

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

ISSN 0321-1339

ՉԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ
REPORTS

2018

Երևան

Երևան

Yerevan

Հիմնադրվել է 1944թ.: Լույս է տեսնում տարին 4 անգամ
Основана в 1944 г. Выходит 4 раза в год

Founded in 1944. Published quarterly

Գլխավոր խմբագիր՝ ակադեմիկոս Ռ. Մ. ՄԱՐՏԻՐՈՍՅԱՆ

Խմբագրական խորհուրդ՝ ակադեմիկոս Գ. Ե. ԲԱՂԴԱՍԱՐՅԱՆ, ակադեմիկոս Վ. Ս. 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, ակադեմիկոս Դ. Մ. ՍԵԴՐԱԿՅԱՆ, 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 Д. М. СЕДРАКЯН, 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 D. M. SEDRAKIAN, 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.
Адресредакции: 0019, Ереван 19, просп. Маршала Баграмяна 24г

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

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

©НАН РА. Президиум. 2018
©Издательство “Титутюн”
НАН РА. 2018

ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

<i>Ս. Հ. Սարգսյան</i> – Արմավորված (շերտավոր) առաձգական միջավայրի տեսության մեկնաբանությունը որպես առաձգականության մոմենտային տեսություն	287
<i>Գ. Ե. Բաղդասարյան</i> – Մագնիսաառաձգական փոխազդեցություններ ճաք պարունակող մագնիսատրիկցիոն ֆերոմագնիսական հարթության և հաստատուն մագնիսական դաշտի միջև	297
<i>Վ. Վ. Թազվորյան</i> – Երկրաշարժերի կանխատեսման համար առաձգականության տեսության մեկ եռաչափ դինամիկ խնդրի մասին	308

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՄՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Վ. Մ. Բելոբեկյան</i> – Առաձգական հիմքի վրա սալերում տեղայնացված անկայունության առաջացման պայմանները	316
--	-----

ԵՐԿԻՐԱՖԻԶԻԿԱ

<i>Ա. Մ. Ավետիսյան, Վ. Յու. Բուրմին, Զ. Կ. Կարապետյան, Կ. Մ. Ղազարյան</i> - Սպիտակի երկրաշարժի հետցնցումային պրոցեսի հիպոկենտրոնների որոշման արդյունքների վերլուծությունը	321
---	-----

ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱ

<i>Հ. Ս. Կարայան, Ս. Վ. Ղանդիլյան, Ա. Հ. Մակարյան</i> – Զանգվածի էլեկտրադինամիկ արագացուցիչների ընդհանրացված էլեկտրաֆիզիկական մոդելավորման և օպտիմալ էներգետիկ բնութագրիչների հաշվարկման որոշ հարցեր	331
--	-----

ԲՈՒՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ժ. Հ. Վարդանյան, Հ. Կ. Մխիթարյան, Զ.Ս. Վարդանյան</i> – ՀՀ Լոռու մարզի Գուգարքի տարածաշրջանի մերձալպյան գոտու ռելիկտային դենդրոցենոզների պահպանության և վերարտադրության խնդիրները	340
---	-----

ԲՈՒՍԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ, ՄՆԿԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Լ. Լ. Օսիպյան, Ե. Յու. Սողոյան</i> – Հայաստանի Հանրապետությունում բույսերի Կարմիր գրքի տեսակների վարակվածությունը ախտածին միկրոմիցետներով	351
--	-----

ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ա. Ս. Սահակյան</i> - Դիտարկումներ Գրիգոր Պարթևի գիտական կենսագրության համար	362
--	-----

Բովանդակություն 118-րդ հատորի	317
-------------------------------------	-----

СОДЕРЖАНИЕ

МЕХАНИКА

<i>С. О. Саркисян</i> – К интерпретации теории армированных (слоистых) упругих сред как моментной теории упругости	287
<i>Г. Е. Багдасарян</i> – Магнитоупругие взаимодействия между магнитоэлектрической ферромагнитной плоскостью с трещиной и постоянным магнитным полем	297
<i>В. В. Тагворян</i> – Об одной трехмерной динамической задаче теории упругости по прогнозу землетрясений	308

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

<i>В. М. Белубемян</i> – Условия появления локализованной неустойчивости пластин на упругом основании	316
---	-----

ГЕОФИЗИКА

<i>А. М. Аветисян, В. Ю. Бурмин, Дж. К. Карапетян, К. С. Казарян</i> – Анализ результатов определения глубин афтершоков Спитакского землетрясения	321
---	-----

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

<i>Г. С. Караян, С. В. Гандилян, А. А. Макарян</i> - Вопросы обобщенного электрофизического моделирования и расчета оптимальных энергетических характеристик электродинамических ускорителей масс	331
---	-----

БОТАНИКА

<i>Ж. Г. Варданын, А. К. Мхитарян, З. С. Варданын</i> - Задачи охраны и воспроизводства реликтовых дендроценозов субальпийского пояса Лорийского марза Гугаркского региона РА	340
---	-----

БОТАНИКА, МИКОЛОГИЯ

<i>Л. Л. Осипян, Е. Ю. Согоян</i> – Поражаемость краснокнижных видов растений патогенными микромицетами в Республике Армения	351
--	-----

ИСТОРИЯ

<i>А. С. Саакян</i> - Заметки к научной биографии Григора Партева	362
---	-----

Содержание 118-го тома	374
------------------------------	-----

C O N T E N T S

MECHANICS

<i>S. H. Sargsyan</i> – To the Interpretation of the Theory of Reinforced (Layered) Elastic Media as a Moment Theory of Elasticity	287
<i>G. Y. Baghdasaryan</i> – Magnetoelastic Interactions Between a Magnetostrictive Ferromagnetic Plane with a Crack and a Constant Magnetic Field	297
<i>V. V. Tagvoryan</i> – On One Three-Dimensional Dynamic Problem of the Theory of Elasticity on the Forecast of Earthquakes	308

ELASTINICITY THEORY

<i>V. M. Belubekyan</i> – Conditions of Arising of Localized Instability in Plates on Elastic Basement	316
--	-----

GEOPHYSICS

<i>A. M. Avetisyan, V. Yu. Burmin, J. K. Karapetyan, K. S. Ghazaryan</i> – Analysis of the Spitak Earthquake Aftershock Process Hypocenters Definition Results	321
--	-----

ELECTROMECHANICS

<i>G. S. Karayan, S. V. Gandilyan, A. H. Makaryan</i> – Some issues concerning the generalized electro physical modelling and calculation of optimal energy characteristics of electrodynamic mass accelerators	331
---	-----

BOTANY

<i>G. H. Vardanyan, H. K. Mkhitarian, Z. S. Vardanyan</i> – Problems of Preservation and Reproduction of Theneer Alpine Relict Dendrocenoses in the Gugark Region of Lori Province in RA	340
--	-----

BOTANY, MICOLOGY

<i>L. L. Osipyan, Y. Y. Soghoyan</i> – The Susceptibility of Red Book Plant Species to Pathogenic Micromycetes in the Republic of Armenia	351
---	-----

HISTORY

<i>A. S. Sahakyan</i> - Notices on the Scientific Biography of Gregory Partev	362
Contents of 118 th volume	377

МЕХАНИКА

УДК 539.3

Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян

**К интерпретации теории армированных (слоистых)
 упругих сред как моментной теории упругости**

(Представлено 12/IX 2018)

Ключевые слова: *армированный, слоистый, упругая среда, структурно-континуальные теории, моментная теория.*

Введение. В работах В. В. Болотина [1-3] построены структурные теории для тел из однородного изотропного упругого материала, армированного тонкими упругими плоскими параллельными пластинками повышенной жесткости или тонкими упругими стержнями повышенной жесткости. В предположении, что число армирующих элементов достаточно велико, в работах [4, 5] на основе принципа «размазывания» с помощью предельного перехода построены континуальные теории для рассмотренных армированных материалов, с весьма существенным заключением, что полученные уравнения в перемещениях в общих чертах (т.к. они содержат четвертые производные от перемещений) аналогичны уравнениям моментной теории упругости Фойхта – Коссера или ее обобщений, причем построенные теории армированных сред трактуются как структурно обоснованные реализации теории Фойхта – Коссера. В работах [4, 5] остается открытым вопрос: в конкретном случае армирования о какой конкретной модели Фойхта – Коссера идет речь. В данной работе, развивая идеи В. В. Болотина, для случая, когда армирующие элементы представляют собой тонкие упругие плоские параллельные пластинки, построена конкретная модель моментной теории упругости со стесненным вращением, которая идентична континуальной теории армированного таким образом материала.

1. Постановка задачи. Рассмотрим плиту, состоящую из n упругих однородных слоев с постоянной толщиной $h_{(k)}$ ($k = 1, 2, \dots, n$) и чередующихся с ними $n-1$ упругих однородных слоев с постоянной толщиной $h_{[k]}$ ($[k] = 1, 2, \dots, n-1$). Изложим кратко построение структурной теории этой плиты, следуя работам [1-3]. Будем считать, что слои, входящие в первую группу, жесткие и каждый из них следует гипотезе Кирхгофа – Лява:

$$\begin{aligned} u_i^{(k)}(x_1, x_2, z^{(k)}) &= v_i^{(k)}(x_1, x_2) - z^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_i} (i=1, 2), \\ u_3^{(k)}(x_1, x_2, z^{(k)}) &= w^{(k)}(x_1, x_2). \end{aligned} \quad (1.1)$$

Здесь $u_i^{(k)}, u_3^{(k)}$ ($i=1, 2$) – тангенциальные и нормальное перемещения в любой точке $(x_1, x_2, z^{(k)})$ (k) – го жесткого слоя, $v_i^{(k)}$ ($i=1, 2$) – тангенциальные перемещения срединной плоскости ($z^{(k)}=0$), $w^{(k)}$ – прогиб этого слоя (координатная плоскость x_1x_2 является или внутренней плоскостью какого-либо слоя или плоскостью контакта слоев, $z^{(k)}$ – отсчитывается от срединной плоскости (k) – го жесткого слоя).

Деформации и напряжения в (k) – м жестком слое определяются формулами:

$$\begin{aligned} \epsilon_{11}^{(k)} &= \gamma_{11}^{(k)} + z^{(k)} \chi_{12}^{(k)}, \quad \epsilon_{22}^{(k)} = \gamma_{22}^{(k)} + z^{(k)} \chi_{21}^{(k)}, \\ \epsilon_{12}^{(k)} &= \epsilon_{21}^{(k)} = \gamma_{12}^{(k)} + z^{(k)} \chi_{11}^{(k)} = \gamma_{21}^{(k)} + z^{(k)} \chi_{22}^{(k)}, \end{aligned} \quad (1.2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(k)} &= \tilde{\sigma}_{11}^{(k)} + z^{(k)} \mu_{12}^{(k)}, \quad \sigma_{22}^{(k)} = \tilde{\sigma}_{22}^{(k)} + z^{(k)} \mu_{21}^{(k)}, \\ \sigma_{12}^{(k)} &= \sigma_{21}^{(k)} = \tilde{\sigma}_{12}^{(k)} + z^{(k)} \mu_{11}^{(k)} = \tilde{\sigma}_{21}^{(k)} + z^{(k)} \mu_{22}^{(k)}, \end{aligned} \quad (1.3)$$

где

$$\begin{aligned} \gamma_{11}^{(k)} &= \frac{\partial v_1^{(k)}}{\partial x_1}, \quad \gamma_{22}^{(k)} = \frac{\partial v_2^{(k)}}{\partial x_2}, \quad \gamma_{12}^{(k)} = \gamma_{21}^{(k)} = \frac{\partial v_1^{(k)}}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2^{(k)}}{\partial x_1}, \quad \chi_{12}^{(k)} = -\frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_1^2}, \\ \chi_{21}^{(k)} &= -\frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_2^2}, \quad \chi_{11}^{(k)} = \chi_{22}^{(k)} = -2 \frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_1 \partial x_2}, \end{aligned} \quad (1.4)$$

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}_{11}^{(k)} &= \frac{E_{(k)}}{1 - \nu_{(k)}^2} (\gamma_{11}^{(k)} + \nu_{(k)} \gamma_{22}^{(k)}) (1 \leftrightarrow 2), \\ \tilde{\sigma}_{12}^{(k)} &= \tilde{\sigma}_{21}^{(k)} = G_{(k)} \gamma_{12}^{(k)} = G_{(k)} \gamma_{21}^{(k)}, \quad G_{(k)} = \frac{E_{(k)}}{2(1 + \nu_{(k)})}, \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$\begin{aligned} \mu_{12}^{(k)} &= \frac{E_{(k)}}{1 - \nu_{(k)}^2} (\chi_{12}^{(k)} + \nu_{(k)} \chi_{21}^{(k)}) (1 \leftrightarrow 2), \\ \mu_{11}^{(k)} &= \mu_{22}^{(k)} = \frac{1}{2} G_{(k)} \chi_{11}^{(k)} = \frac{1}{2} G_{(k)} \chi_{22}^{(k)}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Здесь $E_{(k)}, \nu_{(k)}, G_{(k)}$ – модель упругости, коэффициент Пуассона и модуль сдвига материала (k) – го жесткого слоя. Моментные части в напряжениях (1.3) нами специально обозначены через $\mu_{12}^{(k)}, \mu_{21}^{(k)}, \mu_{11}^{(k)}, \mu_{22}^{(k)}$ (отметим, что в индексах этих величин первый индекс показывает нормаль к сечению, а второй – направление вектора момента).

Потенциальная энергия деформаций во всех жестких слоях вместе будет выражаться так:

$$\sum_{k=1}^n \int_{V_{(k)}} U_{(k)} dv_{(k)} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \iint_{\Omega} \left[h_{(k)} \left(\tilde{\sigma}_{11}^{(k)} \gamma_{11}^{(k)} + \tilde{\sigma}_{22}^{(k)} \gamma_{22}^{(k)} + \tilde{\sigma}_{12}^{(k)} \gamma_{12}^{(k)} \right) + \right. \\ \left. + \frac{h_{(k)}^3}{12} \left(\mu_{12}^{(k)} \chi_{12}^{(k)} + \mu_{21}^{(k)} \chi_{21}^{(k)} + \mu_{11}^{(k)} \chi_{11}^{(k)} + \mu_{22}^{(k)} \chi_{22}^{(k)} \right) \right] dx_1 dx_2, \quad (1.7)$$

где Ω – область координатной плоскости $x_1 x_2$.

Если подставить выражения напряжений и моментных напряжений из формул (1.5), (1.6), потенциальная энергия деформации (1.7) будет выражаться через деформации и изгибы-кручения.

Будем считать, что слои, входящие во вторую группу, мягкие и для каждого из этих слоев все компоненты напряжений, кроме $\tau_{13}, \tau_{23}, \sigma_{33}$, пренебрежимо малы, а перемещения подчиняются линейному закону изменения по толщине этих слоев. Сформулированные допущения для мягких слоев позволяют вырезать параметры напряженно-деформированного состояния $[k]$ -го мягкого слоя через перемещения соседних жестких слоев:

$$\gamma_{31}^{[k]} = \gamma_{13}^{[k]} = \frac{v_1^{(k+1)} - v_1^{(k)}}{h_{[k]}} + \frac{c_k'' \frac{\partial w^{(k+1)}}{\partial x_1} + c_k' \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_1}}{h_{[k]}} \quad (1 \rightarrow 2), \quad (1.8)$$

$$\epsilon_{33}^{[k]} = \gamma_{33}^{[k]} = \frac{w^{(k+1)} - w^{(k)}}{h_{[k]}},$$

$$\tau_{13}^{[k]} = \tau_{31}^{[k]} = G_{[k]} \gamma_{13}^{[k]} = G_{[k]} \gamma_{31}^{[k]} \quad (1 \rightarrow 2), \quad \sigma_{33}^{[k]} = E_{[k]} \gamma_{33}^{[k]}. \quad (1.9)$$

Здесь $G_{[k]}, E_{[k]}$ – модуль сдвига и модуль упругости $[k]$ -го мягкого слоя,

$$c_k' = \frac{h_{(k)} + h_{[k]}}{2}, \quad c_k'' = \frac{h_{(k)} + h_{[k+1]}}{2}. \quad (1.10)$$

Потенциальная энергия деформации во всех мягких слоях вместе

$$\sum_{k=1}^{n-1} \int_{V_{[k]}} U_{[k]} dv_{[k]} = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n-1} \iint_{\Omega} \left[h_{[k]} \left(\tau_{31}^{[k]} \gamma_{31}^{[k]} + \tau_{32}^{[k]} \gamma_{32}^{[k]} + \sigma_{33}^{[k]} \gamma_{33}^{[k]} \right) \right] dx_1 dx_2. \quad (1.11)$$

Подставив в (1.11) значения напряжений через формулы (1.9), получим выражение потенциальной энергии деформации (1.11), выраженное через деформации $\gamma_{31}^{[k]}, \gamma_{32}^{[k]}, \gamma_{33}^{[k]}$.

Сумма выражений (1.7) и (1.11) представит потенциальную энергию деформации плиты в целом.

2. Общий вариационный принцип структурной теории. Для вывода уравнений равновесия и естественных граничных условий в [1-3] применен вариационный принцип Лагранжа. Для получения основных уравнений (уравнений равновесия, физических и геометрических уравнений) и естественных граничных условий, целесообразно применять общий вариационный принцип теории упругости [6] (принцип Ху – Вашицу), функционал которого имеет вид

$$I = \int_v \left[W(\varepsilon_{pq}) - X_p u_p \right] dv - \int_v \sigma_{pq} \left[\varepsilon_{pq} - \frac{1}{2} (u_{p,q} + u_{q,p}) \right] dv - \int_{\Sigma} F_p^* u_p d\Sigma. \quad (2.1)$$

Здесь $W(\varepsilon_{pq})$ – плотность потенциальной энергии деформации, выраженная через деформации, X_p – массовые силы, F_p^* – поверхностные усилия, v – область тела, Σ – его полная поверхность; $p, q = 1, 2, 3$.

Для изучаемой задачи функционал (2.1) имеет вид

$$\begin{aligned} I = & \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \iint_{\Omega} \left\{ \frac{E_{(k)} h_{(k)}}{1 - \nu_{(k)}^2} \left[\left(\gamma_{11}^{(k)} \right)^2 + \left(\gamma_{22}^{(k)} \right)^2 + 2\nu_{(k)} \gamma_{11}^{(k)} \gamma_{22}^{(k)} + \frac{1}{2} (1 - \nu_{(k)}) \left(\gamma_{12}^{(k)} \right)^2 \right] + \right. \\ & + \frac{E_{(k)} h_{(k)}^3}{12(1 - \nu_{(k)}^2)} \left[\left(\chi_{12}^{(k)} \right)^2 + \left(\chi_{21}^{(k)} \right)^2 + 2\nu_{(k)} \chi_{12}^{(k)} \chi_{21}^{(k)} + \frac{1}{4} (1 - \nu_{(k)}) \left(\chi_{11}^{(k)} \right)^2 + \right. \\ & + \left. \left. \frac{1}{4} (1 - \nu_{(k)}) \left(\chi_{22}^{(k)} \right)^2 \right] \right\} dx_1 dx_2 + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{n-1} \iint_{\Omega} \left\{ G_{[k]} h_{[k]} \left[\left(\gamma_{31}^{(k)} \right)^2 + \left(\gamma_{32}^{(k)} \right)^2 \right] + \right. \\ & + E_{[k]} h_{[k]} \left(\gamma_{33}^{(k)} \right)^2 dx_1 dx_2 - \sum_{k=1}^n \iint_{\Omega} \left[h_{(k)} \left(\tilde{\sigma}_{11}^{(k)} \gamma_{11}^{(k)} + \tilde{\sigma}_{22}^{(k)} \gamma_{22}^{(k)} + \tilde{\sigma}_{12}^{(k)} \gamma_{12}^{(k)} \right) + \right. \\ & + \frac{h_{(k)}^3}{12} \left(\mu_{12}^{(k)} \chi_{12}^{(k)} + \mu_{21}^{(k)} \chi_{21}^{(k)} + \mu_{11}^{(k)} \chi_{11}^{(k)} + \mu_{22}^{(k)} \chi_{22}^{(k)} \right) \Big] dx_1 dx_2 - \\ & - \sum_{k=1}^{n-1} \iint_{\Omega} h_{[k]} \left(\tau_{31}^{[k]} \gamma_{31}^{[k]} + \tau_{32}^{[k]} \gamma_{32}^{[k]} + \sigma_{33}^{[k]} \gamma_{33}^{[k]} \right) dx_1 dx_2 + \\ & + \sum_{k=1}^n \iint_{\Omega} \left\{ h_{(k)} \left[\tilde{\sigma}_{11}^{(k)} \frac{\partial v_1^{(k)}}{\partial x_1} + \tilde{\sigma}_{22}^{(k)} \frac{\partial v_2^{(k)}}{\partial x_2} + \tilde{\sigma}_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial v_1^{(k)}}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2^{(k)}}{\partial x_1} \right) \right] - \right. \\ & - \frac{h_{(k)}^3}{12} \left[\mu_{12}^{(k)} \frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_1^2} + \mu_{21}^{(k)} \frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_2^2} + \mu_{11}^{(k)} 2 \frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_1 \partial x_2} \right] \Big\} dx_1 dx_2 + \\ & + \sum_{k=1}^{n-1} \iint_{\Omega} h_{[k]} \left\{ \tau_{31}^{[k]} \left[\frac{v_1^{(k+1)} - v_1^{(k)}}{h_{[k]}} + \frac{c_k'' \frac{\partial w^{(k+1)}}{\partial x_1} + c_k' \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_1}}{h_{[k]}} \right] + \right. \\ & + \tau_{32}^{[k]} \left[\frac{v_2^{(k+1)} - v_2^{(k)}}{h_{[k]}} + \frac{c_k'' \frac{\partial w^{(k+1)}}{\partial x_2} + c_k' \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_2}}{h_{[k]}} \right] + \sigma_{33}^{[k]} \frac{w^{(k+1)} - w^{(k)}}{h_{[k]}} \Big\} dx_1 dx_2 - \\ & - \sum_{k=1}^n \iint_{\Omega} \left(q_1^{(k)} v_1^{(k)} + q_2^{(k)} v_2^{(k)} + q_3^{(k)} w^{(k)} \right) dx_1 dx_2 - \\ & - \sum_{k=1}^n \int_l \left[\left(T_{11}^{(k)} v_1^{(k)} + S_{12}^{(k)} v_2^{(k)} - L_{12}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_1} - N_{13}^{(k)} w^{(k)} \right) dx_2 - \right. \end{aligned} \quad (2.2)$$

$$\left. - \left(S_{21}^{(k)} v_1^{(k)} + T_{22}^{(k)} v_2^{(k)} - L_{21}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_2} - N_{23}^{(k)} w^{(k)} \right) dx_1 \right\}.$$

Составив вариационное уравнение

$$\delta I = 0, \quad (2.3)$$

где I определяется выражением (2.2), а также вариации по всем функциональным аргументам, придем к физическим соотношениям упругости (1.5), (1.6), (1.9), геометрическим соотношениям (1.4), (1.8) и следующим уравнениям равновесия:

$$\begin{aligned} h_{(k)} \frac{\partial \tilde{\sigma}_{11}^{(k)}}{\partial x_1} + h_{(k)} \frac{\partial \tau_{12}^{(k)}}{\partial x_2} + \tau_{31}^{[k]} - \tau_{31}^{[k-1]} &= -q_1^{(k)}, \\ h_{(k)} \frac{\partial \tau_{21}^{(k)}}{\partial x_1} + h_{(k)} \frac{\partial \tilde{\sigma}_{22}^{(k)}}{\partial x_2} + \tau_{32}^{[k]} - \tau_{32}^{[k-1]} &= -q_2^{(k)}, \\ \frac{h_{(k)}^3}{12} \left(\frac{\partial^2 \mu_{12}^{(k)}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \mu_{21}^{(k)}}{\partial x_2^2} + 2 \frac{\partial^2 \mu_{11}^{(k)}}{\partial x_1 \partial x_2} + 2 \frac{\partial^2 \mu_{22}^{(k)}}{\partial x_1 \partial x_2} \right) + \left(c_k' \frac{\partial \tau_{31}^{[k]}}{\partial x_1} + c_k'' \frac{\partial \tau_{31}^{[k-1]}}{\partial x_1} \right) + \\ + \left(c_k' \frac{\partial \tau_{32}^{[k]}}{\partial x_2} + c_k'' \frac{\partial \tau_{32}^{[k-1]}}{\partial x_2} \right) + \sigma_{33}^{[k]} - \sigma_{33}^{[k-1]} &= -q_3^{(k)}, \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$(k) = 1, 2, \dots, n; \quad [k] = 1, 2, \dots, n-1.$$

Из вариационного уравнения (2.3) вытекают также естественные граничные условия рассматриваемой задачи, которые, например, для края $x_1 = \text{const}$ имеют вид:

$$\begin{aligned} \frac{E_{(k)} h_{(k)}}{1 - \nu_{(k)}^2} \left(\frac{\partial v_1^{(k)}}{\partial x_1} + \nu_{(k)} \frac{\partial v_2^{(k)}}{\partial x_2} \right) &= T_{11}^{(k)}, \quad \frac{E_{(k)} h_{(k)}}{2(1 + \nu_{(k)})} \left(\frac{\partial v_1^{(k)}}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2^{(k)}}{\partial x_1} \right) = S_{12}^{(k)}, \\ \frac{E_{(k)} h_{(k)}^3}{12(1 - \nu_{(k)}^2)} \left(\frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_1^2} + \nu_{(k)} \frac{\partial^2 w^{(k)}}{\partial x_2^2} \right) &= L_{12}^{(k)}, \\ D_{(k)} \left[\frac{\partial^3 w^{(k)}}{\partial x_1^3} + (2 - \nu_{(k)}) \frac{\partial^3 w^{(k)}}{\partial x_1 \partial x_2^2} \right] - \frac{G_{[k]}}{h_{[k]}} c_k' \left(v_1^{(k+1)} - v_1^{(k)} + c_k' \frac{\partial w^{(k+1)}}{\partial x_1} + c_k'' \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_1} \right) - \\ - \frac{G_{[k-1]}}{h_{[k-1]}} c_k'' \left(v_1^{(k)} - v_1^{(k-1)} + c_{k-1}' \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x_1} + c_{k-1}'' \frac{\partial w^{(k-1)}}{\partial x_1} \right) &= N_{13}^{(k)}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Для решения структурной задачи необходимо для каждого (k) решать систему уравнений (2.4), (1.5), (1.6), (1.9), (1.4), (1.8) с учетом граничных условий (2.5).

