղվի բնագիրը, ոչինչ, որ միակ պատմական տեղեկությունը կմնա ս. Գրիգորի պատ-
րիարք լինելը Հայաստանում, կարևորը նոր ճանաչվող սքանչելի սրբի
համոզվելությունն է ընթերցողի համար և վերջինիս նորովի հուսա-
վառումը: Ահա՛ ս. Գրիգորի նախնական ու վերջնական առաքելու-
թյունը քրիստոնյա աշխարհում, ահա՛ դեպի ուր է ձգում սուրբն իր
վարքի այլալեզու ընթերցողների զանգվածային ընկալումների մեջ գո-
նե մինչև XVIII դարը:

Այսու հերթական անգամ հաստատվում է մշակութային զար-
գացման պատմության օրինաչափ կրկնություններից մեկը, որն ուղե-
կցել է ողջ Հին աշխարհն ու միջնադարը. որևէ մշակութային կենտրո-
նում պատվիրվող և ստեղծվող տեքստը (բառիս նշանագիտական լայն
առումով) այդ իսկ կենտրոնում ընկալվում է մեկ կերպ (= լիարժեք,
ամբողջովին, ենթատողային իմաստներով և այլն), նույնալեզու մշա-
կութային ծայրամասում ընկալվում է այլ կերպ (առավել աղքատացած,
տերևաթափ եղած), իսկ ահա այլալեզու մշակութային տարածքներում
ընկալվում է միագիծ, միանշանակ, պլուծետային մերկությամբ ու բա-
ցարձակ բարոյախոսական եզրահանգմամբ: Դրա համար էլ մշակու-
թային կենտրոններում տվյալ տեքստի կրած փոփոխություններն
ունեն գաղափարական միտումնավոր բնույթ, իսկ ծայրամասերում
կրած փոփոխումները՝ կենցաղային-բարոյախոսական ու հումանիս-
տական բնույթ, մի տեսակ ընթերցողաբավ, առօրեական պահանջ-
ներին բավարարող բնույթ:

Մենք քննարկեցինք միայն գաղափարաբանական հատուկ մի-
տումներ ունեցող խմբագրությունները և ցույց տվինք, որ Ագաթան-
գեղոսի միտումնավոր խմբագրությունները օտար միջավայրում թարգ-
մանվելուց հետո աստիճանաբար զրկվում են իրենց սկզբնական մի-
տումներից և վերածվում զուտ ընթերցողական ճանաչողական սրբա-
խոսության, իսկ ի սկզբանե օտար լեզուներով ստեղծված խմբագրու-
թյունները լինում են կամ միտումնավոր (№ 2 տիպի), կամ էլ պար-
զապես տեղեկատվական ճանաչողական:

Այսպիսով, քսանից ավելի ագաթանգեղյան առանձին միավորների
դասակարգումն ըստ խմբագրական բնույթի՝ մեզ հանգեցրեց հետևյալ
տիպերին.

1. Մայր Ագաթանգեղոս և նրա թարգմանական տարբերակներ
2. Եկեղեցաքաղաքական խմբագրություններ. հուն. «Վարք» և Օք-
րիդայի «Վարք», ասորական և լատինական «Վարք»-եր
3. Տոնական-արարողակարգային խմբագրություններ. Մետա-
փրաստյան և հայսմավուրքային վարքեր
4. Ճանաչողական-տեղեկատվական խմբագրություններ:

Խմբագրական բնույթի տակ հասկանում ենք որևէ երկի տարբերակի ուրույն պատմաֆունկցիոնալ դերը, նշանակությունը, այն, ինչը հարկադրել է խմբագրին ստեղծելու տվյալ խմբագրությունը, այն նպատակը, որով կյանքի է կոչվել կոնկրետ պատմական տարածաժամանակային միջավայրում:

Հետևաբար՝ արժե ըստ այդմ բնորոշել ամեն մի խմբագրական տիպ առանձին-առանձին:

№ 1-ը մայր Ագաթանգեղոսն է, որի պատմաֆունկցիոնալ արժեքը դրսևորվել է այն բանում, որ V դ. 30-ական թվականներին հայ եկեղեցին, սեփական սրբազան դարձաբանական պատմությունն ու վարդապետությունը վավերացնելու նպատակով, ստեղծել է Ագաթանգեղայ Պատմությունը: Այն, ինչպես ոմանք ենթադրել են, հայ եկեղեցու ներսում V-VIII դարերի ընթացքում անցնելով որոշ խմբագրական փոփոխություններով, ինչպես մենք ենք կարծում, նույն դարերի ընթացքում ենթարկվելով որոշ պաշտոնական խմբագրական փոփոխումների, ձեռք է բերել վերջնական ավարտուն և ընդհանրական բնույթ, որովհետև նշված խմբագրական փոփոխումներն արվել են նույն տրամաբանությամբ, ծառայել են նույն նպատակին, ինչ ունեցել է V դարի I կեսի հեղինակային հանձնախումբը (Սահակ, Մաշտոց, Կորյուն և Եզնիկ): Հետևաբար՝ հետագայի հավելումները կոչված են եղել պարզապես խորացնելու և զարգացնելու սկզբնական հեղինակային նպատակադրումը, որն իրավամբ ներկայացնում է հայ եկեղեցու պաշտոնական տեսակետը բոլոր ժամանակներում, քանի նա կա: Այդ պատճառով էլ ճիշտ կլինի այն կոչել պաշտոնական խմբագրություն կամ մայր Ագաթանգեղոս:

Ինչ վերաբերում է վերջինիս այլալեզու թարգմանություններին, ապա դրանք պետք է կոչել հենց այդպես. ոչ թե առանձին խմբագրություն, այլ թարգմանական տարբերակներ, որովհետև դարերի ընթացքում դրանք ձեռք են բերել գրչական տարբերություններ մայր Ագաթանգեղոսի հետ միասին: Այլալեզու տարբերակները վկայում են, որ մայր Ագաթանգեղոսը ընկած է համաշխարհային ագաթանգեղյան նյութի հիմքում:

№ 2 տիպը, որ կոչվում է եկեղեցաքաղաքական խմբագրություն, պատմաֆունկցիոնալ տեսակետից բնորոշվում է իբր այլընտրանքային: Եվ իրոք, այդ տիպին պատկանող երկու խմբագրությունները, որոնք պահպանվել են միայն հունարեն թարգմանություններով և հայտնի են հուն. «Վարք» և Օքրիդայի «Վարք» անուններով, ցույց են տալիս, որ VI դ. վերջին ստեղծված հայ քաղկեդոնական եկեղեցին իր կարճատև կյանքի ընթացքում հասցրել է ունենալ սեփական Ագաթանգեղայ Պատմությունը՝ իբր այլընտրանք եղածի, իսկ VII դ. 30-ա-

կան թվականներին հայ եկեղեցին, ժամանակավորապես ընդունելով միակամական բնույթ, ստիպված էր ըստ այդմ մայր Ազաթանգեղոսի փոխարեն ներկայացնել նոր խմբագրություն:

Իսկ նույն տիպին պատկանող երկու այլ խմբագրություններ, ստեղծվելով միանգամից օտար լեզուներով՝ ասորերեն և լատիներեն, պատմաֆունկցիոնալ առումով նշանակալի են այնու, որ առաջինը կարևորել է հայ-ասորական միջեկեղեցական քաղաքական հարաբերությունների նոր փուլը (VIII դ. I քառ.), իսկ երկրորդը փորձել է ստեղծել Ազաթանգեղոսի նոր խմբագրություն հայ կաթողիկե եկեղեցու տեսակետից (XVIII դ.), իհարկե, հենվելով նախորդ դարերում ձևավորված պատկերացումների ու Կղեմես Գալանոսի պատմական շարադրանքի դրույթների վրա:

Ինչպես տեսնում ենք, եկեղեցաքաղաքական տիպի խմբագրություններն օգնում են բացահայտելու հայոց պատմական անցյալի նոր դրվագներ, հարստացնում են պատմությունը միջազգային եկեղեցական հարաբերությունների նոր էջերով: Ուստի № 2 տիպի խմբագրությունները պետք է գնահատել իբրև պատմականորեն ամենատեղեկատվական բնագրերը:

№ 3 տիպի խմբագրությունները, որ կոչում ենք տոնական-արարողական, ունեն ընդգծված պատմաֆունկցիոնալ ուղղություն, այն է՝ ամբողջ բնագիրը հարմարեցնել սրբի հիշատակի օրվա բարձրաձայն ընթերցման: Ուստի այս խմբագրությունների՝ մետափրաստյան թե հայսմավորքային, տարածման գլխավոր պատճառը եկեղեցիների տոնական տարվա պահանջների բավարարումն է:

№ 4 տիպը ակնհայտորեն կրում է ընթերցարանային բնույթ, դրա համար էլ այն կոչել ենք ճանաչողական-տեղեկատվական: Այն պատմաֆունկցիոնալ ամենացածր արժեքով է օժտված՝ նախորդ տիպերի հետ համեմատած: Այս տիպի խմբագրություններին, ինչպես երևում է պահպանված բնագրերից, հատուկ է Ազաթանգեղոսի պատմություն ստեղծած մշակութային կենտրոնից՝ հայ եկեղեցու կաթողիկոսարանից, հեռու լինելը թե՛ տարածքով, թե՛ լեզվով: Այն կախված չէ, սակայն, ժամանակա-տարածքային որոշակի միջավայրից, ըստ էության այն դուրս է պատմական հանգամանքներից և բոլոր ժամանակների համար է, քանի դեռ աշխարհում կլինի քրիստոնեությունը:

Մատենադարան

e-mail: artsruni.sahakyan@gmail.com

Ա. Ս. Սահակյան

Ագաթանգեղոսի խմբագրությունների տիպաբանություն

Ագաթանգեղոսի խմբագրությունների տիպաբանությունը տրվում է ըստ այն հատկանիշի, թե նրանց պատմաֆունկցիոնալ նշանակության որ կողմն է գերակշռում տվյալ բնագրում: Ագաթանգեղոսի բոլոր խմբագրությունները բաժանվում են չորս տիպի: Այդ քառաստիճան տիպաբանական սանդղակում յուրաքանչյուր նախորդ տիպ, իր գերակշիռ հատկանիշից բացի, պարունակում է նաև հաջորդող տիպերի բոլոր հատկանիշները: Եվ ընդհակառակը, յուրաքանչյուր տիպ զուրկ է սանդղակում իրեն նախորդող տիպերի հատկանիշներից:

А. С. Саакян

Типология редакций Агафангела

В основу классификации разноязычных редакций Агафангела положено их историко-функциональное значение, доминирование того или иного признака. Все разноязычные редакции подразделены на четыре типа. В этой четырехступенчатой градации каждый тип помимо своего доминантного качества содержит в себе еще и рудименты особенностей следующих типов, и, наоборот, каждый следующий тип лишен характерных признаков прежних типов.

A. S. Sahakyan

Typology of Editions of Agathangelos

The typology of editions of Agathangelos is given based on the dominant feature of the historical-functional meaning of the source. The editions of Agathangelos could be classified into four types. In the four-level typological scale of editions of Agathangelos in different languages each previous type, besides its own dominant feature, also contains the features of next types. And the opposite, each type is devoid of the features of its previous types.

Գրականություն

1. *Տեք-Ղևոնդյան Ա.*, Հոդվածների ժողովածու, Երևան, 2003, 698 էջ:
2. *Անասյան*, Հայկական մատենագիտություն, հատ. Ա, Երևան, 1959, 1230 էջ:
3. Պատմություն կենաց... և. Գրիգորի... ի յԱնտոնէ Մարիա Բոնուկիէ, Վենետիկ, 1737, 222 էջ:
4. La version grecque ancienne du livre Armenien d'Agathange. Ed. crit. par Guy Lafontaine, Louvain-la-Neuve, 1973, 362 p.

5. *Տէր-Ղևոնդյան Ա.*, Ազաթանգեղոսի արաբական նոր խմբագրությունը, Երևան, 1968, 120 էջ:
6. *Lafontaine G.* – Le Museon, 1973, № 86, 1-2, p. 125-145.
7. *Garitte G.* – Le Museon, 1941, № 54, 1-4, 1941, p. 221.
8. *Garitte G.* – Le Museon, 1952, № 65, 1-2, p.51-71 (վարքի հայերեն թարգմանությունը՝ [1], էջ 55-59).