Подставив геометрические соотношения (1.4), (1.8) в физические соотношения упругости (1.5), (1.6), (1.9), а последние в уравнения равновесия (2.4), придем к системе дифференциальных уравнений в перемещениях, которые идентичны аналогичным уравнениям работ [1-3].

3. Континуальная теория слоисто-армированной плиты. В [4, 5] после построения структурной теории поставлена задача упрощения по-

строенной структурной теории слоисто-армированной плиты, когда число армирующих элементов достаточно велико.

Для этой цели введем, как в работах [4, 5], три функции: $v_1(x_1, x_2, z)$, $v_2(x_1, x_2, z)$, $w(x_1, x_2, z)$ такие, что в точках, принадлежащих срединным плоскостям армирующих (т.е. жестких) элементов, они будут приближенно равны соответственно $v_1^{(k)}(x_1, x_2)$, $v_2^{(k)}(x_1, x_2)$, $w^{(k)}(x_1, x_2)$.

Будем предполагать, что функции $v_1(x_1, x_2, z)$, $v_2(x_1, x_2, z)$, $w(x_1, x_2, z)$ непрерывны и дифференцируемы столько раз, сколько это потребуется.

Благодаря использованию множественности армирующих элементов и того обстоятельству, что при переходе от одного армирующего элемента к другому соответствующие функции меняются достаточно медленно, формула для функционала (2.2) допускает дальнейшее упрощение. А именно, первые разности по индексу могут быть приближенно выражены через первые производные по переменной z , вторые – через соответствующие вторые произведения, конечные суммы могут быть аппроксимированы при помощи определенных интегралов в пределах от $-H_1$ до H_2 ($H_1 + H_2 = H$ – полная толщина плиты).

Поступая указанным образом, функционал (2.2) приближенно можем заменить следующим функционалом:

$$\begin{aligned}
\bar{I} = & \int_{\Omega} \int_{-H_1}^{H_2} \frac{1}{2} \left\{ \frac{E_a h_a}{(1-\nu_a^2)c} \left[(\gamma_{11})^2 + (\gamma_{22})^2 + 2\nu_a \gamma_{11} \gamma_{22} + \frac{1}{2}(1-\nu_a)(\gamma_{12})^2 \right] + \right. \\
& + \frac{E_a h_a^3}{12(1-\nu_a^2)c} \left[\chi_{12}^2 + \chi_{21}^2 + 2\nu_a \chi_{12} \chi_{21} + \frac{1}{4}(1-\nu_a) \chi_{11}^2 + \frac{1}{4}(1-\nu_a) \chi_{22}^2 \right] + \\
& + \frac{G_c c}{h_c} \left[(\gamma_{31}^2) + (\gamma_{32}^2) \right] + \frac{E_c}{\eta(1-\eta)} (\gamma_{33})^2 \left. \right\} dx_1 dx_2 dz - \\
& - \iint_{\Omega} \int_{-H_1}^{H_2} \left[\frac{h_a}{c} (\sigma_{11} \gamma_{11} + \sigma_{22} \gamma_{22} + \tau_{12} \gamma_{12}) + \frac{h_a^3}{12c} (\mu_{12} \chi_{12} + \mu_{21} \chi_{21} + \mu_{11} \chi_{11} + \mu_{22} \chi_{22}) + \right. \\
& + (\tau_{31} \gamma_{31} + \tau_{32} \gamma_{32} + \sigma_{33} \gamma_{33}) \left. \right] dx_1 dx_2 dz + \\
& + \iint_{\Omega} \int_{-H_1}^{H_2} \left[\frac{h_a}{c} \left[\sigma_{11} \frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \sigma_{22} \frac{\partial v_2}{\partial x_2} + \tau_{12} \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \right) \right] - \right. \\
& - \frac{h_a^3}{12c} \left(\mu_{12} \frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + \mu_{21} \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} + \mu_{11} 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} + \mu_{22} 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2} \right) + \tau_{31} \left(\frac{\partial v_1}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x_1} \right) + \\
& + \tau_{32} \left(\frac{\partial v_2}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x_2} \right) + \sigma_{33} \frac{\partial w}{\partial z} \left. \right\} dx_1 dx_2 dz - \int_{-H_1}^{H_2} \iint_{\Omega} (q_1 v_1 + q_2 v_2 + q_3 v_3) \frac{1}{c} dx_1 dx_2 dz - \\
& - \int_{-H_1}^{H_2} dz \int_{\Gamma} \left[\frac{1}{c} \left(\overset{0}{T}_{11} v_1 + \overset{0}{S}_{12} v_2 + \overset{0}{N}_{13} w + \overset{0}{L}_{12} \frac{\partial w}{\partial x_1} \right) \right] dx_2 +
\end{aligned} \tag{3.1}$$

$$+ \frac{1}{c} \left(\overset{0}{S}_{21} v_1 + \overset{0}{T}_{22} v_2 + \overset{0}{N}_{23} w + \overset{0}{L}_{21} \frac{\partial w}{\partial x_2} \right) dx_1 \Big].$$

Переход от формулы (2.2) к формуле (3.1) и составляет операцию «энергетического размазывания» [4, 5] или энергетической континуализации.

Примем за основу вариационное уравнение (2.3), когда функционал имеет выражение (3.1); составляя вариации по всем функциональным аргументам, приходим к следующим трем группам уравнений континуальной теории армированной среды:

$$\begin{aligned} & \text{уравнения равновесия} \\ & \frac{h_a}{c} \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{h_a}{c} \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial z} + \frac{1}{c} q_1 = 0, \\ & \frac{h_a}{c} \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_1} + \frac{h_a}{c} \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial z} + \frac{1}{c} q_2 = 0, \\ & \frac{h_a^3}{12c} \left(\frac{\partial^2 \mu_{12}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \mu_{21}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \mu_{11}}{\partial x_1 \partial x_2} \right) + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial z} + \frac{1}{c} q_3 = 0, \end{aligned} \quad (3.2)$$

физические соотношения упругости

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{E_a}{1-\nu_a^2} (\gamma_{11} + \nu_a \gamma_{22}) (1 \leftrightarrow 2), \quad \tau_{12} = \tau_{21} = \frac{E_a}{2(1+\nu_a)} \gamma_{12}, \\ \mu_{12} &= \frac{E_a h_a^2}{2(1-\nu_a^2)} (\chi_{12} + \nu_a \chi_{21}) (1 \leftrightarrow 2), \\ \mu_{11} = \mu_{22} &= \frac{E_a h_a^2}{4(1+\nu_a)} \chi_{11} = \frac{E_a h_a^2}{4(1+\nu_a)} \chi_{22}, \quad \tau_{31} = \frac{G_c c}{h_c} \gamma_{31} (1 \leftrightarrow 2), \quad \tau_{33} = \frac{E_c c}{h_c} \gamma_{33}, \end{aligned} \quad (3.3)$$

геометрические соотношения

$$\begin{aligned} \gamma_{11} &= \frac{\partial v_1}{\partial x_1} (1 \leftrightarrow 2), \quad \gamma_{12} = \frac{\partial v_2}{\partial x_1} + \frac{\partial v_1}{\partial x_2}, \quad \chi_{12} = -\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} (1 \leftrightarrow 2), \\ \chi_{11} = \chi_{22} &= -\frac{\partial^2 w}{\partial x_1 \partial x_2}, \quad \gamma_{31} = \frac{\partial v_1}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} (1 \leftrightarrow 2, x \rightarrow y), \quad \gamma_{33} = \frac{\partial w}{\partial z}. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Если геометрические соотношения (3.4) подставить в физические соотношения (3.3) и последние – в уравнения равновесия, получатся уравнения в перемещениях континуальной теории армированной среды (типа уравнений Ламе теории упругости), которые совпадают с аналогичными уравнениями работ [4, 5]. В эти уравнения перемещения, кроме вторых производных, входят с производными четвертого порядка. Это свидетельствует о том, что здесь имеем дело с моментной теорией упругости со стесненным вращением.

Из составленного выше вариационного уравнения следуют также естественные граничные условия построенной континуальной теории армированной среды (эти граничные условия, выраженные в перемещениях, тоже совпадают с аналогичными граничными условиями работ [4, 5]):

для границы $x_1 = const$:

$$\begin{aligned}
\frac{E_a h_a}{1 - v_a^2} \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + v_a \frac{\partial v_2}{\partial x_2} \right) &= T_{11}^0, & \frac{E_a h_a}{2(1 + v_a)} \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_2} + \frac{\partial v_2}{\partial x_1} \right) &= S_{12}^0, \\
\frac{E_a h_a^3}{12(1 - v_a^2)} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_1^2} + v_a \frac{\partial^2 w}{\partial x_2^2} \right) &= L_{12}^0, \\
\frac{G_c c^2}{h_c} \left(\frac{\partial v_1}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{E_a h_a^3}{12(1 - v_a^2)} \left[\frac{\partial^3 w}{\partial x_1^3} + (2 - v_a) \frac{\partial^3 w}{\partial x_1 \partial x_2^2} \right] &= N_{13}^0,
\end{aligned} \tag{3.5}$$

для границы при $z = H_2$ и, аналогично, при $z = -H_1$:

$$\tilde{\tau}_{31} = q_1^\pm, \quad \tilde{\tau}_{32} = q_2^\pm, \quad \sigma_{33} = q_3^\pm. \tag{3.6}$$

Легко убедиться, что если в структурных уравнениях (2.4), (1.5), (1.6), (1.9), (1.4), (1.8) и в граничных условиях (2.5) перейти к пределу, при $k \rightarrow \infty$, в пределе получим уравнения (3.2)-(3.4) и граничные условия (3.5), (3.6).

4. Моментная теория упругости со стесненным вращением, заменяющая континуальную теорию армированной слоистой среды. Чтобы ответить на вопрос, какая именно моментная теория упругости заменяет континуальную теорию армированной слоистой среды, напомним уравнения равновесия для общей моментной теории упругости со стесненным вращением [7]:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial z} &= 0, & \frac{\partial \mu_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \mu_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \mu_{32}}{\partial z} + \tau_{31} - \tau_{13} &= 0, \\
\frac{\partial \tau_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial z} &= 0, & \frac{\partial \mu_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \mu_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \mu_{31}}{\partial z} + \tau_{32} - \tau_{23} &= 0, \\
\frac{\partial \tau_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial z} &= 0, & \frac{\partial \mu_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \mu_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \mu_{33}}{\partial z} + \tau_{21} - \tau_{12} &= 0,
\end{aligned} \tag{4.1}$$

Сравнивая уравнения (4.1) и (3.2), легко убедиться, что прежде всего должны выполняться следующие условия:

$$\tau_{12} = \tau_{21}, \quad \mu_{13} = \mu_{31} = \mu_{23} = \mu_{32} = \mu_{33} = 0. \tag{4.2}$$

С учетом (4.2) уравнения (4.1) примут вид

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial z} &= 0, & \frac{\partial \tau_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial z} &= 0, \\
\frac{\partial \tau_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \tau_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial z} &= 0,
\end{aligned} \tag{4.3}$$

$$\frac{\partial \mu_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \mu_{22}}{\partial x_2} + \tau_{31} - \tau_{13} = 0, \quad \frac{\partial \mu_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \mu_{21}}{\partial x_2} + \tau_{32} - \tau_{23} = 0. \tag{4.4}$$

Продифференцировав уравнение (4.4)₁ по x_1 , а (4.4)₂ – по x_2 и просуммировав полученные уравнения, имея в виду уравнение (4.4)₃, получим

$$\frac{\partial^2 \mu_{12}}{\partial x_1^2} + \frac{\partial^2 \mu_{21}}{\partial x_2^2} + \frac{\partial^2 \mu_{11}}{\partial x_1 \partial x_2} + \frac{\partial^2 \mu_{22}}{\partial x_1 \partial x_2} + \frac{\partial \tau_{31}}{\partial x_2} + \frac{\partial \tau_{32}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial z} = 0, \tag{4.5}$$

это уравнение, как можно убедиться, совпадает с уравнением (3.2)₃.

Таким образом, система уравнений равновесия $(4.3)_1$, $(4.3)_2$ и (4.5) совпадает с системой уравнений (3.2) (только необходимо в модели (4.3)-(4.5) напряжения $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}$ умножить на $\frac{h_a}{c}$, а моментные напряжения – на $\frac{h_a^3}{12c}$).

Для геометрических и физических соотношений построенной модели моментной теории упругости со стесненным вращением необходимо принимать геометрические соотношения (3.4) и физические соотношения (3.3). Для этой модели моментной теории упругости со стесненным вращением выражение (3.1) будет представлять собой общий вариационный функционал этой модели.

Ширакский государственный университет им М. Налбандяна
e-mail: s_sargsyan@yahoo.com

Член-корреспондент НАН РА С. О. Саркисян

К интерпретации теории армированных (слоистых) упругих сред как моментной теории упругости

Использован общий вариационный функционал теории упругости при построении структурной и континуальной теории армированных (слоистых) упругих сред. Построена конкретная частная моментная теория упругости со стесненным вращением, которая адекватна континуальной теории армированной упругой среды. Построен общий вариационный функционал указанной частной теории моментной упругости со стесненным вращением.

ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ս. Ն. Սարգսյան

Արմավորված (շերտավոր) առաձգական միջավայրի տեսության մեկնաբանությունը որպես առաձգականության մոմենտային տեսություն

Արմավորված (շերտավոր) առաձգական համակարգի կառուցվածքային և կոն-տինուալ տեսությունների կառուցման ժամանակ օգտագործվում է առաձգականու-թյան տեսության ընդհանուր վարիացիոն ֆունկցիոնալը: Կառուցված է արմավորված առաձգական միջավայրի կոնտինուալ տեսությանը ադեկվատ կաշկանդված պտույտ-ներով առաձգականության մոմենտային տեսության կոնկրետ մասնավոր մոդելը: Կա-ռուցված է կաշկանդված պտույտներով առաձգականության տեսության մասնավոր մոդելի ընդհանուր վարիացիոն ֆունկցիոնալը:

Corresponding member of NAS RA S. H. Sargsyan

To the Interpretation of the Theory of Reinforced (Layered) Elastic Media as a Moment Theory of Elasticity

In the present paper during the construction of the structural and continual theory of reinforced (layered) elastic media general variation functional of the theory of

elasticity is used. Concrete private moment theory of elasticity with constrained rotation is constructed, which is adequate to the continual theory of reinforced elastic media. General variation functional of the mentioned private theory of moment elasticity with constrained rotation is constructed.

Литература

1. *Болотин В. В.* – Изв. АН СССР. ОН. Механика и машиностроение. 1963. № 3. С. 65-72.
2. *Болотин В. В.* В сб.: Расчеты на прочность. Вып. 11. М. Машиностроение. 1965. С. 31-63.
3. *Болотин В.В., Новичков Ю. Н.* Механика многослойных конструкций. М. Машиностроение. 1980. 376 с.
4. *Болотин В.В.* – Изв. АН СССР. Механика и машиностроение. 1964. № 1. С. 61-66.
5. *Болотин В. В.* – Механика полимеров. 1965. № 2. С. 27-37.
6. *Новацкий В.* Теория упругости. М. Мир. 1975. 872 с.
7. *Койтер В. Т.* – Механика. Периодич. сб. перев.иностран. статей. 1965. № 3. С. 89-112.

ствами, рассмотрены в работах [6-9]. Результаты, выявленные в настоящей статье, имеют многочисленные применения в области механики разрушения и могут стать средством обнаружения дефектов в магнитоактивных телах с помощью магнитных полей.

2. Постановка задачи. Известно, что при помещении ферромагнитного тела в магнитное поле происходит намагничивание материала, приводящее как к изменению напряженности магнитного поля во всем пространстве, так и к появлению массовых и поверхностных сил. Под действием этих сил в среде возникают деформации, возбуждающие добавочное (индуцированное) магнитное поле. Исходя из этого характеристики магнитного поля представляются в виде

$$\vec{H} = \vec{H}_0 + \vec{h}, \quad \vec{B} = \vec{B}_0 + \vec{b}, \quad \vec{M} = \vec{M}_0 + \vec{m},$$

где $\vec{H}_0$, $\vec{B}_0$ и $\vec{M}_0$, соответственно, – векторы напряженности, магнитной индукции и намагниченности магнитного поля недеформированного тела, $\vec{h}$, $\vec{b}$ и $\vec{m}$ – добавления к указанным величинам, обусловленные деформацией среды. В вакууме векторы $\vec{B}$ и $\vec{H}$ связаны соотношением $\vec{B}^{(e)} = \mu_0 \vec{H}_0^{(e)}$, где μ_0 – абсолютная магнитная постоянная ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Н/м), а индекс e здесь и в дальнейшем означает принадлежность к внешней (окружающей тела) среде, электромагнитные свойства которой эквивалентны свойствам вакуума.

Характеристики магнитного поля недеформированного тела определяются из решения следующей задачи магнитостатики:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{H}_0 &= 0, \quad \operatorname{div} \vec{B}_0 = 0, \quad \vec{B}_0 = \mu_0 \mu_r \vec{H}_0; \\ \vec{n} \cdot (\vec{H}_0 - \vec{H}_0^{(e)}) &= 0, \quad \vec{n} \times (\vec{H}_0 - \vec{H}_0^{(e)}) = 0 \quad \text{при } (x_1, x_2, x_3) \in S_0; \\ \vec{H}_0^{(e)} &\rightarrow \vec{H}^{(0)} \quad \text{при } |\vec{r}| \rightarrow \infty; \end{aligned} \quad (2.1)$$

где $\vec{n}$ – единичный вектор внешней нормали к недеформированной по поверхности S_0 тела, $\vec{r}$ – радиус-вектор, x_i – декартовы координаты рассматриваемой точки, μ_r – относительная магнитная проницаемость среды, $\vec{H}^{(0)}$ – напряженность заданного магнитного поля на бесконечности при отсутствии ферромагнитного тела.

Напряженно-деформированное состояние среды и индуцированное в ней магнитное поле определяются из уравнений и граничных условий магнитоупругости магнитоупругих ферромагнитных тел. Исходя из основных положений теории малых возмущений принимается, что как деформации, так и ими обусловленные магнитные величины являются малыми ($\epsilon_{ij} \ll 1$, $|\vec{h}/\vec{H}_0| \ll 1$, $|\vec{b}/\vec{B}_0| \ll 1$, $|\vec{m}/\vec{M}_0| \ll 1$, где ϵ_{ij} – компоненты линейного тензора деформаций). На этой основе уравнения и граничные условия линеаризуются. В результате при $|M_{oj} u_{i,j}| \ll |m_i|$, получаются следующие линейные уравнения и граничные условия магнитоупругости, приведенные в работе [1]:

система дифференциальных уравнений деформируемого состояния

$$\begin{aligned} t_{ik,k} + \mu_0 (M_{0k} H_{0i,k} + M_{ok} h_{i,k} + m_k H_{0i,k}) &= 0, \\ \varepsilon_{ijk} h_{k,j} &= 0, \quad b_{j,j} = 0, \quad (\vec{b} = \mu_0 \mu_r \vec{h}), \end{aligned} \quad (2.2)$$

где t_{ij} – тензор магнитоупругих напряжений, μ_r – относительная магнитная проницаемость среды;

уравнения состояния

$$t_{ij} = t_{ij}^{(0)} + C_{ijkl} u_{k,l} + 2\mu_0 B_{ijkl} M_{0l} m_k + \mu_0 (H_{0j} m_i + H_{0i} m_j), \quad m_i = \chi h_i, \quad (2.3)$$

где

$$t_{ij}^{(0)} = \mu_0 \chi^{-1} M_{0i} M_{0j} + \frac{1}{2} \mu_0 B_{ijkl} M_{0k} M_{0l};$$

граничные условия на поверхностях раздела двух сред

$$\begin{aligned} \varepsilon_{ijk} \{ n_j [h_k - h_k^{(e)}] - n_m [H_{0k} - H_{ok}^{(e)}] u_{m,j} \} &= 0, \\ n_j [b_i - b_i^{(e)}] &= n_m [B_{0i} - B_{0i}^{(e)}] u_{m,i}, \\ n_i [t_{ij} - t_{ij}^{(e)}] &= \mu_0 n_j \left[\frac{1}{2} (\vec{M}_0 \cdot \vec{n})^2 + (\vec{M}_0 \cdot \vec{n})(\vec{m} \cdot \vec{n}) \right]. \end{aligned} \quad (2.4)$$

В (2.2)-(2.4) C_{ijkl} и B_{ijkl} , соответственно, – тензоры упругих постоянных и магнитоупругих коэффициентов, u_k – компоненты вектора перемещений точек среды, ε_{ijk} – символ Ливы-Чивиты, $\chi = \mu_r - 1$ магнитная восприимчивость материала среды, по повторяющимся индексам предполагается суммирование, а запись $f_{,k}$ означает $\partial f / \partial x_k$.

Отметим, что при получении последних трех условий из (2.4) использован тензор напряжений Максвелла T_{ij}

$$T_{ij} = \mu_0 \mu_r (H_{0i} H_{0j} + H_{0i} h_j + H_{0j} h_i) - \mu_0 \delta_{ij} \left(\frac{1}{2} H_{0k} H_{0k} + H_{0k} h_k \right). \quad (2.5)$$

В дальнейшем рассматриваются только изотропные среды. Для таких сред тензор C_{ijkl} имеет следующее представление:

$$C_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}), \quad (2.6)$$

а тензор B_{ijkl} согласно [3, 10-12] представляется в виде [13]

$$B_{ijkl} = e_2 \delta_{ij} \delta_{kl} + \frac{1}{2} (e_1 - e_2) (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}), \quad (2.7)$$

Здесь λ и μ – постоянные Ляме, e_1 и e_2 – коэффициенты магнитоупругости материала среды.

На основе приведенных уравнений и граничных условий ниже сформулирована постановка плоской задачи о концентрации упругих напряжений и индуцированного магнитного поля возле трещины, обусловленных внешним магнитным полем.

Прямоугольная декартова система координат (x_1, x_2, x_3) выбрана так, что поперечное сечение трещины (берега которой свободны от внешних механических нагрузок) находится в плоскости $(x_1, 0, x_2)$ и занимает

область $[-a, a]$ на координатной оси $0x_1$. Среда помещена в постоянном магнитном поле $\vec{B}^{(0)}(0, B_0, 0)$ (которое является единственным источником внешних воздействий) и находится в условиях плоской деформации в плоскости $(x_1, 0, x_2)$ (рис.1).

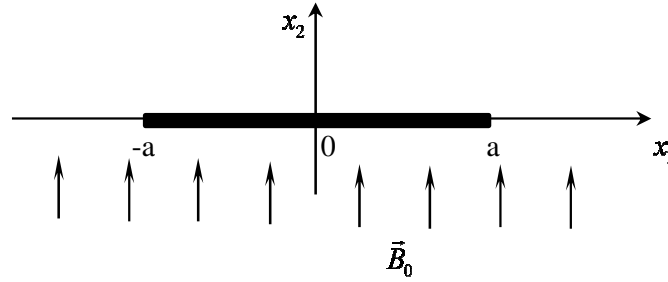


Рис. 1. Трещина конечных размеров в магнестрикционном теле.

Заметим, что для рассматриваемого случая задача (2.1) имеет следующее решение:

$$\begin{aligned} \vec{B}_0^{(e)} &= B_0 \vec{i}_2, & \vec{B}_0 &= \vec{B}_0^{(e)}, \\ \vec{H}_0^{(e)} &= \vec{B}_0^{(e)} \mu_0^{-1}, & \vec{H}_0 &= \vec{B}_0 (\mu_0 \mu_r)^{-1}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

где $\vec{i}_k$ – единичные векторы координатных осей. В (2.8) и в дальнейшем индекс e означает принадлежность к области трещины.

В силу (2.3) и (2.8) из (2.2) для рассматриваемой задачи получаются следующие уравнения магнитоупругости деформированного состояния:

$$\Delta u_1 + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x_1} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) + \frac{2\chi B_0}{\mu_r \mu} s \frac{\partial h_1}{\partial x_2} = 0, \quad (2.9)$$

$$\Delta u_2 + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} \right) + \frac{2\chi B_0}{\mu_r \mu} s \frac{\partial h_2}{\partial x_2} = 0;$$

$$\Delta \Phi = 0, \quad \Delta \Phi^{(e)} = 0,$$

$$h_k = \frac{\partial \Phi}{\partial x_k}, \quad h_k^{(e)} = \frac{\partial \Phi^{(e)}}{\partial x_k}, \quad (2.10)$$

где Δ – двумерный оператор Лапласа, ν – коэффициент Пуассона, s – коэффициент, характеризующий свойства магнестрикции материала среды

$$s = 1 + \chi \frac{e_1 + e_2}{2},$$

Φ и $\Phi^{(e)}$ – потенциалы индуцированных магнитных полей.

Аналогичным образом из (2.3) и (2.4) с учетом симметрии задачи получаются следующие граничные условия на плоскости $x_2 = 0$:

$$\begin{cases} h_1(x_1, 0) = h_1^{(e)}(x_1, 0) + \frac{\chi B_0}{\mu_0 \mu_r} u_{2,1}(x_1, 0), \\ \mu_r h_2(x_1, 0) = h_2^{(e)}(x_1, 0), \\ \Phi^{(e)}(x_1, 0) = 0, \\ t_{22}(x_1, 0) = \frac{\chi^2}{\mu_r} \left[\frac{B_0^2}{2\mu_0 \mu_r} + B_0 h_2(x_1, 0) \right] \end{cases} \quad \text{при } |x_1| < a \quad (2.11)$$

$$\Phi(x_1, 0) = 0, \quad u_2(x_1, 0) = 0 \quad \text{при } |x_1| > a \quad (2.12)$$

$$t_{12}(x_1, 0) = 0 \quad \text{при } |x_1| < \infty \quad (2.13)$$

Кроме условий (2.11)-(2.13) должны удовлетворяться также условия на бесконечности, согласно которым $\lim_{r \rightarrow \infty} h_i = 0$ ($i=1, 2$).

3. Решение задачи. Коэффициенты интенсивности магнитоупругих напряжений и индуцированного магнитного поля. Решения уравнений (2.9) и (2.10), удовлетворяющие условиям на бесконечности, при $x_2 > 0$ представим в виде

$$u_1 = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \left\{ \left[c_1(\alpha) - \frac{3-4\nu-x_2\alpha}{\alpha} c_2(\alpha) \right] e^{-\alpha x_2} + \right. \\ \left. + s \cdot \frac{2(1-2\nu)\chi}{\mu_r \mu} B_0 c_3(\alpha) e^{-\alpha x_2} \right\} \sin \alpha x_1 d\alpha, \quad (3.1)$$

$$u_2 = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty [c_1(\alpha) + x_2 c_2(\alpha)] e^{-\alpha x_2} \cos \alpha x_1 d\alpha, \\ \Phi = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty c_3(\alpha) e^{-\alpha x_2} \cos \alpha x_1 d\alpha, \\ \Phi^{(e)} = \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty c_3^{(e)}(\alpha) \operatorname{sh} \alpha x_2 \cos \alpha x_1 d\alpha, \quad (3.2)$$

где $c_i(\alpha)$ ($i=1, 2, 3$) и $c_3^{(e)}(\alpha)$ – неизвестные функции, которые определяем, удовлетворяя граничным условиям (2.11)-(2.13).

Подставляя (3.1) и (3.2) в (2.3) и (2.5), определяем магнитоупругие напряжения t_{ij} и максвелловские напряжения T_{ij} . В частности, для нормальных напряжений t_{22} и T_{22} получим следующие выражения:

$$t_{22} = \frac{4\mu}{\pi} \int_0^\infty \left\{ -\alpha c_1 + (1-2\nu-\alpha x_2) c_2 - \frac{\chi B_0}{\mu_r \mu} [1-2\nu - \right. \\ \left. - \nu \chi (e_1 + e_2)] \alpha c_3 \right\} e^{-\alpha x_2} \cos \alpha x_1 d\alpha + \frac{\chi B_0^2}{2\mu_0 \mu_r^2} (2 + \chi e_1), \quad (3.3) \\ T_{22} = \frac{2\chi+1}{\mu_r} B_0 \left[\frac{B_0}{2\mu_0 \mu_r} - \frac{2}{\pi_0} \int_0^\infty \alpha c_3(\alpha) e^{-\alpha x_2} \cos \alpha x_1 d\alpha \right].$$

Перейдем к определению неизвестных функций $c_i(\alpha)$ ($i=1, 2, 3$) и $c_3^{(e)}(\alpha)$ путем удовлетворения граничным условиям (2.11)-(2.13). Гранич-

ное условие (2.13) приводит к следующему соотношению между неизвестными функциями:

$$\alpha c_1(\alpha) = 2(1-\nu)c_2(\alpha) - \frac{B_0\chi}{2\mu\mu_r} \{3-4\nu+2\chi[(1-\nu)e_1-\nu e_2]\} \alpha c_3(\alpha). \quad (3.4)$$

Используя (3.4), нетрудно показать, что представления (3.1) удовлетворяют граничным условиям (2.11) и (2.12) (кроме второго условия из (2.11)), если неизвестные функции $c_1(\alpha)$ и $c_3(\alpha)$ являются решением следующей системы дуальных интегральных уравнений:

$$\begin{aligned} \int_0^\infty c_1(\alpha) \cos \alpha x_1 d\alpha &= 0, & |x_1| > a \\ \int_0^\infty \alpha c_1(\alpha) \cos \alpha x_1 d\alpha &= \frac{\pi(1-\nu)(2-\chi+\chi e_1)}{4\mu_0\mu_r^2} \chi B_0^2 + \\ &+ \frac{\chi B_0 f_1(e_1, e_2)}{2\mu\mu_r} \int_0^\infty \alpha c_3(\alpha) \cos \alpha x_1 d\alpha; & |x_1| < a \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned} \int_0^\infty c_3(\alpha) \cos \alpha x_1 d\alpha &= 0, & |x_1| > a \\ \int_0^\infty \alpha \left[c_3(\alpha) - \frac{\chi B_0}{\mu_0\mu_r} c_1(\alpha) \right] \sin \alpha x_1 d\alpha &= 0, & |x_1| < a \end{aligned} \quad (3.6)$$

где

$$f_1(e_1, e_2) = 2\nu - 1 + 2(1-\nu)\chi + 2\chi[e_1 - \nu(e_1 - e_2)].$$

Решение системы дуальных интегральных уравнений (3.5)-(3.6), следуя [6,14], представим в виде

$$\begin{aligned} c_1(\alpha) &= \int_0^a \varphi(\xi) J_0(\alpha\xi) d\xi, \\ c_3(\alpha) &= \int_0^a \psi(\xi) J_0(\alpha\xi) d\xi, \end{aligned} \quad (3.7)$$

где $J_0(\alpha\xi)$ – функция Бесселя действительного аргумента, $\varphi(\xi)$ и $\psi(\xi)$ – новые неизвестные функции.

В силу (3.7) первые уравнения в (3.5) и (3.6) тождественно удовлетворяются при любых интегрируемых функциях $\varphi(\xi)$ и $\psi(\xi)$, а вторые уравнения из (3.5) и (3.6) дают следующую систему интегральных уравнений относительно $\varphi(\xi)$ и $\psi(\xi)$:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx_1} \int_{x_1}^a \left[\psi(\xi) - \frac{\chi B_0}{\mu_0\mu_r} \varphi(\xi) \right] \frac{d\xi}{\sqrt{\xi^2 - x_1^2}} &= 0, & |x_1| < a \\ \frac{d}{dx_1} \int_0^{x_1} \left[\frac{\chi B_0 f_1}{2\mu\mu_r} \psi(\xi) - \varphi(\xi) \right] \frac{d\xi}{\sqrt{x_1^2 - \xi^2}} &= \frac{\chi B_0^2}{4\mu_0\mu_r^2} f_2, & |x_1| < a \end{aligned} \quad (3.8)$$

где

$$f_2 = \pi(1-\nu)(\chi - 2 - \chi e_1).$$

Из (3.8) следует, что неизвестные φ и Ψ являются решениями следующей системы линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} \Psi(\xi) - \frac{\chi B_0}{\mu_0 \mu_r} \varphi(\xi) &= 0, \\ \frac{\chi B_0 f_1(e_1, e_2)}{2\mu\mu_r} \Psi(\xi) - \varphi(\xi) &= \frac{\chi B_0^2}{4\mu_0 \mu \mu_r^2} f_2 \cdot \xi, \end{aligned} \quad (3.9)$$

Подставляя $\varphi(\xi)$ и $\Psi(\xi)$, которые являются решениями системы (3.9), в представления (3.7), для неизвестных $c_1(\alpha)$ и $c_3(\alpha)$ получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} c_1(\alpha) &= a A_1 \alpha^{-1} J_1(a\alpha), \\ c_3(\alpha) &= a A_3 \alpha^{-1} J_1(a\alpha), \end{aligned} \quad (3.10)$$

где

$$\begin{aligned} A_1 &= -\frac{\chi B_0^2}{2\mu_0 \mu} \frac{f_2(e_1)}{\Delta}, \\ A_3 &= -\frac{B_0}{2\mu_0 \mu_r} \frac{\chi^2 B_0^2}{\mu_0 \mu} \frac{f_2(e_1)}{\Delta}, \\ \Delta &= 2\mu_r^2 - \frac{\chi^2 B_0^2}{\mu_0 \mu} f_1(e_1, e_2), \end{aligned} \quad (3.11)$$

$J_1(a\alpha)$ – функция Бесселя действительного аргумента, а формулы (3.10) получены в предположении, что определитель Δ системы (3.9) отличен от нуля.

На основе (3.4) и (3.10) из (3.1) и (3.2) найдем перемещения u_i ($i=1,2$) и потенциал индуцированного магнитного поля Φ . Подставляя найденные выражения для u_i и Φ в (2.3) и (2.5), определяем магнитоупругие напряжения t_{ij} и индуцированное магнитное поле $\vec{h}$ в среде. В частности, используя (3.1), (3.3) и (3.10), для h_i , t_{22} , T_{22} и u_2 при $x_2=0$ получим следующие выражения:

$$\begin{aligned} h_1(x_1, 0) &= \begin{cases} 0, & \text{при } |x_1| > a \\ -\frac{2A_3}{\pi} \frac{x_1}{\sqrt{a^2 - x_1^2}}, & \text{при } |x_1| < a \end{cases} \\ h_2(x_1, 0) &= \begin{cases} \frac{2A_3}{\pi} \frac{a^2}{\sqrt{x_1^2 - a^2} [x_1 + \sqrt{x_1^2 - a^2}]}, & \text{при } |x_1| > a \\ 0, & \text{при } |x_1| < a \end{cases} \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} t_{22} &= \frac{\chi B_0^2}{2\mu_0 \mu_r^2} (2 + \chi e_1) + \frac{2\mu A_1}{\pi(1-\nu)} \left\{ 1 - \frac{\chi^2 B_0^2}{2\mu_0 \mu \mu_r^2} [f_1 - \right. \\ &\quad \left. - 2(1-\nu)\chi] \right\} \frac{a^2}{\sqrt{x_1^2 - a^2} [x_1 + \sqrt{x_1^2 - a^2}]} \quad \text{при } |x_1| > a \end{aligned} \quad (3.13)$$

$$T_{22} = \frac{(2\chi+1)B_0^2}{2\mu_0\mu_r^2} + \frac{2(2\chi+1)B_0}{\pi\mu_r} \frac{a^2 A_3}{\sqrt{x_1^2 - a^2} \left[x_1 + \sqrt{x_1^2 - a^2} \right]} \quad \text{при } |x_1| > a$$

$$u_2(x_1, 0) = \frac{2A_1}{\pi} \sqrt{a^2 - x_1^2}, \quad \text{при } |x_1| < a \quad (3.14)$$

Формулы (3.12) и (3.13) показывают, что наличие трещин в магнито-стрикционных ферромагнитных деформируемых телах (находящихся только под действием внешнего стационарного магнитного поля) приводит к появлению концентрации как магнитоупругих напряжений, так и напряжений индуцированного в теле магнитного поля. Указанные результаты обнаружены также в случае магнитомягких ферромагнитных тел в работах [6,9].

Используя (3.12) и (3.13), легко найти следующие выражения для коэффициентов интенсивности магнитоупругих напряжений и компонент напряжения индуцированного в теле магнитного поля:

для суммарных магнитоупругих напряжений $t_{22}^C = t_{22} + T_{22}$

$$K_1 = \lim_{x_1 \rightarrow a+0} \sqrt{2(x_1 - a)} t_{22}^C|_{x_2=0} = [\chi(e_1 - 1) + 2] \frac{b_c^2 R_1 \mu}{2\Delta} \sqrt{a}, \quad (3.15)$$

где

$$R_1 = 2\chi + \left(\frac{\chi b_c}{\mu_r} \right)^2 \left\{ 2(1 - \nu + (5 + 6\nu)\chi - 2\chi^2 [e_1 - \nu(e_1 - e_2)]) \right\},$$

$$\Delta = 2\mu_r^2 - (\chi b_c)^2 f_1(e_1, e_2), b_c^2 = \frac{B_0^2}{\mu_0 \mu};$$

для компонент индуцированного магнитного поля

$$K_2 = \lim_{x_1 \rightarrow a^+} \sqrt{2(x_1 - a)} h_2|_{x_2=0} = [\chi(e_1 - 1) + 2] \frac{B_0}{\mu_0 \mu_r} \frac{(\chi b_c)^2}{\Delta} (1 - \nu) \sqrt{a}. \quad (3.16)$$

Имея в виду, что на берегах трещины действуют равные по величине и противоположно направленные нормальные силы, принимается, что на концах трещины появляются концентрации магнитоупругих напряжений и компонент индуцированного магнитного поля, если $u_2(x_1, 0) > 0$ при $|x_1| < a$. В силу этого из (3.11) и (3.14) следует, что нормальное перемещение берега трещины $x_2 = 0^+$ будет положительным, если имеет место

$$f_2(e_1) \cdot (\Delta)^{-1} < 0. \quad (3.17)$$

Следовательно, неравенство (3.17) является условием возникновения концентраций указанных выше величин на концах трещины.

В случае магнитомягких ферромагнитных материалов, не обладающих магнитострикционными свойствами ($e_1 = e_2 = 0$), условие (3.17) имеет вид

$$\frac{\pi(1 - \nu)(\chi - 2)}{2\mu_r^2 - (\chi b_c)^2 [2\nu - 1 + 2(1 - \nu)\chi]} < 0. \quad (3.18)$$

Учитывая, что $B_0 \leq B_s$ (где B_s – индукция насыщения и $B_s \leq 2.15$ Тесла), легко проверить, что неравенство (3.18) в случае магнитомягких материалов будет удовлетворяться, если $\mu_r > 10^4$. Т.е. только для таких магнитомягких материалов, имеющих указанную довольно большую относительную магнитную проницаемость, на концах трещины появятся концентрации магнитоупругих напряжений и компонент напряженности магнитного поля.

Вернемся к условию (3.17), когда материалы сред обладают магнито-стрикционным свойством. Имея в виду, что для основных магнито-стрикционных материалов согласно [12, 15, 16] $e_2 \approx -0.5e_1$ и $|e_1| > 20$, из выражений для $f_1(e_1, e_2)$ и $f_2(e_1)$ замечаем, что знак величины $f_1(e_1, e_2)$ совпадает со знаком постоянной e_1 , а для величины $f_2(e_1)$ справедливо обратное утверждение. Аналогичным образом показывается, что определитель Δ , в отличие от случая магнитомягких ферромагнетиков, здесь при $B_0 < B_s$ положителен независимо от знаков магнито-стрикционных постоянных e_i . Учитывая сказанное, заключаем, что в случаях основных магнито-стрикционных материалов:

а) если $e_1 < 0$, то условие (3.17) нарушается и, следовательно, для таких материалов в концах трещины концентрация напряжений (как магнитоупругих, так и индуцированного магнитного поля) отсутствует;

б) если $e_1 > 0$, то (3.17) имеет место и, следовательно, на конце трещины в магнито-стрикционном материале с указанным свойством имеется концентрация напряжений.

Институт механики НАН РА
e-mail: gevorg.baghdasaryan@rau.am

Академик Г. Е. Багдасарян

Магнитоупругие взаимодействия между магнито-стрикционной ферромагнитной плоскостью с трещиной и постоянным магнитным полем

Рассматривается задача о напряженно-деформированном состоянии упругой магнито-стрикционной плоскости с прямолинейной трещиной. Единственным источником, вызывающим упругие деформации и индуцированное магнитное поле в среде, является внешнее магнитное поле, перпендикулярное к плоскости трещины. Определены основные характеристики напряженно-деформированного состояния и индуцированного в среде магнитного поля. Исследованы их особенности около трещины в зависимости от величины магнито-стрикционных постоянных среды и интенсивности внешнего стационарного магнитного поля. Получены условия возникновения концентраций магнитоупругих напряжений и компонент индуцированного магнитного поля на концах трещины. Получены также формулы, определяющие коэффициенты интенсивности как для магнитоупругих напряжений, так и для компонент индуцированных магнитных полей.

Ակադեմիկոս Գ. Ե. Բաղդասարյան

Մագնիսաառաձգական փոխազդեցություններ ճաք պարունակող մագնիսաստրիկցիոն ֆերոմագնիսական հարթության և հաստատուն մագնիսական դաշտի միջև

Դիտարկված է ուղղաձիգ ճաք պարունակող առաձգական մագնիսաստրիկցիոն հարթության լարվածադեֆորմացիոն վիճակի խնդիրը: Առաձգական դեֆորմացիաներ և միջավայրում ինդուկցված մագնիսական դաշտ ստեղծելու միակ աղբյուրն արտաքին մագնիսական դաշտն է, որն ուղղահայաց է ճաքի հարթությանը: Որոշված են լարվածադեֆորմացիոն վիճակի և միջավայրում ինդուկցված մագնիսական դաշտի հիմնական բնութագրիչները: Հետազոտված են նրանց առանձնահատկությունները ճաքի շրջակայքում՝ կախված միջավայրի մագնիսաստրիկցիոն հաստատունների մեծությունից և արտաքին ստացիոնար մագնիսական դաշտի ինտենսիվությունից: Ստացված են պայմաններ ճաքի ծայրերում մագնիսաառաձգական լարումների կոնցենտրացիաների առաջացման և ինդուկցված մագնիսական դաշտի կոմպոնենտների համար: Ստացված են նաև բանաձևեր ինչպես մագնիսաառաձգական լարումների, այնպես էլ ինդուկցված մագնիսական դաշտի կոմպոնենտների ինտենսիվության գործակիցների որոշման համար:

Academician G. Y. Baghdasaryan

Magnetoelastic Interactions Between a Magnetostrictive Ferromagnetic Plane with a Crack and a Constant Magnetic Field

The problem of the stress-strained state of an elastic magnetostrictive plane with a rectilinear crack is considered. The unique source of causing of elastic deformations and an induced magnetic field in the medium is an external magnetic field perpendicular to the crack plane. The main characteristics of the stress-strained state and induced in the medium magnetic field are determined. The features of these characteristics near the crack are investigated depending on the value of magnetostrictive constants of the medium and on the intensity of external stationary magnetic field. Conditions for the occurrence of concentrations of magnetoelastic stresses and components of induced magnetic field at the ends of the crack are obtained. Formulas are obtained, also, to determine the intensity factors for both magnetoelastic stresses and for the components of induced magnetic fields.

Литература

1. Pao Y.-H., Yen C.-S. – Int. J. Eng. Sci. 1973. V. 11. № 4. P. 415-436.
2. Maugin G. A. Continuum Mechanics of Electromagnetic Solids (North-Holland Series in Applied Mathematics and Mechanics Book 33). 2013
3. Багдасарян Г. Е. Колебания и устойчивость магнитоупругих систем. Ереван. Изд-во ЕГУ. 1999. 440 с.
4. Brown W. F. – Journ. of Appl. Phis. 1965. V. 36(3).
5. Varma P. D., Singh M. – J. Non-Linear Mechanics. 1984. V. 19(4). P.273-286.
6. Shindo Y. – ASME J. of applied mechanics. 1977. V. 44. P.47-50.
7. Багдасарян Г. Е., Асаян Д. Д., Аслабян А. А. – Изв. АН АрмССР. Механика. 1988. Т. 10. № 2. С.15-25.

8. Багдасарян Г. Е., Асанян Д. Д. – Изв. РАН. МТТ. 1997. № 4. С. 61-68.
9. Baghdasaryan G. Y., Hasanyan D. J. – International Journ. of Solids and Structures. 2000. V. 37. P. 5371-5383.
10. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. М. Наука. 1979. 639 с.
11. Сыркин Л. Н. Пьезомагнитная керамика. Л. Энергия. 1980. 205 с.
12. Власов К. Б. – Изв. АН СССР. Сер. физическая. 1957. Т. 21. № 8. С. 1140-1148.
13. Багдасарян Г. Е., Даноян Э. А. – Изв. АН РФ. МТТ. 1992. № 3, С. 87-94.
14. Sneddon I. N. Mixed boundary value problems in potential theory. Willey. New York. 1966.
15. Багдасарян Г. Е., Даноян Э. Н., Даноян Э. О. – Доклады НАН Армении. 2010. Т.110. № 4.
16. Берлинкур Д., Керан Д., Жоффе Г. В кн.: Физическая акустика. Т.1. Методы и приборы ультразвуковых исследований (ред. У.Мезон). М. Мир. 1966. С. 204-326.

МЕХАНИКА

УДК 539.3

В. В. Тагворян

Об одной трехмерной динамической задаче теории упругости по прогнозу землетрясений

(Представлено академиком Л. А. Агаловяном 22/XI 2018)

Ключевые слова: *литосферная плита, слоистость, упругость, трехмерная динамическая неклассическая задача, асимптотическое решение.*

Введение. Планета Земля ($R_{\text{зем.}} = 6378$ км.) слоиста, неоднородна и состоит из земной коры, верхней и нижней мантий, внешнего и внутреннего ядер. Основной отличительной чертой между этими слоями является то, что скорости распространения продольных P и сдвиговых S волн в этих слоях существенно разные. В пределах верхней мантии на глубине $100 \div 250$ км существует слой «астеносфера». Земная кора и часть верхней мантии до границы с астеносферой составляют литосферу, которая разбита на несколько больших блоков, называемых плитами.

В XX в. исследования по прогнозу землетрясений показали, что подавляющее большинство сильных землетрясений является результатом тектонических движений литосферных плит Земли ($\approx 95\%$ землетрясений) [1-3]. Выделяются две основные стадии тектонических движений, связанные с землетрясениями: медленные (вековые) и быстротечные (скачкообразные). Вековые движения являются квазистатическими и могут длиться десятки лет. В результате в литосферных плитах Земли и отдельных блоках земной коры накапливаются деформации, которые, достигнув критического значения порядка 10^{-4} , а по данным Рикитаке [1] порядка $4.7 \cdot 10^{-5}$, приводят к глобальному разрушению (землетрясению) и основная часть накопленной потенциальной энергии деформации выделяются в виде объемных упругих продольных P и сдвиговых S волн, а также поверхностных волн Релея и Лява. Скорость продольных волн всегда больше скорости сдвиговых волн, что позволяет определить расстояние очага землетрясения от заданной сейсмостанции.

Быстротечные (скачкообразные) движения являются динамическими, и для их описания необходимо решить динамическую трехмерную задачу

теории упругости для пластинчатого пакета, которая является неклассической.

Сейсмологами замечено, что внешние (в основном атмосферные) воздействия могут влиять на данные наклономеров, деформографов и других измерительных средств, если они помещены на поверхности Земли (слоистого пакета), и поэтому эти измерительные средства начали помещать на некотором расстоянии от лицевой поверхности пакета.

Неклассическая квазистатическая задача для однослойных и многослойных пластин с учетом также влияния изменения температурного поля, когда лицевая поверхность пакета свободна и известны значения компонент вектора перемещения ее точек как данные проводимых измерений, решена в [4, 5]. Та же задача решена для слоистого пакета, когда данные измерений сняты с поверхности контакта между слоями под номерами k и $(k+1)$ [6].

Трехмерная динамическая задача теории упругости для слоистого пакета, когда лицевая поверхность пакета свободна, а компоненты перемещения точек поверхности являются гармоническими по времени функциями, решена в [7]. Случай, когда значения компонент перемещения сняты с поверхности контакта между вторым и третьим слоями, рассмотрен в [8].

В данной работе с помощью асимптотического метода решения сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений [9] решена динамическая трехмерная задача теории упругости для многослойного пакета, когда измерительные приборы (наклонометры, деформографы и др.) помещены на поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n .

2. Основные уравнения и постановка краевой задачи. Рассмотрим слоистый пакет из N ортотропных пластин, занимающий область $D = \{(x, y, z) : 0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, 0 \leq z \leq h, h = h_1 + h_2 + \dots + h_N, \min(a, b) = l, h \ll l\}$, где h_n ($1 \leq n \leq N$) – толщины пластин (рис. 1).

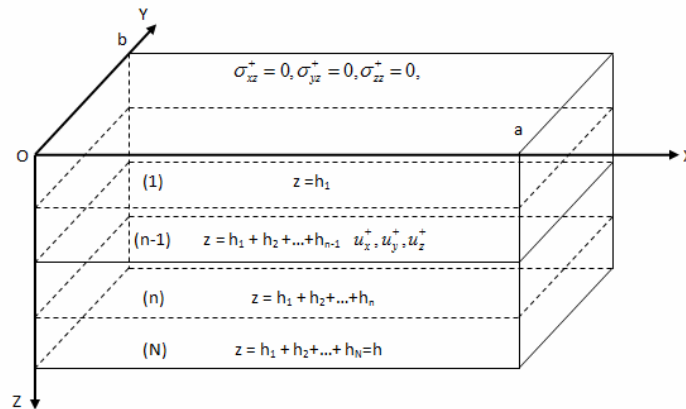


Рис. 1. Слоистый пакет из ортотропных пластин.

Требуется найти для пластинчатого пакета решение уравнений движения трехмерной задачи теории упругости

$$\frac{\partial \sigma_{jx}^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{jy}^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{jz}^{(k)}}{\partial z} = \rho_k \frac{\partial^2 u^{(k)}}{\partial t^2}, \quad (j = x, y, z; u, v, w) \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (2.1)$$

и соотношений упругости Гука для ортотропного тела

$$\begin{aligned} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial x} &= a_{11}^{(k)} \sigma_{xx}^{(k)} + a_{12}^{(k)} \sigma_{yy}^{(k)} + a_{13}^{(k)} \sigma_{zz}^{(k)}, \quad (u, v, w; 1, 2, 3; x, y, z) \\ \frac{\partial u^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial x} &= a_{66}^{(k)} \sigma_{xy}^{(k)}, \quad \frac{\partial w^{(k)}}{\partial x} + \frac{\partial u^{(k)}}{\partial z} = a_{55}^{(k)} \sigma_{xz}^{(k)}, \quad \frac{\partial w^{(k)}}{\partial y} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial z} = a_{44}^{(k)} \sigma_{yz}^{(k)}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

при граничных условиях при $z = 0$ (лицевая поверхность свободна)

$$\sigma_{jz}^{(1)}(x, y, 0, t) = 0, \quad j = x, y, z, \quad (2.3)$$

когда заданы значения перемещений точек поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n как данные наклономеров и других измерительных средств:

$$u^{(n-1)}(x, y, H_{n-1}, t) = u^{(+)}(x, y) \exp(i\Omega t), \quad (u, v, w) \quad (2.4)$$

и при условиях полного контакта между всеми слоями, которые для произвольного (k) -го слоя записываются:

$$\begin{aligned} \sigma_{jz}^{(k)}(z = H_k) &= \sigma_{jz}^{(k+1)}(z = H_k), \quad H_k = \sum_{i=1}^k h_i, \quad k = 1, 2, \dots, N-1, \quad j = x, y, z, \\ u^{(k)}(z = H_k) &= u^{(k+1)}(z = H_k), \quad (u, v, w) \end{aligned} \quad (2.5)$$

где Ω – частота колебаний точек поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n , которая фиксируется наклономерами, сейсмостанциями и GPS. Постоянные упругости a_{ik} , толщины h_k и плотности ρ_k слоев считаются известными.

Для решения сформулированной задачи в системах (2.1), (2.2) переходим к безразмерной системе координат. В результате получается сингулярно возмущенная малым параметром $\varepsilon = h/l$ система, решение которой $(I^{(k)})$ состоит из решений внутренней задачи $(I^{(k)int})$ и пограничного слоя $(I_b^{(k)})$, где $I^{(k)int} = \varepsilon^{q_I+s} I^{(k,s)}$, $q_{\sigma_{ij}} = -1$, $q_{u,v,w} = 0$, $s = \overline{0, S}$.

Асимптотическим методом [7] можно найти следующее общее решение внутренней задачи:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(k,s)} &= -A_{23}^{(k)} \frac{\partial W^{(k,s)}}{\partial \zeta} + A_{22}^{(k)} \frac{\partial U^{(k,s-1)}}{\partial \xi} - A_{12}^{(k)} \frac{\partial V^{(k,s-1)}}{\partial \eta}, \quad (1, 2; \xi, \eta; 22, 33; U, V) \\ \sigma_{33}^{(k,s)} &= A_{11}^{(k)} \frac{\partial W^{(k,s)}}{\partial \zeta} - A_{23}^{(k)} \frac{\partial U^{(k,s-1)}}{\partial \xi} - A_{13}^{(k)} \frac{\partial V^{(k,s-1)}}{\partial \eta}, \\ \sigma_{12}^{(k,s)} &= \frac{1}{a_{66}^{(k)}} \left[\frac{\partial U^{(k,s-1)}}{\partial \eta} + \frac{\partial V^{(k,s-1)}}{\partial \xi} \right], \\ \sigma_{13}^{(k,s)} &= \frac{1}{a_{55}^{(k)}} \left[\frac{\partial W^{(k,s-1)}}{\partial \xi} + \frac{\partial U^{(k,s)}}{\partial \zeta} \right], \quad (\xi, \eta; 1, 2; U, V; a_{55}, a_{44}) \end{aligned} \quad (2.6)$$

где $A_{ij}^{(k)}$ выражаются через $a_{ij}^{(k)}$ по формулам:

$$A_{11}^{(k)} = a_{11}^{(k)} a_{22}^{(k)} - (a_{12}^{(k)})^2 / \Delta, \quad A_{22}^{(k)} = a_{22}^{(k)} a_{33}^{(k)} - (a_{23}^{(k)})^2 / \Delta,$$

$$\begin{aligned}
A_{33}^{(k)} &= a_{11}^{(k)} a_{33}^{(k)} - \left(a_{13}^{(k)}\right)^2 / \Delta, \quad A_{13}^{(k)} = \left(a_{11}^{(k)} a_{23}^{(k)} - a_{12}^{(k)} a_{13}^{(k)}\right) / \Delta, \\
A_{23}^{(k)} &= \left(a_{22}^{(k)} a_{13}^{(k)} - a_{12}^{(k)} a_{23}^{(k)}\right) / \Delta, \quad A_{12}^{(k)} = \left(a_{12}^{(k)} a_{33}^{(k)} - a_{13}^{(k)} a_{23}^{(k)}\right) / \Delta, \\
\Delta &= a_{11}^{(k)} a_{22}^{(k)} a_{33}^{(k)} + 2a_{12}^{(k)} a_{13}^{(k)} a_{23}^{(k)} - a_{11}^{(k)} \left(a_{23}^{(k)}\right)^2 - a_{22}^{(k)} \left(a_{13}^{(k)}\right)^2 - a_{33}^{(k)} \left(a_{12}^{(k)}\right)^2
\end{aligned} \quad (2.7)$$

Для компонент вектора перемещения имеем

$$\begin{aligned}
U^{(k,s)} &= C_{u1}^{(k,s)}(\xi, \eta) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \zeta + C_{u2}^{(k,s)}(\xi, \eta) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(k)}} \rho_k \zeta + u_*^{(k,s)}(\xi, \eta, \zeta) \\
&\left(U, V, W; a_{55}^{(k)}, a_{44}^{(k)}, \frac{1}{A_{11}} \right),
\end{aligned} \quad (2.8)$$

где u_*, v_*, w_* – частные решения неоднородных дифференциальных уравнений, решениями которых являются (2.8).

Удовлетворив граничным условиям (2.3)-(2.5), получим окончательное решение внутренней задачи. Поскольку решение пограничного слоя экспоненциально убывает при удалении от боковой поверхности во внутрь пластинки, в задачах такого типа решением пограничного слоя обычно пренебрегают. Однако при необходимости решение пограничного слоя тоже можно определить.

3. О математически точных решениях. Можно показать, что если входящие в граничные условия (2.4) функции являются многочленами от тангенциальных координат, то итерационный процесс определения искомых величин обрывается на некотором приближении и получается математически точное решение внутренней задачи.

В качестве иллюстрации приведем математически точное решение для пятислойного пакета, когда на поверхности контакта между третьим и четвертым слоями заданы значения перемещений точек как данные измерений наклономеров и других измерительных средств.

Граничными условиями задачи будут:

$$\sigma_{jz}(x, y, 0, t) = 0, \quad j = x, y, z, \quad \text{при} \quad \zeta = 0, \quad (3.1)$$

$$\begin{cases} \sigma_{jz}^{(m)} = \sigma_{jz}^{(m+1)} \\ u^{(m)} = u^{(m+1)} \end{cases} \quad j = x, y, z, \quad (u, v, w), \quad \text{при} \quad \zeta = \zeta_m = \frac{1}{h} \sum_{k=1}^m h_k, \quad m = 1, 2, 4 \quad (3.2)$$

$$\begin{cases} \sigma_{jz}^{(3)} = \sigma_{jz}^{(4)} \\ u^{(3)} = u^{(4)} = u^+ = const \end{cases} \quad j = x, y, z, \quad (u, v, w), \quad \text{при} \quad \zeta = \zeta_3 = \frac{h_1 + h_2 + h_3}{h}, \quad (3.3)$$

Поскольку входящие в граничные условия функции взяты постоянными, итерационный процесс обрывается на исходном приближении, и получается математически точное решение во внутренней задаче.

Величины первого слоя ($0 \leq \zeta \leq \zeta_1$):

$$\begin{aligned}
u^{(1)} &= C_{u2}^{(1,0)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)}} \rho_1 \zeta \exp(i\Omega t), \quad \left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right) \\
\sigma_{13}^{(1)} &= -\Omega \sqrt{\frac{\rho_1}{a_{55}^{(1)}}} C_{u2}^{(1,0)} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)}} \rho_1 \zeta \exp(i\Omega t),
\end{aligned}$$

$$\left(u, v, w, a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}}; \sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33} \right), \quad (3.4)$$

$$C_{u2}^{(1,0)} = \frac{u^+}{M_u^1 - M_u^2 - M_u^3}, \quad (u, v, w),$$

где приняты следующие обозначения:

$$\begin{aligned} M_u^1 &= D_u^{+(3)} \left(D_u^{+(2)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 - D_u^{-(2)} \sqrt{\frac{a_{55}^{(2)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \right), \\ M_u^2 &= D_u^{-(3)} D_u^{+(2)} \sqrt{\frac{a_{55}^{(3)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_3}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1, \\ M_u^3 &= D_u^{-(2)} D_u^{-(3)} \sqrt{\frac{a_{55}^{(3)} \rho_2}{a_{55}^{(2)} \rho_3}} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1, \quad (u, v; a_{55}, a_{44}) \\ M_w^1 &= D_w^{+(3)} \left(D_w^{+(2)} \cos \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1 - D_w^{-(2)} \sqrt{\frac{A_{11}^{(1)} \rho_1}{A_{11}^{(2)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1 \right), \\ M_w^2 &= D_w^{-(3)} D_w^{+(2)} \sqrt{\frac{A_{11}^{(1)} \rho_1}{A_{11}^{(3)} \rho_3}} \sin \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1, \quad M_w^3 = D_w^{-(2)} D_w^{-(3)} \sqrt{\frac{A_{11}^{(2)} \rho_2}{A_{11}^{(3)} \rho_3}} \cos \Omega_* \sqrt{\frac{\rho_1}{A_{11}^{(1)}}} \zeta_1, \\ D_u^{+(2)} &= \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} (\zeta_2 - \zeta_1), \quad D_u^{+(3)} = \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_3} (\zeta_3 - \zeta_2), \\ D_u^{-(2)} &= \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} (\zeta_2 - \zeta_1), \quad D_u^{-(3)} = \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} (\zeta_3 - \zeta_2), \\ &\left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right); \end{aligned}$$

величины второго слоя ($\zeta_1 \leq \zeta \leq \zeta_2$):

$$\begin{aligned} u^{(2)} &= \left[P_{u1}^{(2)} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta + P_{u2}^{(2)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta \right] \exp(i\Omega t), \\ &\left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right) \\ \sigma_{13}^{(2)} &= \left[P_{\sigma_{13}1}^{(2)} \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta - P_{\sigma_{13}2}^{(2)} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta \right] \exp(i\Omega t), \\ &\left(\sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33}; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right), \end{aligned} \quad (3.5)$$

где

$$\begin{aligned} P_{u1}^{(2)} &= C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u1} - S_2^{u1}), \quad P_{u2}^{(2)} = C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u2} + S_2^{u2}), \quad P_{\sigma_{13}1}^{(2)} = \Omega \sqrt{\frac{\rho_2}{a_{55}}} C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u1} - S_2^{u1}), \\ P_{\sigma_{13}2}^{(2)} &= \Omega \sqrt{\frac{\rho_2}{a_{55}}} C_{u2}^{(1,0)} (S_1^{u2} + S_2^{u2}), \quad S_1^{u1} = \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_2^{u1} &= \sqrt{\frac{a_{55}^{(2)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1, \\
S_1^{u2} &= \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1, \\
S_2^{u2} &= \sqrt{\frac{a_{55}^{(2)} \rho_1}{a_{55}^{(1)} \rho_2}} \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(1)} \rho_1} \zeta_1 \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(2)} \rho_2} \zeta_1, \quad \left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}} \right);
\end{aligned}$$

величины третьего слоя ($\zeta_2 \leq \zeta \leq \zeta_3$):

$$\begin{aligned}
u^{(3)} &= \left[\left(u^+ \frac{\sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} + l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2)}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}}} \frac{\cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{D_u^{+(3)}} \right) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta + \right. \\
&\quad \left. + \left(u^+ \frac{\cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} - l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2)}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}}} \frac{\sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{D_u^{+(3)}} \right) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta \right] \exp(i\Omega t), \\
&\quad \left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}}; \sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33} \right) \quad (3.6)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\sigma_{13}^{(3)} &= \left[\Omega \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} \left(u^+ \frac{\sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} + l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2)}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}}} \frac{\cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{D_u^{+(3)}} \right) \cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta - \right. \\
&\quad \left. - \Omega \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}} \left(u^+ \frac{\cos \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_2}{D_u^{+(3)}} - l \frac{\sigma_{13}^{(2,0)}(\zeta_2)}{\Omega_* \sqrt{\frac{\rho_3}{a_{55}^{(3)}}}} \frac{\sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta_3}{D_u^{+(3)}} \right) \sin \Omega_* \sqrt{a_{55}^{(3)} \rho_3} \zeta \right] \exp(i\Omega t), \\
&\quad \left(u, v, w; a_{55}, a_{44}, \frac{1}{A_{11}}; \sigma_{13}, \sigma_{23}, \sigma_{33} \right)
\end{aligned}$$

Используя (2.6)-(2.8), (3.4)-(3.6) и удовлетворив граничным условиям (3.2), несложно найти величины для последних двух слоев.

Институт механики НАН РА
e.mail: varuzh1993@gmail.com

В. В. Тагворян

**Об одной трехмерной динамической задаче теории упругости
по прогнозу землетрясений**

Решена динамическая неклассическая трехмерная задача теории упругости для пластинчатого пакета асимптотическим методом решения сингулярно возмущенных дифференциальных уравнений. Предполагается, что измерительные приборы (наклонометры, деформографы и др.), при помощи которых измеряются данные по перемещениям точек, помещены на поверхности контакта между слоями под номерами $(n-1)$ и n . Указаны случаи, когда решение внутренней задачи становится математически точным. Приведен иллюстрационный пример для пяти-слойного пакета из ортотропных пластин.

Վ. Վ Թագվորյան

**Երկրաշարժերի կանխատեսման համար առաձգականության
տեսության մեկ եռաչափ դինամիկ խնդրի մասին**

Շերտավոր փաթեթի համար սինգուլյար գրգռված դիֆերենցիալ հավասարումների լուծման ասիմպտոտիկ մեթոդով լուծված է առաձգականության տեսության եռաչափ, դինամիկ, ոչ դասական խնդիր: Ենթադրվում է, որ չափիչ սարքերը (թեքաչափեր, դեֆորմոգրաֆներ և այլն, որոնց միջոցով չափվում են տվյալներ կետերի տեղափոխությունների վերաբերյալ, տեղակայված են $(n-1)$ -րդ և n -րդ շերտերի կոնտակտի մակերևույթի վրա: Ցույց են տրված այն դեպքերը, երբ ներքին խնդրի լուծումը դառնում է մաթեմատիկորեն ճշգրիտ: Բերված է ցուցադրական օրինակ օրթոտրոպ սալերից բաղկացած հնգաշերտ փաթեթի համար:

V. V. Tagvoryan

**On One Three-Dimensional Dynamic Problem of the Theory
of Elasticity on the Forecast of Earthquakes**

By the asymptotic method for solving singularly perturbed differential equations solved a dynamic non-classical three-dimensional problem of the theory of elasticity for a layered packet. It is assumed that measuring instruments (tiltmeters, deformographs, etc.) with the help of which data are obtained on the movement of points are placed on the contact surface between the layers with numbers $(n-1)$ and n . cases when the solution of the internal problem becomes mathematically exact are indicated. An illustrative example for a five-layer package of orthotropic plates is given.

Литература

1. *Rikitake T.* Earthquake Prediction. Amsterdam. Elsevier. 1976. 357 p.
2. *Касахара К.* Механика землетрясений. М. Мир. 1985. 264 с.
3. *Пишон К. Л., Франието Ж., Боннин Ж.* Тектоника плит. М. Мир. 1977. 288 с.

4. *Aghalovyan L. A.* – Proceedings of A.Razmadze Mathematical Institute of Georgia. 2011. V. 155. P. 3-10.
5. *Aghalovyan L. A., Aghalovyan M. L.* In: Proceedings of the 5th European Conference on Structural Control – EACS 2012, Genoa, Italy. 18-20 June 2012. Paper N # 069. P. 1-8.
6. *Агаловян Л. А., Тагворян В. В.* В кн.: Проблемы механики деформируемого твердого тела. Ереван. Гитутюн. 2017. С. 24-35.
7. *Агаловян Л. А., Агаловян М. Л.* В кн.: Тр. .Междунар. конф., посв. 100-летию академика НАН РА Н.Х. Арутюняна. 08-12 октября 2012, Цахкадзор, Армения. Ереван. 2012. Т. 1. С. 42-46.
8. *Тагворян В. В.* Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред. Тр. IX междунар. конф. 01-06 октября 2018, Горис, Армения. Ереван. НУАСА. 2018. С. 296-300.
9. *Aghalovyan L. A.* Asymptotic Theory of Anisotropic Plates and Shells. Singapore – London. World Scientific. 2015. 376 p. (*Агаловян Л. А.* Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М. Наука, Физматлит. 1997. 414 с.).

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

УДК 539.3

В. М. Белубекян

Условия появления локализованной неустойчивости пластин на упругом основании

(Представлено чл.-кор. НАН РА А. А. Аветисяном 9/XI 2018)

Ключевые слова: *прямоугольная пластинка, устойчивость, локализация, упругое основание.*

По существу явление локализованной в окрестности свободного края неустойчивости сжатой прямоугольной пластинки было установлено А. Ю. Ишлинским [1] в 1954 г. В 1960 г. Ю. К. Коненков [2] доказал существование локализованных в окрестности свободного края пластинки изгибных колебаний. Эти две задачи оказались аналогичными задачами на собственные значения. В частности они приводятся к одинаковым уравнениям для определения собственных значений [3, 4].

Локализованная неустойчивость упругой изотропной полубесконечной пластины-полосы на упругом основании была рассмотрена в [5]. Аналогичная задача для изгибных колебаний ортотропной пластинки исследована в [6]. В реальности должны решаться задачи, когда край пластинки, противоположный свободному краю, закреплен (поперечное перемещение равно нулю). Тогда возникает вопрос: при каком удалении закрепления от свободного края появляется локализованная неустойчивость (или локализованные изгибные колебания).

1. Пластинка на упругом основании. Тонкая упругая изотропная пластинка в прямоугольной декартовой системе координат занимает область: $0 \leq x \leq a, 0 \leq y \leq b, -h \leq z \leq h$. Предполагается, что пластинка предварительно равномерно сжата по кромкам $y=0$ и $y=b$, а по лицевой поверхности $z=-h$ скреплена с упругим основанием. Уравнение устойчивости пластинки, полученное на основе гипотезы Кирхгофа, имеет вид [7, 8]

$$D\Delta^2 w + p \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 4k^4 w = 0, \quad D = \frac{2Eh^3}{3(1-\nu^2)}. \quad (1.1)$$

Здесь D – жесткость пластинки на изгиб, E – модуль упругости, ν – коэффициент Пуассона, p – усилие сжатия пластинки, $4k^4$ – коэффициент

влияния основания по Винклеру, Δ – двумерный оператор Лапласа. Принимается, что края пластинки под действием сжимающей нагрузки свободно оперты:

$$w = 0, \partial^2 w / \partial y^2 = 0, \text{ при } y = 0, b. \quad (1.2)$$

Край пластинки $x = 0$ свободен, что согласно теории Кирхгофа требует равенства нулю изгибающего момента (M_x) и обобщенного перерезывающего усилия ($\tilde{N}_x$):

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + (2 - \nu) \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right] = 0 \text{ при } x = 0. \quad (1.3)$$

Для четвертой кромки пластинки $x = a$ будут рассмотрены различные варианты граничных условий.

Решение уравнения (1.1), удовлетворяющее граничным условиям (1.3), представляется в виде

$$w = \sum_{n=1}^{\infty} W_n(x) \sin \lambda_n y, \quad \lambda_n = n\pi / b. \quad (1.4)$$

Подстановка (1.4) в уравнение (1.1) приводит к решению последовательной системы обыкновенных дифференциальных уравнений, общее решение которых представляется следующим образом:

$$W_n = A_n \operatorname{sh} \lambda_n p_1 x + B_n \operatorname{ch} \lambda_n p_1 x + C_n \operatorname{sh} \lambda_n p_2 x + D_n \operatorname{ch} \lambda_n p_2 x, \quad (1.5)$$

где

$$p_1 = \left(1 + \sqrt{\eta_n^2 - \xi_n^2} \right)^{1/2}, \quad p_2 = \left(1 - \sqrt{\eta_n^2 - \xi_n^2} \right)^{1/2},$$

$$\eta_n^2 = \frac{P}{D \lambda_n^2}, \quad \xi_n^2 = \frac{4k^2}{D \lambda_n^4}. \quad (1.6)$$

Требуя, чтобы решение (1.5), удовлетворяло условиям свободной кромки (1.3), получаем связи между произвольными постоянными B_n и D_n , A_n и C_n .

$$B_n = -\frac{p_2^2 - \nu}{p_1^2 - \nu} D_n, \quad A_n = -\frac{p_2(p_2^2 - 2 + \nu)}{p_1(p_1^2 - 2 + \nu)} C_n. \quad (1.7)$$

2. Условия на четвертой кромке пластинки. Пусть четвертая сторона пластинки жестко закреплена. Тогда имеют место граничные условия

$$w = 0, \quad \partial w / \partial x = 0, \quad \text{при } x = a. \quad (2.1)$$

Подстановка решения (1.4) с учетом (1.5), (1.7) в граничные условия (2.1) приводит к системе однородных алгебраических уравнений относительно произвольных постоянных C_n, D_n :

$$\left[\operatorname{sh} \lambda_n p_2 a - \frac{p_2(p_2^2 - 2 + \nu)}{p_1(p_1^2 - 2 + \nu)} \operatorname{sh} \lambda_n p_1 a \right] C_n \left(\operatorname{ch} \lambda_n p_2 a - \frac{p_2^2 - \nu}{p p_1^2 - \nu} \operatorname{ch} \lambda_n p_1 a \right) D_n = 0,$$

$$p_2 \left(ch\lambda_n p_2 a - \frac{p_2^2 - 2 + v}{p_1^2 - 2 + v} ch\lambda_n p_1 a \right) C_n + \left(p_2 sh\lambda_n p_2 a - p_1 \frac{p_2^2 - v}{p_1^2 - v} ch\lambda_n p_1 a \right) D_n = 0. \quad (2.2)$$

Условие равенства нулю детерминанта системы (2.2) после некоторых преобразований приводится к уравнению

$$p_1 p_2 \left[(p_2^2 - v)(p_1^2 - 2 + v) + (p_1^2 - v)(p_2^2 - 2 + v) \right] (1 - ch\lambda_n p_1 ach\lambda_n p_2 a) - \\ - \left[p_1^2 (p_2^2 - v)(p_1^2 - 2 + v) + p_2^2 (p_1^2 - v)(p_2^2 - 2 + v) ch\lambda_n p_1 ach\lambda_n p_2 a \right] = 0. \quad (2.3)$$

Из (2.3) в пределе $\lambda_n p_1 a \rightarrow \infty$ (удлиненная пластинка) получается уравнение

$$(p_1 - p_2)^2 [p_1^2 p_2^2 + 2(1 - v)p_1 p_2 - v^2] = 0, \quad (2.4)$$

откуда равенство нулю выражения в квадратных скобках совпадает как с уравнением, определяющим критическое напряжение потери устойчивости [3-5], так и с уравнением локализованных колебаний задачи Коненкова [2]. Указанное уравнение имеет корень, удовлетворяющий условию

$$\xi_n^2 < \eta_n^2 < 1 + \xi_n^2, \quad (2.5)$$

что указывает на существование локализованной неустойчивости в окрестности свободного края $x = 0$.

Естественно ставить вопрос: когда появляется решение, удовлетворяющее условию (2.5) в зависимости от параметра $\lambda_1 a$? Если подставить в уравнение $\eta_n^2 = 1 + \xi_n^2$ предельное значение из интервала (2.5), то получится уравнение относительно $\lambda_1 a$

$$2v(2 - v) + [v^2 + (2 - v)^2] ch\sqrt{2}\lambda_1 a - v^2 \sqrt{2}\lambda_1 a sh\sqrt{2}\lambda_1 a = 0. \quad (2.6)$$

Если обозначить корень уравнения (2.6) при $n = 1(\lambda_1 a)_*$ то очевидно, что решение уравнения (2.3), удовлетворяющее условию (2.5), будет при $\lambda_1 a > (\lambda_1 a)_*$. Так как корень $(\lambda_1 a)_*$ оказывается достаточно большим, из уравнения (2.5) получается приближенное условие появления локализованной неустойчивости

$$\lambda_1 a > \frac{(2 - v)^2 + v^2}{\sqrt{2}v^2}. \quad (2.7)$$

Условие (2.7) совпадает с условием появления локализованных изгибных колебаний с аналогичными граничными условиями (1.2), (1.3), (2.1) [9].

В случае второго варианта граничных условий (свободное опирание)

$$w = 0 \quad \partial^2 w / \partial x^2 = 0 \quad \text{при } x = a. \quad (2.8)$$

подстановка (1.4) с учетом (1.5) приводит к следующим связям между произвольными постоянными:

$$B_n = -A_n th\lambda_n p_1 a, \quad D_n = -C_n th\lambda_n p_2 a. \quad (2.9)$$

Выражения (2.9) вместе с выражениями (1.7) составляют однородную алгебраическую систему уравнений относительно произвольных постоянных A_n, B_n, C_n и D_n . Равенство нулю детерминанта приводит к следующему уравнению:

$$p_2(p_1^2 - v)(p_2^2 - 2 + v)th\lambda_n p_1 a - p_1(p_2^2 - v)(p_1^2 - 2 + v)th\lambda_n p_2 a = 0. \quad (2.10)$$

Из уравнения (2.10) в пределе $\lambda_n p_i a \rightarrow \infty$ получается уравнение

$$(p_1 - p_2)[p_1^2 p_2^2 + 2(1 - v)p_1 p_2 - v^2] = 0. \quad (2.11)$$

Итак, как и в предыдущем случае, получается известное уравнение задачи Коненкова. Уравнение (2.10) имеет корень $\eta_n^2 = 1 + \xi_n^2$ ($p_2 \rightarrow 0$). Делением уравнения (2.10) на p_2 и предельным переходом $\eta_n^2 \rightarrow 1 + \xi_n^2$ ($p_2 \rightarrow 0$) получается уравнение

$$(2 - v)^2 th\sqrt{2}\lambda_n a - \sqrt{2}\lambda_n v^2 a = 0. \quad (2.12)$$

Из уравнения (2.12) определяется корень $(\lambda_1 a)_*$, превышение которого приводит к решению, удовлетворяющему условию (2.5) существования локализованной неустойчивости. В приближении $th\sqrt{2}\lambda_1 a \approx 1$ получается условие

$$\lambda_1 a > \frac{(2 - v)^2}{\sqrt{2}v^2}, \quad (2.13)$$

что также совпадает с аналогичным условием существования локализованных изгибных колебаний [9]. Условия (2.13) для задачи локализованной неустойчивости прямоугольной пластинки без упругого основания впервые было установлено П. Е. Товстиком [10].

Институт механики НАН РА

В. М. Белубекян

Условия появления локализованной неустойчивости пластин на упругом основании

Исследовано явление локализованной неустойчивости продольно-сжатой пластинки на упругом винклеровском основании. Определены условия возникновения локализованной неустойчивости в зависимости от геометрии пластинки. Показано, что полученные условия в предельных случаях совпадают с ранее полученными другими авторами условиями возникновения локализованных колебаний и локализованной неустойчивости в тонких пластинках.

Վ. Մ. Բելուբեկյան

Առաձգական հիմքի վրա սալերում տեղայնացված անկայունության առաջացման պայմանները

Ուսումնասիրված է տեղայնացված անկայունության երևույթը երկայնորեն սեղմված առաձգական ուղղանկյուն սալում, որը տեղադրված է առաձգական հիմքի վրա՝ հետևելով հայտնի Է. Վինկլերի մոդելին: Որոշված են տեղայնացված անկայունության առաջացման պայմանները՝ սալի երկրաչափությունից կախված: Ցույց է տրված, որ

ստացված պայմանները հայտնի սահմանային դեպքերում համընկնում են այլ հեղինակների կողմից նախկինում ստացված բարակ սալերում տեղայնացված տատանումների և տեղայնացված անկայունության առաջացման պայմանների հետ:

V. M. Belubekyan

Conditions of Arising of Localized Instability in Plates on Elastic Basement

Localized instability of rectangular elastic longitudinally compressed plates on Winkler foundation is investigated. Conditions of arising of localized instability are established in dependence of geometry of the plate. It is shown that in known limit cases the established conditions coincide with conditions of arising localized vibrations and localized instability in thin plates established earlier by other authors.

Литература

1. *Ишлинский А. Ю.* – ДАН СССР. 1954. Т.95. № 3. С. 477-479.
2. *Коненков Ю. К.* – Акуст. журн. 1960. Т. 6. № 1. С. 124-126.
3. *Белубекян М. В.* В сб.: Вопросы оптимального управления, устойчивости и прочности механических систем. Ереван. Изд-во ЕГУ. 1997. С. 95-99.
4. *Белубекян М. В., Чил-Акопян Э. О.* – Изв. НАН Армении, Механика. 2004. Т. 57. № 2. С 34-39.
5. *Белубекян В.М., Чил-Акопян Э. О. В.* сб.: Проблемы динамики взаимодействия деформируемых сред (Тр. VII. междунар. конф. Горис – Степанакерт). Ереван, Ин-т механики НАН РА. 2011. С. 85-89.
6. *Althobaiti S., Prikazchikov D.A.* – Изв. НАН Армении, Механика. 2016. № 1. Р. 16-24.
7. *Власов В. З., Леонтьев Н. Н.* Балки, плиты и оболочки на упругом основании. М.: Гос. изд. физ.-мат. лит. 1960. 492 с.
8. *Морозов Н. Ф., Товстик П. Е.* – Изв. РАН МТТ. 2010. № 4. С. 30-42
9. *Белубекян М. В.* В сб.: Проблемы механики деформируемого твердого тела, посвященного 95-летию С. А. Амбарцумяна. Ереван. Гитутюн. 2017. С. 93-98.
10. *Товстик П. Е.* Устойчивость тонких оболочек. (Аналитические. методы). М. Наука. 1995. 320 с.

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.311

А. М. Аветисян¹, В. Ю. Бурмин², Дж. К. Карапетян¹,
К. С. Казарян¹

Анализ результатов определения глубин афтершоков Спитакского землетрясения

(Представлено академиком Б. К. Карапетяном 17/VIII 2018)

Ключевые слова: *землетрясение, годограф, гипоцентры, афтершоки.*

Определение координат землетрясений является первоочередной задачей в сейсмоактивных регионах. К точности решения различных геолого-геофизических задач, в частности прогностических и структурных задач современной сейсмологии, а также задач геодинамики сейсмических регионов, предъявляются всевозрастающие требования.

Определение координат землетрясений относится к числу обратных задач сейсмологии. Характерной чертой обратных задач является их неустойчивость, которая в данном случае особенно ярко выражается при определении глубины гипоцентра землетрясения.

Целью данной работы являются описание и анализ результатов обработки материалов региональных сейсмостанций. Рассмотрены некоторые особенности результатов, получаемых сейсмологической службой Армении.

Проведен сравнительный анализ результатов работ, выполненных по трем методам определения параметров землетрясений, для выявления наилучшего из них. Основное внимание уделено как методам ручной обработки [1] с применением годографа Саакяна, так и алгоритмам определения гипоцентров на ЭВМ с применением годографа Лебедева – Левицкой [2], а также алгоритма, приведенного в работе [3]. Для сравнительного анализа из каталогов и бюллетеней фондов ГС РАН и сейсмической службы Армении были взяты те же афтершоки Спитакского землетрясения, что и в работе [1].

Необходимо отметить, что координаты гипоцентров землетрясений Кавказского региона определялись в основном с применением годографа Лебедева – Левицкой, который, по мнению самих авторов, имел предварительный характер, так как был получен по данным 19 землетрясений, гипоцентры которых были расположены на глубинах до 35 км [2]. Есте-

ственно, что в этом случае землетрясения с глубиной гипоцентров больше 35 км определены быть не могли.

Нетрудно убедиться, что определение гипоцентров землетрясений разными службами и разными методами, по разным годографам и системам наблюдений дает различные результаты. В подтверждение данного факта достаточно изучить табл. 1 [4].

Таблица 1

Сводка параметров гипоцентра землетрясения 08.11.2005 по данным разных сейсмических служб [4]

Дата и время землетрясения: 08.11.2005, 06:27:11.7						
Сейсмическая служба	Полное название	Lat	Lon	Тип маг.	Mag	Глубина
NSSP	Национальная сейсмическая служба защиты, Ереван, Армения	40.983	44.933	ML	3.8	10.0
TIF	Грузинский сейсмический центр мониторинга, Тбилиси, Грузия	40.869	48.144	-	-	17.4
CSEM	Европейский средиземноморский сейсмологический центр, Франция	40.793	47.639	Mb	4.1	2.0
IDC	Международный центр данных, Вена, Австрия	40.838	47.476	Mb	4.0	24.9
MOS	Геофизическая служба РАН, Обнинск, регион Калуга, Россия	41.163	47.473	Mb	4.1	43.0
NEIC	Национальный информационный центр землетрясений, Геологическая служба США	40.622	47.528	Mb	4.1	84.1
NNC	Национальный центр данных, Алматы, Казахстан	41.364	48.309	-	-	14.5
ISC	Международный сейсмологический центр, Великобритания	41.067	47.617	Mb	3.9	33.0

Данные табл. 1 взяты из сайта Международного сейсмологического центра (ISC).

Из таблицы видно, что разные сейсмологические центры и службы при обработке одного и того же землетрясения получили разные результаты, что особенно ярко выражено в определении глубин. Таким образом, можно сделать следующие выводы: 1) глубины гипоцентров в основном определяются ненадежно; 2) для того чтобы отдать предпочтение какому-либо решению, необходимо провести дополнительные исследования.

Основные общеметодологические принципы теории и практики интерпретации сейсмологической информации целесообразно разбить на следующие этапы [5]:

1. Определение моментов вступлений сейсмических волн.
2. Определение распределения скоростей *P*- и *S*-волн.

3. Разработка эффективных алгоритмов определения координат гипоцентров землетрясений в неоднородных средах.

Обобщенный опыт показывает, что задача определения координат гипоцентров решается неформально и поэтому точность (устойчивость) результатов определения гипоцентра землетрясения зависит от точности отдельных этапов.

Аналогичная работа проведена по исследованию пространственно-временного развития сейсмического процесса в очаговых областях сильных землетрясений на примере Назарбекского землетрясения 11.12.1980 [6]. Показано, что кинематические параметры главного толчка и афтершоков, определенные различными сейсмологическими службами, отличаются друг от друга. В очаговой зоне Назарбекского землетрясения выявлены некоторые новые закономерности в физике наблюдаемого явления [6].

В [1] представлены результаты переопределения координат афтершоков Спитакского землетрясения по данным региональных станций за период 7.12.88-24.01.89. Обработка сейсмологического материала осуществлялась методом палеток изохрон Я.В. Ризниченко, построенных по годографам А. Саакяна для глубин очагов $H=5, 10, 15, 20, 25$ км. Как утверждают авторы, сопоставление координат афтершоков, полученных этим методом, с соответствующими определениями координат тех же афтершоков сейсмологами США и Франции, указывает на их близкое совпадение.

Для сравнительного анализа результатов обработки данных разными методами нами из каталогов и бюллетеней были взяты данные афтершоков, обработанные в [1]. В дальнейшем эти же афтершоки были обработаны нами с помощью программы Нуро_Bur [3] с использованием скоростной кривой, полученной в [7 – 9].

Для сравнения результатов мы отметили распределение гипоцентров в широтной и долготной плоскостях по результатам, полученным в [1] (рис. 1), по данным из каталога землетрясений Кавказа (рис. 2) и по программе Нуро_Bur [3, 9] (рис. 3).

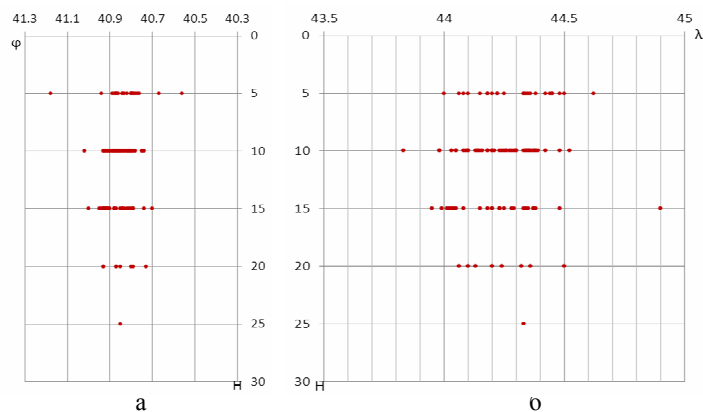


Рис.1. Распределение гипоцентров Спитакского землетрясения 1988 г. и его афтершоков в долготной (а) и широтной (б) плоскостях, по данным работы [1].

Из рис. 1 и 2 видно, что гипоцентры афтершоков, как и следовало ожидать, расположены на глубинах с дискретными значениями 0, 5, 10, 15, 20, 25 км.

На рис. 3 приведено распределение гипоцентров афтершоков Спитакского землетрясения в долготной и широтной плоскостях, полученное с помощью программы Нуро_Vug. Из рисунка видно, что афтершоковый процесс Спитакского землетрясения не такой компактный в пространстве, как это представлялось ранее [1, 10]. Он скорее похож на активизацию сейсмичности в регионе, охватывающем достаточно большую область как по площади, так и по глубине (вплоть до 110 км).

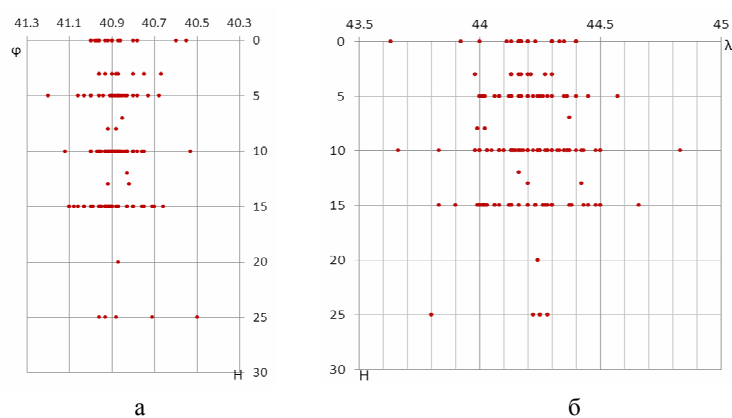


Рис.2. Распределение гипоцентров Спитакского землетрясения 1988 г. и его афтершоков в долготной (*a*) и широтной (*б*) плоскостях (по каталогам).

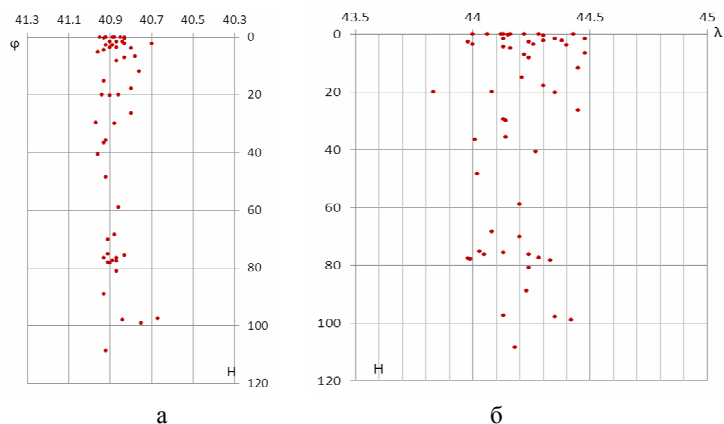


Рис.3. Распределение гипоцентров Спитакского землетрясения 1988 г. и его афтершоков в долготной (*a*) и широтной (*б*) плоскостях (после пересчета).

Существование глубоких очагов афтершоков Спитакского землетрясения является достаточно дискуссионным. Покажем, что очаги глубоких афтершоков действительно имеют место. Для этого нами построены экспериментальные годографы по данным работы [1], по данным каталога кавказских землетрясений [11] и по результатам, полученным после корректировки данных. Также были рассчитаны теоретические годографы для двух глубин очагов: 25 и 100 км. Все годографы нанесены на один график (рис. 4, 5).

Естественно, что выбор из множества решений единственного – новая задача, более сложная, чем первоначальная. На рис. 4 и 5 одинаковые исходные данные обработаны разными методами, и из графиков четко видно, что на рис. 5 разброс маленький, что и доказывает устойчивость решений по методу, полученному авторами статьи.

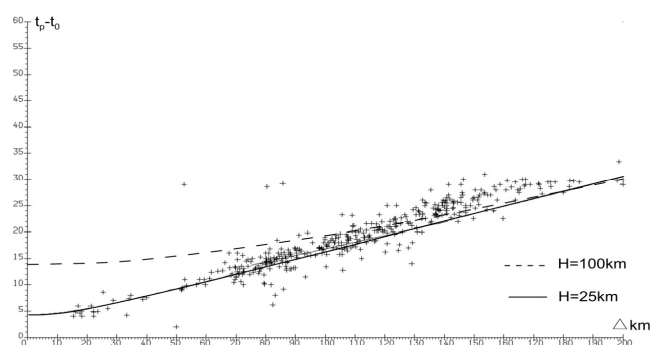


Рис. 4. Теоретический годограф для очагов землетрясений с глубиной 25 и 100 км и точки экспериментальных годографов, по данным работы [1].

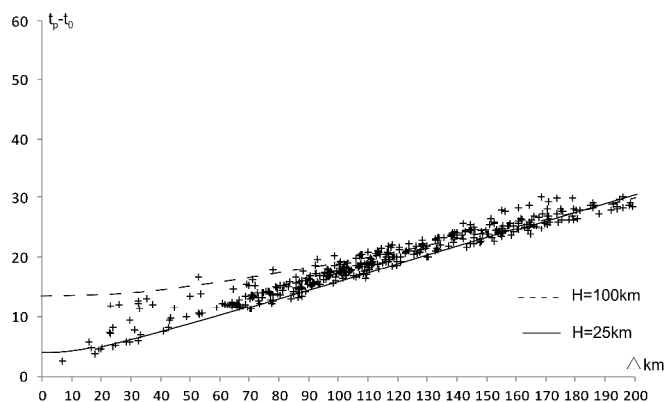


Рис. 5. Теоретический годограф для очагов землетрясений с глубиной 25 и 100 км и точки экспериментальных годографов после обработки

Из рис. 4 видно, что точки, соответствующие наблюдаемым событиям, согласно результатам [1] и каталога, имеют большие глубины, хотя представлены в упомянутых выше работах как события с малыми глубинами. При этом точки перегиба обоих годографов лежат на эпицентральных расстояниях 320 и 730 км, соответственно. Это означает, что определение глубины источников, расположенных на эпицентральных расстояниях меньше 300 км, определяется устойчиво [12]. А это, в свою очередь, говорит о том, что очаги этих событий действительно расположены на больших глубинах. Заметим, что часть точек, построенных по данным бюллетеней и каталогов, лежит гораздо ниже годографа от источника с нулевой глубиной. Последнее обстоятельство указывает на плохое качество данных, приведенных в каталогах и бюллетенях для отдельных событий.

Правильность определения времен вступления объемных волн контролировалась логикой графика Вадати. Для проверки этого утверждения мы построили график зависимости времени пробега продольных $t_p - t_0$ волн от пробега $t_s - t_p$ фиктивных волн.

На рис. 6 приводятся результаты, полученные по данным работы [1], на рис. 7 – по данным бюллетеней, на рис. 8 – после обработки данных времен вступлений продольных и поперечных волн.

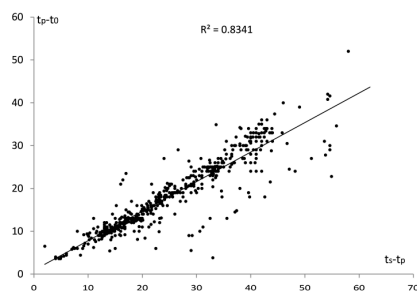


Рис. 6

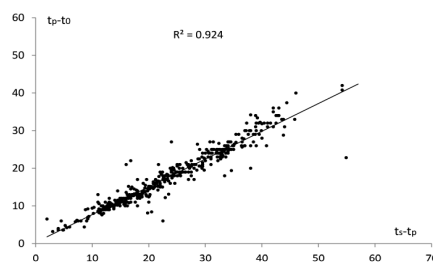


Рис. 7

Рис. 6. График зависимости времен пробега продольных волн ($t_p - t_0$) от времен пробега фиктивных волн ($t_s - t_p$) Спитакского землетрясения и его афтершоков [1].

Рис. 7. График зависимости времен пробега продольных волн ($t_p - t_0$) от времен пробега фиктивных волн ($t_s - t_p$) Спитакского землетрясения и его афтершоков, данные бюллетеней и каталога.

Их сравнение показывает, что самые неустойчивые результаты получены на рис. 6 [1], так как разброс очень большой, что свидетельствует о том, что время в очаге получено неправильно. Для доказательства этого факта вычислим коэффициент детерминации R^2 , который показывает долю общей вариации зависимой переменной, обусловленной регрессией или изменчивостью объясняющей переменной. R^2 принимает значения из интервала $[0;1]$. Чем ближе R^2 к 1, тем теснее наблюдения примыкают к линии регрессии и тем лучше регрессия описывает зависимость переменных. Коэффициент детерминации в данном случае $R^2=0.8341$, по дан-

ным бюллетеней $R^2=0.924$, а по данным результатов после нашей обработки $R^2=0.984$.

Для определения координат гипоцентров афтершоков Спитакского землетрясения нами были использованы данные о приходе сейсмических волн на 16 ближайших сейсмических станциях.

Всего в сейсмологические бюллетени вошли данные о 54 афтершоках за период с 07.12.1988, 07:41:25.7 по 15.12.1988, 23:15:45.0. Координаты гипоцентра основного толчка Спитакского землетрясения по уточненным данным равны: $\varphi=40.845^\circ$, $\lambda=44.150^\circ$, $h=5.0$ км. На рис.9,а показаны проекции распределения афтершоков Спитакского землетрясения на дневную поверхность, на рис.9,б – положение эпицентра его сновного толчка по различным данным [10].

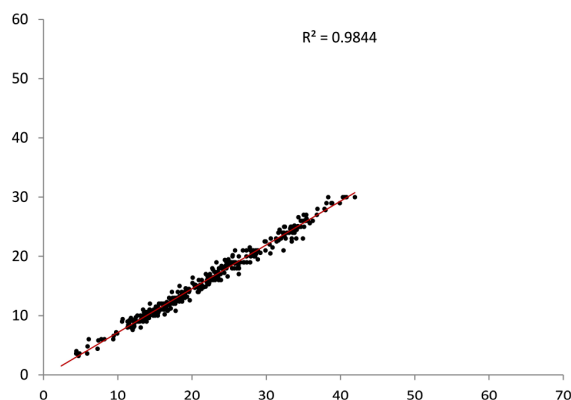


Рис.8. График зависимости времен пробега продольных волн ($t_p - t_0$) от времен пробега фиктивных волн ($t_s - t_p$) Спитакского землетрясения и его афтершоков, после пересчета.

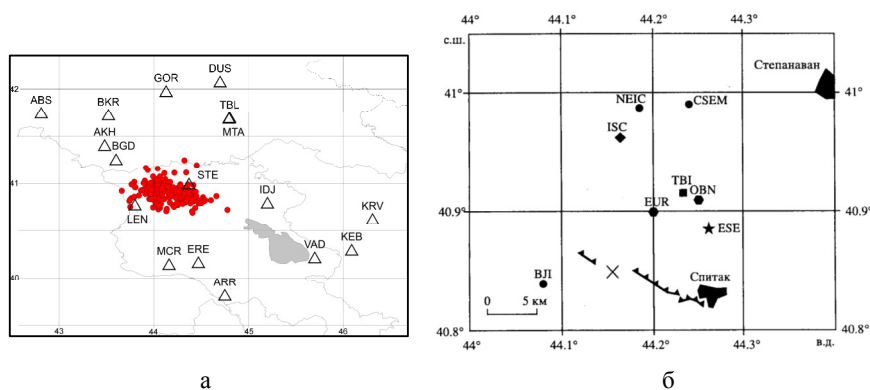


Рис.9. а – Распределение эпицентров афтершоков Спитакского землетрясения; б – положение эпицентра основного толчка Спитакского землетрясения по различным данным. Крестиком нанесено положение эпицентра в соответствии с нашим определением. Там же показаны выходы разрыва на поверхность.

Известно, что при определении координат гипоцентров с помощью компьютерной обработки минимизация функционала выполняется более точно и строго по сравнению с ручной обработкой. Следовательно, более устойчиво и надежно определяется положение очага. Необходимо обратить внимание на то, что в наших расчетах эти основные принципы обработки сейсмологической информации выполняются, что и доказывает правильность наших рассуждений.

Отметим также, что турецкая сейсмическая служба «Восточный Анатолийский исследовательский центр землетрясений – АТА» получила результаты определений глубин землетрясений на территории Армении больше 100 км (табл. 2). Эти данные также подтверждают правильность полученных результатов.

Таблица 2

Данные о глубоких землетрясениях Армении, зарегистрированные турецкой сейсмической службой [16-18]

Дата	Время	Широта	Долгота	Магнитуда, ML	Глубина, км
22-04-2014	11:22:23.9	40.192	43.644	2.0	127
23-04-2014	22:35:48.3	40.782	44.019	2.3	150
30-05-2014	01:28:32.7	40.082	44.12	3.1	111.8

Выводы. Показано, что афтершоковый процесс Спитакского землетрясения не такой компактный в пространстве, как это представлялось ранее. Он, скорее, похож на активизацию сейсмичности в регионе, которая охватывает достаточно большую область, как по площади, так и по глубине (вплоть до 110 км). Ранее глубокие землетрясения на территории Армении, и в частности афтершоки Спитакского землетрясения, не могли быть обнаружены, так как координаты гипоцентров определялись с использованием скоростных кривых или годографов до глубин, не превышающих 50 км. Если же мы хотим получить достоверную информацию о распределении гипоцентров землетрясений, то необходимо при их определении использовать данные о скоростях сейсмических волн или годографы до глубин порядка 700 км.

Авторы выражают глубокую благодарность академику Р. Т. Джрбашяну за полезные рекомендации при написании статьи, непосредственное обсуждение и замечания.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта № 18SH-1E012.

¹ Институт геофизики и инженерной сейсмологии им. А. Назарова
НАН РА, Гюмри
e-mail: avet.andrey@mail.ru

² Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва

**А. М. Аветисян, В. Ю. Бурмин, Дж. К. Карапетян,
К. С. Казарян**

**Анализ результатов определения глубин афтершоков
Спитакского землетрясения**

Исследуется оценка точности пространственного распределения афтершокового процесса Спитакского землетрясения 07.12.1988 г. В связи с тем, что координаты гипоцентров главного толчка и афтершоков Спитакского землетрясения, определенные различными сейсмологическими службами, отличаются друг от друга, возникает вопрос оценки точности получаемых результатов и выявления надежного метода обработки сейсмологической информации. Проведен сравнительный анализ результатов обработки сейсмологической информации по данным работы Годзиковской – афтершоковый процесс Спитакской очаговой зоны по данным региональных станций за период 7.12.88-24.01.89, сейсмологической службы Кавказского регионального центра, а также результатов, полученных с помощью программы Нуро_Bur с использованием скоростной кривой. Показано, что использование программы Нуро_Bur и упомянутой выше скоростной кривой дает более точные результаты и может быть использовано при определении гипоцентров на территории Армении, и в частности при обработке сейсмологической информации очаговой зоны Спитакского землетрясения.

**Ա. Մ. Ավետիսյան, Վ. Յու. Բուրմին, Զ. Կ. Կարապետյան,
Կ. Ս. Դազարյան**

**Սպիտակի երկրաշարժի հետցնցումային պրոցեսի հիպոկենտրոնների
որոշման արդյունքների վերլուծությունը**

Աշխատանքում ուսումնասիրվում է 07.12.1988թ. Սպիտակի երկրաշարժի հետցնցումային պրոցեսի տարածական բաշխվածության ճշտության գնահատականը: Սպիտակի երկրաշարժի գլխավոր ցնցման և հետցնցումների տարբեր սեյսմիկ ծառայություններով որոշված կինեմատիկ պարամետրերը տարբերվում են միմյանցից: Հետևաբար, հարց է առաջանում գնահատել ինչպես ստացված արդյունքների ճշտությունը, այնպես էլ սեյսմաբանական ինֆորմացիայի մշակման ալգորիթմների հուսալիությունը: Այդ նպատակով [1] աշխատանքի, Կովկասի սեյսմիկ ծառայության տարածքային կենտրոնի տվյալներով, ինչպես նաև Hypo_Bur ծրագրի և [9] աշխատանքի հոդոգրաֆի միջոցով ստացված արդյունքներով իրականացվել է սեյսմաբանական ինֆորմացիայի մշակման արդյունքների համեմատական վերլուծություն: Ապացուցվել է, որ Hypo_Bur ծրագրի և ստացված հոդոգրաֆի կիրառումը տալիս է առավել ճշգրիտ արդյունքներ և կարող է կիրառվել հիպոկենտրոնների որոշման, մասնավորապես Սպիտակի երկրաշարժի օջախային գոտու սեյսմաբանական ինֆորմացիայի մշակման դեպքում:

**A. M. Avetisyan, V. Yu. Burmin, J. K. Karapetyan,
K. S. Ghazaryan**

**Analysis of the Spitak Earthquake Aftershock Process
Hypocenters Definition Results**

The article explores estimation of the accuracy of the spatial distribution of the aftershock process of the Spitak earthquake 07.12.1988. The kinematic parameters of

the main shock and aftershocks of the Spitak earthquake, determined by many seismological services, differ from each other. Therefore, the question arises of evaluating the accuracy of the results obtained and identifying a reliable method for processing seismological information. For this purpose, a comparative analysis of the results of processing seismological information from the work data [1], Seismological Service of the Caucasian Regional Center, as well as the results obtained with the program Hypo_Bur with the hodograph of the work [9].

It is proved that the program Hypo_Bur and the hodograph give more accurate results and can be used to determine the hypocenters and when processing seismological information in the Spitak earthquake focal zone.

Литература

1. Годзиковская А.А., Гедакян Э.Г., Товмасын А.К. – Вулканология и сейсмология. 1990. Вып.32. С. 29-35.
2. Левицкая А.Я., Лебедева Т.М. Годограф сейсмических волн Кавказа. Квартальный сейсмический бюллетень. 1953. XXI. № 1-4, Тбилиси, 1953, с. 51-59.
3. Бурмин В.Ю. – Вулканология и сейсмология. 1992. № 3. С. 73–82.
4. http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=10224807&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE
5. Аветисян А.М., Бурмин В.Ю., Манукян А.Г. – Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2012. Т. 65. № 3. С. 70-77.
6. Якубов М.С., Соколов М.В. В кн.: Матер. междунар. конф. «Сейсмичность Северной Евразии», посвященной 10-летию выпуска научных трудов «Землетрясения Северной Евразии». Обнинск. 2008. С. 351-353.
7. Аветисян А.М., Казарян К.С. – Изв. НАН РА. Науки о Земле. 2017. № 3. С. 38-45.
8. Бурмин В.Ю. – Физика Земли. 2004. № 8. С. 34-40.
9. Бурмин В.Ю., Аветисян А.М., Геворкян К.В. – Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 68–78.
10. Арефьев С.С. Эпицентральные сейсмологические исследования. М. Академкнига, 2003. 375 с.
11. Бурмин В.Ю., Аветисян А.М., Сергеева Н.А., Казарян К.С. – Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. С. 11-17.
12. Бурмин В.Ю. – Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 62-71.
13. http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=606443422&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE
14. http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=606443467&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE
15. http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/web-db-v4?event_id=606445143&out_format=IMS1.0&request=COMPREHENSIVE

Простейшая структурная схема рельсотронного ЭДУМ представлена на рис.1.

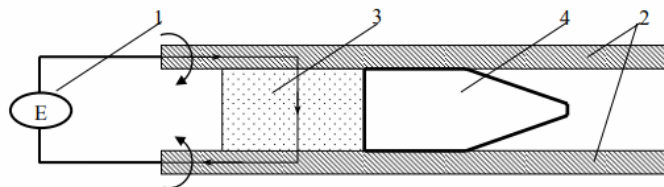


Рис. 1. Структурная схема рельсотронного ЭДУМ: 1 – источник питания; 2 – направляющие электроды (рельсы); 3 – токопроводящий плазменный якорь; 4 – ускоряемое тело (снаряд).

К токопроводящим рельсам подключается источник питания электромагнитной энергии, в котором используются индуктивные и емкостные накопители, униполярные ударные генераторы, характерные для высоко-точной электротехники и ускорительной техники, обеспечивающей **мощный** импульсивный ток возбуждения цепи.

В РЭДУМ ускоряющая сила, выталкивающая якорь (снаряд), действует по всей длине канала ускорения (ствола). В практике конструкция РЭДУМ может быть усложнена введением дополнительных рельсов подмагничивания, усложнением формы якоря, каскадным объединением нескольких ЭДУМ в один многорельсовый.

Одно из возможных применений таких систем – реализация на базе РЭДУМ стратегического кинетического оружия в модификации электромагнитных пушек, обеспечивающие скорость метания снарядов до $6\div 6.5$ км/с (вместе $1.3\div 1.6$ км/с – для снарядов обычных артиллерийских установок и ракетного оружия).

Из известных результатов по достижению рекордных скоростей разгона массивных тел наиболее значительным является полученный в США в 2015 г. эксперимент на установке ЭДУМ, где снаряд массой порядка 2.8 кг развил скорость 9000 км/ч. При этом в качестве энергетической системы возбуждения использовался емкостный накопитель с энергией 10 МДж [10, 11].

Принцип действия индукционных ЭДУМ (рис. 2) основан на взаимодействии магнитного поля, создаваемого соленоидом, с вихревыми токами, индуцируемыми магнитным полем на ускоряемом диамагнитном теле (ускорение якоря происходит под действием давления магнитного поля) [12].

Здесь предложен обобщенный энергетический подход электрофизического моделирования РЭДУМ, позволяющего учитывать большое число конструктивных и динамических взаимосвязанных факторов, определяющих их основные энергетические характеристики. Представленная модель позволяет оценивать основные параметры обобщенной ускорительной системы, такие как: величина токов в контурах и величина магнитной индукции в объеме ускоряемого объекта, ускоряющая сила, действующая на якорь (снаряд) и его скорость, температуры токопроводящих частей, их сопротивление и индуктивность, общая эффективность системы ЭДУМ.

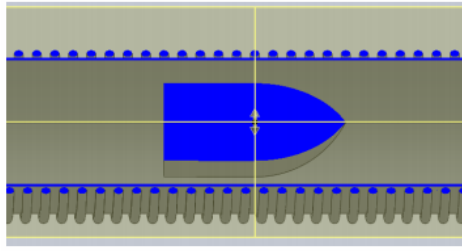


Рис. 2. Принцип индукционного (коаксиального) ускорения макротел.

2. Обобщенная электрофизическая модель электромеханических ЭДУМ. Физические процессы, происходящие в ЭДУМ, можно описать с помощью следующих фундаментальных уравнений.

1) Исследование динамических режимов и энергетических характеристик ЭДУМ можно осуществить универсальной энергетической функцией на базе принципа наименьшего действия электродинамики и электромеханики в лагранж-максвелловском пространстве обобщенных переменных:

$$\varepsilon(t)\delta t = \sum_i^N \delta \left(\oint m_i V_i dl_i + \iint d\psi_i dq_i \right), \quad (1)$$

где N – число материальных контуров тока; m_i – масса, V_i – скорость движения, q_i – электрический заряд, ψ_i – магнитное потокоцепление i -го контура тока [13, 14]. Энергетическая функция $\varepsilon(t)$ характеризует интенсивность взаимодействия электромеханической энергии с внешним источником энергии.

2) Процессы преобразования электромагнитных полей в ЭДУМ можно описать на основе системы уравнений Фарадея – Максвелла. При этом следует отметить, что, так как электрическая проводимость рельсов и якоря в РЭДУМ достаточно высока, в них можно использовать магнитогидродинамическое приближение этих уравнений [15]. В этом приближении ток смещения $\frac{\partial D}{\partial t}$ в РЭДУМ можно пренебречь по сравнению с током проводимости J , и, соответственно, в рабочем объеме ЭДУМ уравнения электромагнитного поля выражаются в форме

$$\begin{aligned} \text{rot} E(r, t) &= -\frac{\partial B(r, t)}{\partial t} - \text{rot} [B(r, t) \times U(r, t)], \\ \text{rot} H(r, t) &= 4\pi j(r, t), \text{div} D(r, t) = \rho_e(r, t), \\ j(r, t) &= \sigma E(r, t), B(r, t) = \beta(r, t) H(r, t), \text{div} B(r, t) = 0, \\ G &\in (r, t), t \in [0, \tau]. \end{aligned} \quad (2)$$

где $U(r, t)$ – скорость деформации контура электрического тока, $r(x, y, z)$ – радиус-вектор якоря $G(r, t)$ – пространство-временная область действия электромагнитного поля в рабочем объеме ЭДУМ при единичном цикле

метания макротел. В РЭДУМ это скорость движения якоря (снаряда) – $U = V$.

Если в РЭДУМ рабочий ток разряда течет не через ускоряемое тело (твердотельный снаряд), а через плазменный поршень, создаваемый за тыльной стороной ускоряемого тела, то относительно системы отсчета, связанной с источником возбуждения, в уравнении (1) масса m определяется как суммарная ускоряемая масса и выражается в форме

$$m = m_1 + m_2,$$

где m_1 – масса твердотельного снаряда, m_2 – масса плазменного поршня, толкающего снаряд.

При этом поведение плазменного поршня в первом приближении можно описать на основе системы уравнений гидродинамики [16, 17], включающей в себя уравнение непрерывности и уравнение движения центра масс плазменного поршня

$$\operatorname{div}(\eta V) + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial V}{\partial t} + (V * \operatorname{grad}) V = F - \frac{1}{\eta} \operatorname{grad}(p), \quad (4)$$

где η – плотность плазменной струи, p – давление, F – электромагнитная сила, действующая на единицу массы плазменного поршня.

В данном случае можно полагать, что давление плазменной струи связано с температурой T следующим известным соотношением (K – постоянная Больцмана) [17]:

$$P = \frac{K\eta}{m_1} * T. \quad (5)$$

Величина суммарной силы сопротивления в РЭДУМ можно выразить в форме

$$F_c = F_1 + F_2 = N_1 V^2 + N_2 V^2, \quad (6)$$

где F_1 – сила сопротивления, N_1 – суммарный коэффициент сопротивления движению твердотельного якоря; F_2 – сила, N_2 – коэффициент турбулентного трения плазменного поршня.

В [18, 19] для N_1 и N_2 определены следующие выражения:

$$N_1 = C_x \rho_0 S_1 \left(1 + f_1 \frac{S_2}{S_1} \right), \quad N_2 = \frac{f_2 m_2}{2d}, \quad (7)$$

где C_x – коэффициент сопротивления воздуха (x – текущая координата на оси, направленной вдоль электродов рельсотрона), ρ_0 – плотность невозмущенного воздуха ($\rho_0 \approx 1,206 \text{ кг/м}^3$), S_1 – эффективная площадь сечения метаемого тела (снаряда), S_2 – площадь боковой поверхности, f_1 – безразмерный коэффициент трения боковой поверхности снаряда и внутренней поверхности канала ЭДУМ, f_2 – безразмерный коэффициент трения плазменного поршня, d – межэлектродный зазор канала ЭДУМ.

Отметим одно важное обстоятельство. Из (1) и (2) следует, что электромагнитную силу (силу магнитного давления), действующую на метаемое тело, в РЭДУМ можно выразить в следующих эквивалентных формах:

- на базе теории цепей с нестационарными параметрами

$$F_3 = \frac{1}{2} \left[\frac{\partial}{\partial x} L(x, t) \right] i^2(t), \quad (8)$$

где $L(x, t)$ – индуктивность рабочего канала рельсотрона, $i(t)$ – импульсный ток возбуждения;

- на базе теории электромагнитного поля

$$F_3 = \frac{1}{2} \frac{d}{dx} \left[\frac{\partial}{\partial \tau} \int_0^{V_0} \rho(r, t) dV_0 \right], \quad (9)$$

$$\rho(r, t) = \frac{1}{2} A(r, t) * D(r, t),$$

где $\rho(r, t)$ – плотность действия в рабочем объеме V_0 рельсотрона, τ – длительность импульса тока возбуждения.

Совместное применение уравнений (1) – (9) позволяет выработать более комбинированный подход при изучении динамических процессов в РЭДУМ, их физико-математического моделирования и автоматизированного проектирования. Появляется возможность учитывать большое количество внешних и внутренних взаимосвязанных факторов, определяющих их основные динамические и энергетические характеристики.

Для исследования динамических и энергетических характеристик РЭДУМ конкретной конструкции необходимо в этих уравнениях учесть их конструкционные особенности, сочетая в одной программе уравнения электрических цепей с уравнениями электромагнитных и тепловых полей.

3. Расчет динамических и энергетических характеристик однокаскадных РЭДУМ. На базе (1) и (9) можно установить исходные уравнения моделирования процессов и расчета динамических и энергетических характеристик однокаскадного ЭДУМ базовой конструкции (рис. 1), в контуре которого протекает импульсный ток $i(t)$, создаваемый разрядом первичного источника электрической энергии с напряжением U_0 в следующей форме:

уравнения баланса мощностей в замкнутой системе (в контуре тока) ЭДУМ и электромеханического движения ускоряемого тела

$$U_0(t) i(t) = i^2(t) R(x) + \frac{d}{dt} W_m + V(t) F_3, \quad (10)$$

$$m \frac{d}{dt} V(t) = \frac{1}{2} \frac{d}{dx} L(x) i^2 - N V^2(t), \quad (11)$$

где W_m – энергия рабочего магнитного поля, $V(t) = \frac{dx}{dt}$ – скорость движения ускоряемого тела вдоль координаты x , $N = (N_1 + N_2)$ – суммарный коэффициент сопротивления движению тела.

Автоматизированное проектирование и технологическое изготовление РЭДУМ являются многопараметрической оптимизационной задачей получения заданной максимальной выходной скорости ускоряемого тела при минимальной мощности источника питания, которое обеспечивается как решением материаловедческих задач (выбор электротехнических материалов функциональных элементов с предельно высокими значениями электрофизической, теплофизической и механической прочности), так и оптимизацией их геометрических параметров [20, 21].

Как для любых технических систем, способность РЭДУМ в процессе эксплуатации сохранять предельные значения параметров устойчивости оценивается параметром «живучести» их функциональных (структурных) элементов.

Определяющие «живучесть» функциональных элементов РЭДУМ узловые принципы могут быть сформированы следующим образом:

максимальное магнитное давление и температура в канале ускорения не должны превышать пределы теплофизической и механической прочности материалов ускоряемого тела;

живучесть канала ускорения (ствола рельсотрона) обеспечивается, если при эксплуатации ЭДУМ протекающий рабочий ток возбуждения не приводит к эрозии контактной поверхности направляющих рельсов (электродов).

Первый принцип определяет ограничение, накладываемое на величину предельно допустимого тока возбуждения пределом динамической прочности материала ускоряемого тела, которое разрушается при ускорении

$$\alpha_m = \frac{\sigma}{\rho l}, \quad (12)$$

где σ – предел прочности материала тела на сжатие; ρ – плотность; l – длина ускоряемого тела в направлении движения. Для диэлектрических материалов метаемого тела (например, поликарбонаты) $\sigma = 9 \div 10$ кг/мм², а для изолированного от рельсов металлического тела (например, тело из алюминиевого сплава с объемной плотностью $\rho = 3$ г/см³) максимальное давление прочности $P_b \approx 80 \div 450$ Мпа [22].

Из (11) и (12) определяется предельное значение силы сжатия ускоряемого тела

$$\frac{L_x i^2(t)}{2m} + \frac{N}{m} V^2(t) \leq \frac{\sigma}{\rho l}, \quad L_x = \frac{d}{dx} L(x), \quad (13)$$

и, соответственно, предельное значение тока возбуждения определяется по формуле

$$i(t) = \sqrt{\frac{2}{L_x} [\sigma d^2 - NV^2(t)]}, \quad (14)$$

где d – ширина канала ускорения рельсотрона.

Из (11) - (14) определяется выражение движения тела без разрушения с предельной скоростью, если начальная скорость $V(0) = 0$, в форме

$$V(t) = \alpha * \frac{1 - e^{-\frac{4N\alpha}{m}t}}{1 + e^{-\frac{4N\alpha}{m}t}}, \quad (15)$$

где $\alpha = d\sqrt{\frac{\sigma}{2N}}$ – параметр, характеризующий предельную скорость.

Интегрируя (15), можно определить длину ускорителя, при которой достигается заданная скорость в условиях устойчивости метаемого тела:

$$S(t) = \frac{m}{2N} \ln \left[\alpha \left(1 + e^{-\frac{4N\alpha}{m}t} \right) \right] + \alpha t. \quad (16)$$

Для приблизительного (оценочного) анализа электродинамических режимов РЭДУМ (например, графоаналитическими методами) и расчета энергетических характеристик в уравнениях (10) - (16) можно сделать следующие приемлемые допущения:

- пренебречь силами трения и полагать, что ускоряемое тело с массой m движется в вакууме, при котором $N = 0$;
- считать, что индуктивность и сопротивление РЭДУМ приближенно линейно зависят от координаты x ускоряемого тела

$$L(x) = L_0 * x(t), R(x) = R_0 * x(t),$$

$$\frac{d}{dx} L(x) = L_0, \quad \frac{d}{dx} R(x) = R_0, \quad (17)$$

где L_0, R_0 – индуктивность и сопротивление РЭДУМ на единицу длины. Импульсный ток возбуждения $i(t)$ с длительностью τ и амплитудой J_m на интервале времени $0 \leq t \leq \tau$ можно аппроксимировать функциональной последовательностью, образованной следующей исходной функцией:

$$i(t) = J_m \left(\frac{t}{\tau} \right)^n, n = 0, 1, 2 \dots \quad (18)$$

Более глубокий анализ разработанных в статье теоретических принципов и полученных результатов для задач обобщенного физико-математического моделирования и расчета оптимальных энергетических и массогабаритных характеристик РЭДУМ разной модификации на базе новейших достижений нанотехнологии в областях наноструктурного материаловедения электротехнического назначения и нанoeлектроники будут приведены авторами в дальнейшем.

¹Ереванский государственный университет
e.mail: hkarayan@ysu.am, a.makaryan@ysu.am

²Московский энергетический институт
e.mail: angastroi@mail.ru

**Член-корреспондент НАН РА Г. С. Караян, С. В. Гандилян,
А. А. Макарян**

**Вопросы обобщенного электрофизического моделирования
и расчета оптимальных энергетических характеристик
электродинамических ускорителей масс**

Предложен новый обобщенный подход электрофизического моделирования релсotronных электродинамических ускорителей масс (ЭДУМ), позволяющего учитывать большое число взаимосвязанных (конструкционных, динамических, энергетических, массо-габаритных и др.) характеристик в задачах оптимального проектирования ЭДУМ разной модификации и различного назначения.

**ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Հ. Ս. Կարայան, Ս. Վ. Դանդիլյան,
Ա. Հ. Մակարյան**

**Զանգվածի էլեկտրադինամիկ արագացուցիչների ընդհանրացված
էլեկտրաֆիզիկական մոդելավորման և օպտիմալ էներգետիկ
բնութագրիչների հաշվարկման որոշ հարցեր**

Դիտարկվում է մասիվ էլեմենտների ռելսային կառուցվածքով էլեկտրադինամիկական արագացուցիչների էլեկտրաֆիզիկական մոդելավորման նոր ընդհանրացված մեթոդ, որը հնարավորություն է տալիս տարբեր ֆունկցիոնալ կառուցվածքով և տարբեր խնդիրներ կատարող արագացուցիչների օպտիմալ նախագծման խնդիրներում հաշվի առնելու մեծ թվով փոխկապակցված (կառուցվածքային, դինամիկ, էներգետիկ և այլն) պարամետրեր:

**Corresponding member of NAS RA G. S. Karayan, S. V. Gandilyan,
A. H. Makaryan**

**Some Issues Concerning the Generalized Electro Physical
Modelling and Calculation of Optimal Energy Characteristics of
Electrodynamic Mass Accelerators**

In this paper, a new generalized approach to the electro physical acceleration of mass motion (EDUM) is proposed, which allows for a large number of interrelated (structural, dynamical, energy, mass-gabaritic, etc.) characteristics to be considered in the problems of optimal design of EDUM with various modifications and different destinations.

Литература

1. Бут Д. А. – Электричество. 1995. Вып. 1. С. 2-11; Вып. 2. С. 2-10.
2. Ким В. П. – Журнал технической физики. 2015. Т. 85. Вып. 3. С. 45-59.
3. Арцимович Л. А., Андронов И. М. (Иосифян А. Г.) – Космические исследования. 1974. Т. 12. Вып. 3. С. 45-58.

4. *Palmer M. R., Lenard R. X.* – IEEETrans. on Magnetics. 1991. V. 27. № 1. P. 38-49.
5. *Faiz H. D.* – IEEETrans.on Magnetics. 1993. V. 29. № 1. P. 71-83.
6. *Witt W., Loffler M.* – Military Technology. 1998. № 5. P. 80-86.
7. *Jerome T.* – IEEETrans. on Magnetics. 2007. V. 43. № 1. P. 207-213.
8. *Носов Г. В.* – Изв. Томского политехн. ун-та. 2007. Т. 310. № 2. С. 70-73.
9. *Жуков Б. Г., Резников Б. И., Розов С. И.* – Журнал технической физики. 2007. Т. 77. Вып. 7. С. 43-49.
10. *Жуков Б. Г., Курякин Р. О., Розов С. И.* – Письма в Журнал технической физики. 2013. Т. 39. № 12. С. 63-70.
11. *Fair H. D.* – IEEETrans.on Magnetics. 2005. V. 41. № 1. P. 158-164.
12. *Воронин А. В., Гусев В. К., Кобясов С. В.* – Журнал технической физики. 2011. Т. 81. Вып. 7. С. 63-68.
13. *Иосифян А. Г.* – Электричество. 1987. № 12. С. 18-27, 1988, № 1. С. 24-31.
14. *Копылов И. П., Гандилян С. В., Гандилян В. В.* – Электротехника. 1998. № 9. С. 25-40.
15. *Галанин М. П., Сорокин Д. Л.* Расчет квазистационарных электромагнитных полей в областях, содержащих несвязные проводящие подобласти. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша. М. 2017. 27 с.
16. *Самарский А. А., Попов Ю. П.* Резонансные методы решения задач газовой динамики. М. УРСС. 2004. 424 с.
17. *Клеммоу Ф. Доуэрти Дж.* Электродинамика частиц и плазмы. Пер. с англ. М. Мир. 1996. 207 с.
18. *Галанин М. Г., Логоцкий А. П., Попов Ю. П.* – Математическое моделирование. 1999. Т. 11. № 8. С. 3-22.
19. *Азизов А. Э., Алексеев Ю. А., Бревнов Н. Н.* – Атомная энергия. 1982. Т. 52. С. 108-112.
20. *Сухачев К. И.* – Вестн. Самарского гос. аэрокосмического ун-та. 2015. Т. 14. №1. С. 177-188.
21. *Галагин М. П., Уразов С. С.* Математическое моделирование эрозии металлических контактов в рельсотронном ускорителе. М. ИПМ им. М. В. Келдыша. 2003. 23 с.
22. *Tumonis L., Kacianauskas R.* – Mechanica. 2007. № 1(63). P. 58-63.

զիական նշանակությամբ առանձնանում են որպես բնապահպանական բարձր արժեք ունեցող անտառներ: Բնապահպանական բարձրարժեք անտառներ (ԲԲԱԱ) խմբում որպես կանոն դասվում են այն անտառները, որոնք անհրաժեշտ են մարդկանց գոյության, ինչպես նաև Երկիր մոլորակի կենսոլորտի պահպանության համար: ԲԲԱԱ-ի առանցքային դերը կապված է դրանց բարձր էկոլոգիական, սոցիալ-տնտեսական, ինչպես նաև կենսաբազմազանության պահպանությունն ապահովող արժեքների հետ [2]:

Մերձալպյան անտառային գոտին ձևավորվել է անտառաձման այնպիսի պայմաններում, որտեղ հատկապես մեծ է քամիների և ջերմության գործոնների դերը: Նման պայմաններում տարածված տեսակների աճի ինտենսիվությունը շատ թույլ է, և ծառերն իրենց գոյությունը պահպանում են հիմնականում վեգետատիվ բազմացմամբ [3]՝ բնութագրվելով ծայրահեղ ցածր՝ ընդամենը V-Va բոնիտետով, հաճախ ձեռք բերելով թփուտային տեսք: Դրանք հիմնականում տարահասակ են և գտնվում են առատ, բարձրաճ խոտածածկի ֆոնի վրա: Հատումներից հետո խոտածածկն արագորեն զբաղեցնում է ծառուտների տեղը՝ ցուցաբերելով ինտենսիվ աճ և խոչընդոտելով ծառատեսակների վերականգնումը: Արդյունքում անտառային վերին սահմանը զգալիորեն, երբեմն մինչև 500մ-ով իջել է: Այսինքն՝ երկրորդային ծագում են ունենում ինչպես անտառային վերին սահմանը, այնպես էլ մերձալպյան բուսականությունը:

Ընդհանուր առմամբ այս անտառային համակեցությունները, գտնվելով առատ խոտածածկի ֆոնի վրա, մշտապես քայքայվել են ինտենսիվ արածեցման ազդեցության տակ, խիստ տուժել են չհամակարգված հատումներից: Անտառի վերին սահմանի իջեցման ֆոնին որոշ տեղերում նկատվում են տարածքներ, որտեղ անտառային համակեցությունները բարձրանում են դեպի վեր: Կլիմայի ներկայիս փոփոխության պայմաններում կանխատեսվում է, որ տեղի է ունենում ոչ միայն առանձին բուսատեսակների հերթափոխում, այլ նաև անտառի վերին սահմանի տեղաշարժ դեպի վեր: Ըստ էության անտառը չի նվաճում նոր տարածքներ, այլ մասնակի վերականգնում է իր նախկին սահմանները [4]:

Այս տարածաշրջանի մերձալպյան գոտին բնորոշվում է ծառատեսակների աճման համար անբարենպաստ դենդրոկլիմայական պայմաններով, որտեղ վերջիններս աչքի են ընկնում ծայրահեղ ցածր դենդրոմետրիկ ցուցանիշներով [5]: Դա է պատճառը, որ հետազոտվող տարածաշրջանի մերձալպյան գոտու դենդրոֆլորան աչքի է ընկնում անհամեմատ աղքատ կազմով՝ 20 ընտանիքին և 32 ցեղին պատկանող 52 տեսակ (հանրապետության ծառաբույսերի տաքսոնոմիական բազմազանության ընդամենը 14%-ը): Դրանցից 20-ը ցածր աճ և կորաբուն ծառատեսակներ են (*Betula litwinowii*, *Acer trautvetteri*, *Sorbus aucuparia*, *Salix caprea*), 31-ը՝ թփեր, որոնցից առավել տարածվածը երրորդական դարաշրջանի ռելիկտ *Rhododendron caucasicum*-ն է: Այս դենդրոցենոզներում հանդիպող որոշ տե-

սակներ ռելիկտներ են և որպես հազվագյուտ տեսակներ ներառված են Հայաստանի բույսերի կարմիր գրքում [4]:

Լանդշաֆտային անտառային ցենոզների պահպանման ու վերականգնման խնդիրը ներկայումս առանձնակի նշանակություն ունի մեր հանրապետության համար: Հայաստանում լեռների բարձրադիր լանջերը, որոնք կազմում են հանրապետության տարածքի ավելի քան 30%-ը, լերկ են, խիստ քարքարոտ, իսկ հողաշերտը մշտապես քայքայվում է շարունակվող էրոզիոն պրոցեսների հետևանքով: Էրոզացման պրոցեսներն առավել տեսանելի են այն վայրերում, որտեղ 1990-ական թվականների էներգետիկ ճգնաժամի տարիներին կատարվել է զանգվածային անտառահատում [6]:

Պետք է նշել, որ մեր կողմից ուսումնասիրված տարածքում անտառի ոչնչացման բացասական հետևանքների մասին գրական որոշակի տվյալներ կան դեռևս XXդ. 30-ական թվականներից [7], իսկ ավելի հարուստ՝ 60-ականներից [8]: Ուսումնասիրելով Փոքր Կովկասի արևելյան մասի անտառի վերին սահմանի վիճակը՝ Ա. Գ. Դոլովսանովը [9] նշում է էրոզիոն պրոցեսների վտանգավորությունը՝ որպես անտառի վերին սահմանի արհեստական իջեցման գործոն:

Դեռևս 1950-ական թվականներին հյուսիսային Հայաստանում Ա. Աբրահամյանը, ուսումնասիրելով անտառի վերին սահմանը, եկել է այն եզրակացության, որ անտառի վերին սահմանի իջեցումը պայմանավորված է ոչ թե բնապատմական գործոններով, այլ առաջին հերթին մարդու տնտեսական գործունեությամբ, որի հետևանքները՝ էրոզացված և սողանքավտանգ տարածքների առաջացումը, տանում են դեպի կլիմայի արիդացման, միկրոկլիմայական պայմանների վատթարացման և բուսականության քսերոֆիլացման [8]: Անտառի վերին սահմանի իջեցումն այդպես է բացատրվում նաև ներկայումս [10,11]:

Պատմական քարտեզների ուսումնասիրության հիման վրա անտառագետները եզրակացնում են, որ վերջին 250 տարվա ընթացքում անտառների զբաղեցրած տարածքները կրճատվել են գրեթե կրկնակի [11, 12]: Անտառի վերին սահմանի իջեցումն իր հետ բերել է բազմաթիվ բնապահպանական խնդիրներ՝ տարածքի դեգրադացիա, էկոհամակարգերի փոփոխություն և դրանով պայմանավորված կենսաբազմազանության կորուստ:

Ի վերջո անտառահատված տարածքները ենթարկվում են ջրային էրոզիայի, որի արդյունքում հողի վերին շերտը լվացվում է, մերկանում: Գոյանում են քարացրոնների տեսքով դեգրադացված տարածքներ, որոնք հետագայում ծածկվում են քարաքոսերով և պետրոֆիլ բուսականության տարբեր խմբավորումներով:

Անտառի վերին գոտու պահպանության ու վերականգնման հիմնական ուղիներն են անտառի բնական վերաճին օժանդակող միջոցառումների իրականացումը և անտառաշակույթների ստեղծումը:

Անտառների վերին սահմանի բնական վերականգնման մասին նշել են դեռևս Կ.Դ. Մամիսաշվիլին [13] Լագոդեխիի արգելավայրի համար, և Լ. Բ. Մախատաձեն ու Հ.Մ. Հախինյանը [14]՝ Մեծ Կովկասի արևելյան մասի ու Հայաստանի համար:

Հյուսիսարևելյան Հայաստանի վերին լեռնային գոտու անտառային համակեցություններում տեղի ունեցող սուկցեսիոն բնույթի փոփոխություններին նվիրված են բազմաթիվ ուսումնասիրություններ [8,10,15], որոնցում միանշանակ նշվում է, որ հաճարկուտները մեծ չափով տուժում են անասունների արածեցումից, արդյունքում այդ տարածքներն արագորեն զբաղեցվում են կաղամախու և բոխու բարձր խտության ծառուտներով: Անտառի վերին գոտու անտառային համակեցությունների հատատեղերում կատարված ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ համատարած հատված տարածքներում հաճարենին ամբողջությամբ փոխարինվում է բոխիով և կաղամախիով, իսկ կաղնին լավագույն դեպքում՝ կոճղաշիվային կաղնիով կամ սերմնային ու կոճղաշիվային բոխիով [6]:

Ուսումնասիրելով Օձունի տարածաշրջանի (Լոռու մարզ) հատված հաճարկուտներում տեղի ունեցող տեսակափոխության պրոցեսները՝ Հ. Ա. Ղուլիջանյանը [16] նշում է, որ 1400-1600 մ բարձրությունների վրա հաճարենու մատղաշը կազմում է 40 %, բոխունը՝ 39%, իսկ ավելի բարձր՝ հաճարենու մատղաշը՝ 25%, կովկասյան բոխունը և մնացած տեսակներինը համապատասխանաբար՝ 40 և 35%:

Մերձալպյան դենդրոցենոզներում տեսակափոխության պրոցեսները ճիշտ գնահատելու համար մեր կողմից կատարվել է ռելիկտային կեչուտներում և թխկուտներում սերմնային վերականգնման ուսումնասիրություն: Դիտարկվել են ռելիկտային դենդրոցենոզներ՝ խառը ծառուտ՝ թխկու գերակշռությամբ, խառը ծառուտ՝ կեչու գերակշռությամբ, մաքուր կեչուտ և տարախոտային կեչուտ: Ուսումնասիրության արդյունքները ներկայացված են ստորև բերվող աղյուսակներում:

Ինչպես երևում է, սերմնային վերականգնման տեմպերը դանդաղ են: Պատճառները տարբեր են՝ ուշգարնանային ցրտահարություններ, մարդածին ճնշում, դաժան կլիմայական և էկոլոգիական պայմաններ:

Աղյուսակ 1-ից երևում է, որ թխկու սերմնային վերաճը գերակշռում է հաճարենու սերմնային վերաճին մոտ 2.3 անգամ: Դրա պատճառն այն է, որ հաճարենու սերմերը կենդանիների կողմից ավելի շատ են ուտվում: Կաղնու սերմերը ևս ուտվում են կենդանիների կողմից, իսկ 1-2 տարեկան ծիլերը հետագա աճ չեն տալիս, մահանում են՝ չդիմանալով վերինլեռնային գոտու դաժան պայմաններին: Թխկին շաքունակում է պահպանել ծառուտում դոմինանտող իր դերը: Ընդհանուր առմամբ սերմնային վերականգնումը դանդաղ, բայց ընթանում է:

Աղյուսակ 1

Մերմնային վերականգնումը թիկնու գերակշռությամբ խառը ծառուտում
(Գուգարքի անտառտնտեսություն) (փորձահրապարակ 3) (2015 թ.)

Տեսակ /ցեղ	Մատղաշի տարիքը և քանակը 1 հա-ի հաշվով				Ընդամենը
	1տ.	2տ.	3տ.	5 և ավելի տ.	
Acer trautvetteri Թխկի բարձրլեռնային	25	28	32	35	120
Fagus orientalis Հաճարենի արևելյան	12	10	14	16	52
Quercus macranthera Կաղնի խոշորատեղ	15	18	-	-	33
Այլ տեսակներ	8	10	-	-	18
Ընդամենը	60	66	46	51	223

Աղյուսակ 2

Մերմնային վերականգնումը խառը ծառուտում կեչու
գերակշռությամբ (Մարգահովիտի անտառտնտեսություն, 2100 մ)
(փորձահրապարակ 4) (2015 թ.)

Ցեղ	Տարիքը և քանակը				Ընդամենը
	1տ.	2տ.	3տ.	5տ. և ավելի	
Betula litwinowii Կեչի Լիսովինովի	13	20	35	22	90
Acer trautvetteri Թխկի բարձրլեռնային	8	10	12	-	30
Fagus orientalis Հաճարենի արևելյան	-	-	-	-	-
Sorbus aucuparia Արոսենի սովորական	35	40	44	48	167

Salix caprea Այծուռենի	5	8	12	10	35
Ընդամենը	61	78	103	80	322

Աղյուսակ 2-ից երևում է, որ ծառուտում սերմնային վերականգնման արդյունքում պատկերն այսպիսին է՝ 3 կեչի, 1 թխկի, 5 արոսենի + 1 այծուռենի: Հաճաքենին դուրս է մղվել ծառուտի կազմից դարձյալ նույն պատճառով, ինչը նկատվեց նախորդ փորձափայտաբանականներում: Արոսենու սերմնային վերածը գրեթե 4,7 անգամ գերակշռում է այծուռենու և 1.85 անգամ կեչու անհատների սերմնային վերածի համեմատությամբ: Արոսենու աճման համար բնակլիմայական պայմանները եղել են բարենպաստ: Այս դեպքում ևս սերմնային վերականգնումը ընթանում է նկատելի, բայց դանդաղ:

Աղյուսակ 3

Սերմնային վերականգնումը մաքուր կեչուտում (Մարգահովիտի անտառտնտեսություն, 2300 մ) (2016 թ.)

Ցեղ	Տարիքը և քանակը						Ընդամենը
	1տ.	2տ.	3տ.	4տ.	5տ.	8տ. և ավելի	
Betula litwinowii Կեչի Լիտվինովի	15	10	25	50	68	80	248
Salix caprea Այծուռենի	4	6	10	8	4	-	32
Ընդամենը	19	16	35	58	72	80	280

Աղյուսակ 3-ից երևում է, որ կեչին տալիս է սերմնային վերած: Այծուռենու անհատների թվաքանակը թեպետ ավելանում է, սակայն ընդհանուր հաշվարկով բացակայում են այլ ծառատեսակների սերմնային անհատներ, և կեչին մնում է գերիշխող:

Աղյուսակ 4

Տարախոտային կեչուտ, Մարգահովիտի անտառտնտեսություն, 2450 մ, 2017 թ.

Տեսակ	1-3 տ.	4-5 տ.	6-10 տ.	10 տ.-ից բարձր	Ընդամենը
Betula litwinowii Կեչի Լիտվինովի	10	12	20	15	57

Sorbus aucuparia Արոսենի սովորական	20	25	18	30	93
Acer trautvetteri Թխկի բարձրլեռնային	16	20	18	8	62
Ընդամենը	46	57	56	53	212

Աղյուսակ 4-ի վերլուծությունը թույլ է տալիս եզրակացնել, որ տարախոտային կեչուտում իր աճով առանձնանում է կեչին՝ ճնշելով արոսենուն և բարձրլեռնային թխկուն: Ծառուտի կազմը այսպիսին է՝ 8 կեչի, 1 արոսենի + 1 բարձրլեռնային թխկի: Կարելի է ենթադրել, որ ծառուտը կարող է փոխվել մաքուր կեչուտի:

Փորձահրապարակներից (խառը ծառուտ՝ թխկու գերակշռությամբ, խառը ծառուտ՝ կեչու գերակշռությամբ և մաքուր կեչուտ ու տարախոտային կեչուտ) ստացված տվյալների հիման վրա կարելի է եզրակացնել, որ ծովի մակարդակից 2000-2300 մ բարձրության վրա՝ անտառի վերին սահմանի մոտ, խոնավությունը լինում է բարձր, և բարենպաստ պայմաններ են ստեղծվում հատկապես մեզոֆիլ տեսակների սերմերի ծլման համար:

Փորձահրապարակների ուսումնասիրությունից գալիս ենք այն եզրակացության, որ անտառի վերին գոտում տեղի է ունենում ծառատեսակների սերմնային վերած: Վերջինս մեր կարծիքով կարող է բավարարել հասուն ծառուտի հերթափոխումը:

Ընդհանուր առմամբ հյուսիսային Հայաստանի Մարգահովիտի մերձալպյան գոտու դենդրոցենոզների վերաբերյալ մեր ուսումնասիրության արդյունքները ցույց են տալիս, որ վերջին հարյուրամյակի ընթացքում գրեթե անփոփոխ գերակշռող են ռելիկտային ծագման կեչու ծառուտները՝ սովորական արոսենու (*Sorbus aucuparia*) և բարձրլեռնային թխկու (*Acer trautvetteri*) մասնակցությամբ: Բոլոր դեպքերում կեչու սերմնային վերածը գերակշռում է ծառուտների կազմում առկա մյուս ծառատեսակների համեմատությամբ: Ծառուտների կազմում նշված տեսակների որոշակի հարաբերակցությունը պահպանվում է տարածաշրջանի մերձալպյան գոտու գրեթե բոլոր անտառաձման շրջաններում: Էական փոփոխություն տեղի չի ունեցել նաև մերձալպյան դենդրոցենոզները ներկայացնող կովկասյան մրտավարդի և մի շարք այլ տեսակների տարածման դինամիկայում: Այնուամենայնիվ, նշված ծառատեսակների բնական վերականգնումը մերձալպյան գոտու դենդրոցենոզների պահպանության և վերարտադրության համար բավարար արդյունք չի ապահովում:

Բոլոր դեպքերում անտառի վերին գոտում բնական վերականգնումն ըստ էության բավարար չէ: Հիմնական պատճառներից մեկը մարդու ան-

հեռատես գործունեությունն է, սակայն ներկայիս կլիմայի փոփոխության պայմաններում առկա է բացառիկ հնարավորություն՝ բարձրադիր գոտում անտառ վերականգնելու համար: Ուստի՝ անտառաձման այս պայմաններում անտառվերականգնումը նպատակահարմար է իրականացնել բնականորեն տարածված տեսակներով (կաղնի խոշորատեղ *Quercus macranthera*, թխկի բարձրլեռնային *Acer trautvetteri*, *Սյծուռենի* *Salix caprea*), կեչի *Լիտվինովի* (*Betula litwinowii*) և արոսենի սովորական (*Sorbus aucuparia*)՝ աջակցելով նշված տեսակների բնական, հատկապես սերմնային վերականգնմանը: Նկատի ունենալով, որ մոնոդոմինանտ տնկարկները կայուն և երկարակյաց չեն, նախապատվությունը պետք է տալ խառը տնկարկներին: Այս դեպքում նպատակահարմար է և արդյունավետ կաղնի-կեչի, կաղնի-թխկի, կաղնի-արոսենի տեսակային համակցությունների առաջացման ու զարգացման ապահովումը:

Անտառային վերին գոտու ծառահատված և չվերականգնված հատվածներում, որտեղ առկա են էրոզիոն պրոցեսները, տնկման սխեմաներում նպատակահարմար է օգտագործել նաև որոշ ցրտադիմացկուն թփատեսակներ (բիբերշտեյնի և արևելյան հաղարջենի, գերիմաստի, կովկասյան ցախակեռաս և այլն): Տեսակների խառնումը կարելի է կատարել շարքերով, խմբերով, շախմատաձև և ժապավեններով: Փոքր (մինչև 15°) թեքությունների վրա կարելի է տնկել փոսերով, իսկ բարձր թեքության քարքարոտ վայրերում՝ խրամատներով, որը կնպաստի բույսերի համեմատաբար բարձր կայծղականությանը և պահպանվածությանը:

Անտառի վերին գոտում դենդրոցենոզների պահպանման և վերականգնման գործում չափազանց կարևոր է տնկարանային տնտեսության զարգացումը:

Տնկարանային ցանցի ընդլայնումը և բարելավումը կնպաստեն նաև մեր տարածաշրջանի համար արժեքավոր ծառաթփատեսակների սերմնային բանկի ստեղծմանը և դրանց գենետիկական ֆոնդի պահպանմանը: «Հայաստանի» Գուգարքի մասնաճյուղում կան տնկարաններ (դեռևս 1950-1960 թթ.), որոնք անտառային մշակույթների ստեղծմանը զուգահեռ զբաղվում են նաև տնկանյութի աճեցման խնդիրներով: Գուգարքի տարածաշրջանում ներկայումս գոյություն ունեն մի քանի տնկարաններ «Խանդակ», «Տարոն», «Ազնուտ», «Թեժ լեռ» և այլն: 1990-ականներին այդ տնկարանների գործունեությունը գրեթե ընդհատվել էր, իսկ այնուհետև 1997-1998 թթ. վերականգնվել է: 1997 թ. Մարգահովիտի անտառպետության տարածքում հիմնադրվել են «Կիրուշնա տեղեր» և 2001 թ. «Տյուպի բուգոր» տնկարանները: Այսօր էլ շարունակվում են տնկարանների գործունեության բարելավմանն ուղղված միջոցառումները [6]:

Անտառի վերին գոտու պահպանման համար անհրաժեշտ է գիտակա-նորեն հիմնավորված անտառտնկման սխեմաների մշակումը: Անհրաժեշտ է նաև ժամանակին իրականացնել մատղաշի խնամքի աշխատանքները:

Անտառի վերին գոտու պահպանության համար կարևոր է հատուկ պահպանվող նոր տարածքների առանձնացումը: Ըստ Հ. Կ. Մադաթյանի [17]՝ հյուսիսային Հայաստանում մրտավարդը գրեթե չի հասնում անտառի վերին սահմանին, դրանք մեկուսացված են անտառի վերին գոտուց մարգագետնային ասոցիացիայով: Սակայն մեր ուսումնասիրություններով ներկայումս Մարգահովիտ և Ֆիոլետովո գյուղերի մերձակայքում մրտավարդի մացառները ոչ միայն հասնում են անտառի վերին սահմանին, այլև առանձին տեղերում թափանցում են անտառային գոտի՝ առաջացնելով թփային սինուզիաներ տարբեր ծառատներում:

Կատարված ուսումնասիրություններից կարելի է եզրակացնել.

- Մոնոդոմինանտ տնկարկները կայուն և երկարակյաց չեն, նախապատվությունը պետք է տալ խառը տնկարկներին: Այս դեպքում նպատակահարմար է և արդյունավետ կաղնի-կեչի, կաղնի-թխկի, կաղնի-արոսենի, սոճի տեսակային համակցությունների առաջացման ու զարգացման ապահովումը:
- Անտառի վերին գոտում բնական վերականգնումն ըստ էության բավարար չէ: Կլիմայի ներկայիս փոփոխության պայմաններում առկա է բացառիկ հնարավորություն՝ վերին գոտում անտառը վերականգնելու համար: Ուստի՝ անտառաճման այս պայմաններում անտառվերականգնումը նպատակահարմար է իրականացնել բնականորեն տարածված տեսակներով (կաղնի խոշորատեղ *Quercus macranthera*, թխկի բարձրլեռնային *Acer trautvetteri*, *Salix caprea*), կեչի Լիտվինովի (*Betula litwinowii*), արոսենի սովորական (*Sorbus aucuparia*)՝ աջակցելով նշված տեսակների բնական, հատկապես սերմնային վերականգնմանը:
- Անտառամերձ տարածքներն առանձնացնել որպես խոտհարքներ և անասունների արածեցումն արգելել ամբողջ վերին սահմանի վրա՝ ուղղահայաց գոտիականությամբ մոտ 200-300մ երկարությամբ, չվնասելով անտառածածկ տարածքները:

¹ ՀՀ ԳԱԱ բուսաբանության ինստիտուտ, botinst@sci.am

² Վանաձորի պետական համալսարան

hasmik-mkhitaryan88@mail.ru, zaruhy.vartanyan@mail.ru

**ՀՀ ԳԱԱ թղթակից անդամ Ժ. Հ. Վարդանյան, Հ. Կ. Մխիթարյան,
Ջ. Ս. Վարդանյան**

**ՀՀ Լոռու մարզի Գուգարքի տարածաշրջանի մերձալպյան գոտու
ռելիկտային դենդրոցենոզների պահպանության
և վերարտադրության խնդիրները**

Կլիմայի ներկայիս փոփոխության պայմաններում կանխատեսվում է, որ տեղի է ունենում ոչ միայն առանձին բուսատեսակների հերթափոխում, այլ նաև անտառի վերին սահմանի տեղաշարժ դեպի վեր: Ըստ էության անտառը չի նվաճում նոր տարածքներ, այլ մաս-

նակի վերականգնում է իր նախկին սահմանները: Անտառի վերին գոտու պահպանության ու վերականգնման հիմնական ուղիներն են անտառի բնական վերաճին օժանդակող միջոցառումների իրականացումը և անտառաշակույթների ստեղծումը: Օառատեսակների սերմնային վերաճը կարող է բավարարել հասուն ծառուտի հերթափոխումը:

**Член-корреспондент НАН РА Ж. Г. Варданян,
А. К. Мхитарян, З. С. Варданян**

**Задача охраны и воспроизводства реликтовых дендроценозов
субальпийского пояса Лорийского марза Гугаркского региона РА**

В связи с изменением климата в субальпийских дендроценозах Лорийского марза очевидны не только смена отдельных видов растений, но и общее повышение верхней границы леса. В сущности лес не захватывает новые территории, а частично восстанавливает свои прежние границы. Основными путями сохранения и восстановления верхнего пояса леса являются вспомогательные мероприятия для осуществления естественного возобновления леса и создание лесокультур. Семенное возобновление дендровидов может обеспечить смену зрелых дендроценозов.

**Corresponding member of NAS RA G. H. Vardanyan,
H. K. Mkhitaryan, Z. S. Vardanyan**

**Problems of Preservation and Reproduction of Thenear Alpine Relict
Dendrocenoses in the Gugark Region of Lori Province of RA**

The near alpinerelict dendrocenoses are essential for their ecological significance as high conversation value forests. The key role of the HCVF is related to their high ecological, socio-economic and biodiversity conservation values. Under the current climate change, not only the shift of individual species but also the upward movement of the forest can be foreseen. In fact, the forest does not extend over new territories but partially rebuilds its former borders. The main ways to preserve and restore the upper zone of the forest are the measures of implementation to support the natural reproduction of the forest and the creation of forest cultures. Seeding of trees can improve the shift of mature trees.

Գրականություն

1. ՀՀ կենսաբանական բազմազանությունը, 5-րդ ազգային զեկույց, Եր., 2014, 125 էջ:
2. Վարդանյան Ճ. Հ., Դանիելյան Տ. Ս., Ֆայվուշ Գ. Ս., Քալաշյան Ս. Յ., Ղուլիջանյան Ա. Հ., Գևորգյան Ա. Է., Գալստյան Ս. Ռ. Հայաստանում բարձր բնապահպանական արժեք ունեցող անտառների ընտրության և առանձնացման գործնական ուղեցույց, Եր., Էդիթ Պրինտ, 2016, 124 էջ + 8 էջ քարտեզ:
3. Махатадзе Л. Б., Урушадзе Т. Ф. Субальпийские леса Кавказа. (Тбил. ин-т леса). М. Лесная промышленность. 1972. 112 с.
4. Варданян Ж. А., Мхитарян А. К – Биол. журн. Армении. 2018, Т. 70. №1. С. 45-51.

5. *Варданян Ж. А.* – Доклады НАН Армении. 2015. Т. 115. № 1. С. 69-77.
6. *Վարդանյան Ջ. Ս.* Հյուսիսային Հայաստանի հիմնական բուսական էկոհամակարգերի կենսա-էկոլոգիական գնահատականը, դոկտ. Ատենա-խոս. սեղմ, Եր., 2009, 50 էջ:
7. *Троицкий Н. А.* – Тр. Ер. гос. ун-та. 1939.
8. *Абрамян А. А.* Леса верхнего пояса Северной Армении и пути их восстановления. Автореф. канд. дис. Ереван. 1958. 20 с.
9. *Долуханов А. Г.* Верхние пределы леса в горах восточной части Малого Кавказа. Тр. Геобот., обслед. пастбищ АзССР. Баку. 1932. 104 с.
10. *Վարդանյան Ժ. Հ., Մազակյան Վ. Գ.* – Հայաստանի կենսաբանական հանդես, 2009, հ.61, № 3, էջ 16-22:
11. *Амирян Г. Б.* В сб.: Материалы 19-го междунар. симпозиума, Алушта. Симферополь. 2010. С. 242-249.
12. *Казарян В. О., Арутюнян Л. В., Хуришудян П. А., Григорян А. А., Барсегян А. М.* Научные основы облесения и озеленения Армянской ССР. Ереван. 1974. 350 с.
13. *Мамисашвили К. Д.* Типы лесов Лагодехского государственного заповедника. Автореф. канд. дис. 1953. 21 с.
14. *Махатадзе Л. Б., Ахинян Г. М.* –Тр. Тбилисского. ин-та леса. 1974. Т. 23. С. 144-235.
15. *Մազակյան Վ. Գ.* Անտառվերականգնման արդյունավետ ուղիների մշակումը Լոռու մարզի Գուգարքի տարածաշրջանի անտառի վերին գոտում, թեկն. ատենախոս. սեղմ, Եր., 2010, 20 էջ:
16. *Ղուլիջանյան Հ. Ս.* –Հայաստանի կենսաբանական հանդես, 2011, հ. 63, № 2, էջ 48-51:
17. *Магакьян А. К.* – Тр. Тбилисского бот. ин-та АН ГрузССР. 1953. Т. 15. С. 309-329

растений. Однако нужно признать, что искусственные ценозы не могут всецело воспроизвести условия естественных растительных сообществ.

Первое издание «Красной книги Армянской ССР» было осуществлено в 1988 г. [1]. В нее вошли 387 видов сосудистых растений. Каждое из внесенных в список растений было отнесено к одной из категорий, принятых комиссией по редким и исчезающим видам Международного союза охраны природы и ее ресурсов (МСОП). Уже во втором издании в 2010 г. в книгу вошло 675 видов растений, вызывающих тревогу за их дальнейшее существование [2]. Их распределение по категориям Красного списка, подготовленного комиссией по выживанию видов, одобрено в 2000 г. на 51-м заседании совета МСОП. В армянском издании использованы следующие категории:

- 1) находящиеся на грани полного исчезновения (CR - 141 вид);
- 2) исчезающие (EN - 248);
- 3) уязвимые (VU - 63);
- 4) находящиеся в состоянии близком к угрожаемому (NT - 21);
- 5) вызывающие наименьшие опасения (LC - 106);
- 6) недостаток данных (DD - 96).

Впервые вопрос патогенной грибной биоты, поражающей редкие и исчезающие виды растений, был рассмотрен в 1981 году в статье Д.Н. Тетеревниковой-Бабаян [3], в основу которой положены предварительные списки ряда авторов [4-6], впоследствии вошедшие в первое издание «Красной книги Армянской ССР». Д.Н. Тетеревниковой-Бабаян были суммированы данные по грибным болезням этих растений из семейств Rosaceae, Fabaceae, Asteraceae, Apiaceae, Lamiaceae. При этом автор исходил из принципа, что «облигатные паразиты обычно имеют специализацию по родам питающих растений, т.е. поражают многие виды данного рода растения-хозяина. Поэтому потенциально огромную опасность представляют грибные паразиты, не только встречающиеся на самом редком виде, но и на всех видах того же рода». Исходя из этого в статье в виде таблиц приводятся количественные данные по грибам из разных порядков, встречающихся на родах растений из исследованных семейств, к которым относятся редкие и исчезающие виды. В тексте статьи приводятся лишь единичные примеры поражения определенного краснокнижного вида конкретным видом возбудителя болезни.

Целью нашей работы было выяснение состава болезнетворных микроскопических грибов – микромицетов на видовом уровне, поражающих конкретные виды растений, вошедшие в последнее (второе) издание «Красной книги растений РА» (2010) по категориям Красного списка МСОП. В качестве данных нами использованы многочисленные литературные источники по видовой биоте микромицетов РА с начала XX в., приводимые в недавно составленной и изданной нами «Библиографии научных работ по микологии в Республике Армения (1889-2014)» [7], материалы, имеющиеся в гербариях ЕГУ и Ботанического института им. А. Л. Тахтаджяна НАН РА, многолетние наблюдения и сборы авторов настоящей статьи.

Поражаемость микромицетами краснокнижных растений по категориям опасности представлена в табл. 1.

Таблица 1

Встречаемость микромицетов, поражающих входящие в «Красную книгу РА» виды растений-хозяев по категориям опасности

Виды растений-хозяев	Виды грибов Категория опасности	Местонахождение
Категория CR		
<i>Aegilops crassa</i> Boiss.	<i>Puccinia striiformis</i> Westend.	Ереван, ботсад
<i>Allium akaka</i> S.G.Dmrl. ex Sxhult.	<i>Cladosporium fasciculare</i> Fr. <i>Urocystis magica</i> Pass. (<i>Urocystis cepulae</i> Frost) <i>Stemphylium allii</i> Oudem.	Ереван, ботсад Ереван, ботсад Арташат Ереван, ботсад
<i>Amblyopyrum muricum</i> (Boiss.) Eig.	<i>Tilletia caries</i> (DC.) Tul. et C. Tul.	Джрвеж
<i>Astragalus schelkovnikovii</i> Grossh.	<i>Microsphaera astragali</i> (DC.) Trevis.	Октемберян, Арарат
<i>Calligonum polygonoides</i> L.	<i>Leveillula verbasci</i> (Jacq.) Golovin	Арарат. р-он, Горавап
<i>Falcaria falcarioides</i> (Bornm. et H.Wolff	<i>Ramularia falcariae</i> Savinceva	Раздан. р-он, Агверан, Басаргеч. р-он, Камо
<i>Potentilla erecta</i> (L.) Hampe	<i>Frommeella tormentillae</i> (Fuckel) Cummins et Y. Hirats. (<i>Frommea obtusa</i> (F. Strauss) Arthur) <i>Ramularia arvensis</i> Sacc.	Кировакан, ботсад Ереван, ботсад
<i>Rosularia persica</i> (Boiss.) Berger	<i>Mycosphaerella sedi</i> Naumov	Севан
<i>Sagittaria trifolia</i> L.	<i>Ramularia alismatis</i> Fautrey	Степанаван
Категория EN		
<i>Amberboa moschata</i> (L.) DC	<i>Septoria centaureicola</i> Brunaud	Ереван, ботсад Арарат
<i>Amygdalus nairica</i> Fed. et Takht.	<i>Clasterosporium carpophilum</i> (Lév.) Aderh. <i>Fusicladium amygdali</i> Ducomet	*
<i>Anemone ranunculoides</i> L.	<i>Plasmopara anemones-ranunculoidis</i> (Săvul. et O. Săvul.) Constant., Voglmayr, Fatehi et Thines	Разданский район, Мармарик Иджеван
<i>Astragalus karakuschensis</i> Gontsch.	<i>Uromyces pisi-sativi</i> (Pers.) Liro (<i>Uromyces panctatus</i>)	Ереван, ботсад Даралегез
<i>Astragalus karjagini</i> Boriss.	<i>Microsphaera astragali</i> (DC.) Trevis.	Гарни, Ереван

<i>Centaurea phaeopappoides</i> Bordz.	<i>Septoria centaureicola</i> Brunaud	Севан, ботсад Кировакан, ботсад Ереван, ботсад
<i>Clematis vitalba</i> L.	<i>Phoma vitalbae</i> Pass.	Ереван, ботсад Ноемберян Иджеван
<i>Dianthus libanotis</i> Labill.	<i>Uromyces dianthi</i> (Pers.) Niessl	Ереван, ботсад Джермук Степанаван, Гарни
<i>Gundelia tournefortii</i> L.	<i>Cladosporium herbarum</i> (Pers.) Link <i>Leveillula taurica</i> (Lév.) G. Arnaud	Арагатская котловина Абовянский р-он, Гарни
<i>Gypsophila aretioides</i> Boiss.	<i>Phoma exserta</i> Thüm.	Веди, Арагат Зангезур
<i>Hohenackeria excapa</i> (Stev.) Kos.-Pol.	<i>Puccinia cynodontis</i> Lacroix ex Desm.	Ереван, Арагат Веди
<i>Inula aucheriana</i> DC.	<i>Ramularia inulae</i> (Sacc.) Höhn	Арагатская котловина
<i>Iris elegantissima</i> Sosn.	<i>Heterosporium gracile</i> (Wallr.) Sacc. <i>Puccinia iridis</i> Wallr.	Ереван, ботсад Анкаван Ереван, Севан
<i>Iris musulmanica</i> Fomin	<i>Heterosporium gracile</i> (Wallr.) Sacc.	Ереван, ботсад Арагат
<i>Juncus acutus</i> L.	<i>Stagonospora innumerosa</i> (Desm.) Sacc.	Арагат
<i>Juniperus sabina</i> L.	<i>Ulocladium consortiale</i> (Thüm.) E.G. Simmons	Ереван, ботсад Севан, Мегри
<i>Lathyrus sylvestris</i> L.	<i>Ramularia deusta</i> (Fuckel) Karak. <i>Phyllosticta lathyrina</i> Sacc. et G. Winter	Мегр. р-он, Джиндара Цахкадзор Зангезур
<i>Leonticera armenica</i> Belanger	<i>Aecidium leontices</i> Tranzschel	Арташатский р-он
<i>Malvella scherardiana</i> (L.) Jaum. et Spach.	<i>Puccinia sherardiana</i> Körn.	Ереван
<i>Nitraria schoberi</i> L.	<i>Leveillula duriaei</i> (Lév.) U. Braun <i>Puccinia aeluropodis</i> H. Richt.	Аргаванд, Арзни Октембер. р-он, Ерасхаун
<i>Onobrychis hajastana</i> Grossh.	<i>Peyronellaea pinodes</i> (Berk. et A. Bloxam) Aveskamp et Gruyter (<i>Ascochyta pinodes</i> L.K. Jones) <i>Didymella pisi</i> Chilvers, J.D. Rogers et Peever (<i>Ascochyta pisi</i> Lib.) <i>Cylindrosporium onobruchidis</i> (P. Syd.) Died. <i>Erysiphe communis</i> f. <i>onobrychidis</i> Jacz. <i>Ramularia onobrychidis</i> Allesch.	Ленинакан Мартуни Ереван, Гегард Джрвеж Кировакан Кировакан Кировакан
<i>Pyrus</i> spp. (11 видов)	<i>Fusicladium pyrorum</i> (Lib.) Fuckel	Кафан, Мегри Хосров

	Gymnosporangium sabinae (Dicks.) G. Winter Monilia cinerea (Monilinia laxa (Aderh. et Ruhland) Honey) Monilia fructigena Honey Septoria pyricola Desm. (Mycosphaerella pyri (Auersw.) Boerema) Phyllactinia guttata (Wallr.) Lév. Podosphaera leucotricha (Ellis et Everh.) E.S. Salmon	Джермук Повсеместно Повсеместно Северо-восточные районы Аштарак
Ribes armenum Pojark.	Septoria ribis (Lib.) Desm.	Кировакан Степанаван
Salsola soda L.	Camarosporium salsolae Urries Phoma salsa Sacc.	Веди, Ерах Сардарпат
Scilla rosenii K.Koch	Aecidium scillae Fuckel	Р-он Камо, Сисиан
Sorbus caucasica Zinserl.	Cytospora microspora Rabenh. Favolus pseudobetulinus (Murashk. ex Pilát) Sotome (Piptoporus pseudobetulinus) Gymnosporangium juniperi Link Trametes versicolor (L.) Lloyd (Coriolus versicolor (L.) Quél.)	Степанаван Лермонтово Агверан, Джермук Лермонтово
Tomanthea daralaghezica (Fomin) Takht.	Puccinia tomantheae D.N. Babajan	Арагатская котловина Сисианский р-он
Thesium procumbens C.A. Mey.	Erysiphe thesii L. Junell	Вайк, Севан Арагатская котл.
Vavilovia formosa (Stev.) Fed.	Septoria pisi Westend.	Котайкский р-он Зангезур
	Категория VU	
Adiantum capillus-veneris L.	Verticillium albo-atrum Reinke et Berthold	*
Gentiana olivieri Griseb.	Septoria microspora Speg.	Ведийский р-он
Iris sibirica L.	Heterosporium gracile (Wallr.) Sacc. Puccinia iridis Wallr.	Ереван, ботсад Ереван, ботсад
Rhizocephalus orientalis Boiss.	Puccinia poae-sudeticae	Ереван, ботсад
Sorbus hajastana Gabrielian	Fusicladium orbiculatum (Desm.) Thüm.	Севан, ботсад
Staphylea pinnata L.	Alternaria sp.	Ереван, ботсад
Taxus baccata L.	Exosporium erumpens Sacc.	Дилижан, заповедник
Triticum araraticum Jacubz.	Puccinia striiformis Westend.	Ереван, ботсад
	Категория NT	
Iris demetrii Achv. et	Heterosporium gracile (Wallr.)	Ереван, ботсад

Mirzoeva	Sacc.	
Quercus araxina (Trautv.) Arossh.	Microsphaera alphitoides Griffon et Maubl.	Кафанский р-он Мегри
Sambucus tigranii Troitzk.	Coniothyrium fasciculatum Sacc.	Иджеван
	Категория DD	
Acer laetum C.A. Mey.	Microdiplodia subsecta Allesch.	Горис
Philadelphus caucasicus Koehne	Ascochita philadelphi Sacc. et Speg. Phyllosticta coronaria Pass. Phyllosticta vulgaris Desm. et Roberge	Степанаван Ноемберян Ноемберян
	Категория LC	
Acer trautvetteri Medw.	Cytospora leucosperma (Pers.) Fr. Septoria pseudoplatani Roberge ex Desm. Sawadaea bicornis (Wallr.) Homma (Uncinula aceris (DC.) Sacc.)	Ер. ботсад Кир. ботсад Кировакан Шамшадин Степанаван Иджеван
Aquilegia olympica Boiss.	Ascochyta aquilegiae (Roum. et Pat.) Sacc. Septoria aquilegiae (Penz.) Sacc. (S. penzigii Cocc. et Morini)	Анкаван Дилижан
Alisma lanceolatum With.	Ramularia alismatis Fautrey	Разд. р-он, Мармарик
Astragalus gjuanaicus Grossh.	Uromyces pisi-sativi (Pers.) Liro (Uromyces punctatus J. Schröt.)	Ереван, ботсад
Eremostachys macrophylla Montbr. et Auch.ex Benth.	Ramularia eremostachydis Zaprom.	Ереван, ботсад
Ficus carica L.	Asteromella caricae (C. Massal.) Aa (Phyllosticta caricae C. Massal.) Coniothyrium syconophilum Schulzer et Sacc. Leptosphaeria vagabunda Sacc. Macrosporium torulosum Bonord. Phomopsis cinerescens (Sacc.) Traverso Phyllosticta sycophila Thüm.	Шамшад. р-он, с. Товуз Мегри Мегри Совхоз Зейтун Мегри Алавердский р-он
Gladiolus atrovioleaceus Boiss.	Septoria gladioli Pass.	Ереван, ботсад

Glycyrrhiza glabra L.	Leveillula taurica (Lév.) G. Arnaud Phyllosticta glycyrrhizae Brunaud Pseudocercospora cavarae (Sacc. et D. Sacc.) Deighton (Cercospora cavarae Sacc.) Ramularia babajaniae (Osipian) U. Braun (Ovularia babajani Osipian) Septoria glycyrrhizae Ellis et Kellerm. Uromyces glycyrrhizae (Rabenh.) Magnus	Ереван, Октембер. Мегри Мегри Кировакан Дилижан Анкаван Цахкадзор Дилижан Кировакан Ереван, Арташат, Мегри, Эчмиадзин Октемберян
Helichrisum pallasii (Spreng.) Ledeb.	Oidium sp.	Ереван, ботсад
Iris paradoxa Stev.	Heterosporium gracile (Wallr) Sacc. Puccinia iridis Wallr.	Ереван, ботсад Ереван, ботсад
Iris pumila L.	Puccinia iridis Wallr.	Ереван, ботсад
Iris reticulata M. Bieb.	Puccinia iridis Wallr.	Ереван, ботсад
Juglans regia L.	Cytospora albiceps Ellis et Kellerm. Cytospora juglandina Sacc. Cytospora leucosperma (Pers.) Fr. Dothiorella dryophila Sacc. et Briard Ophiognomonina leptostyla (Fr.) Sogonov (Gnomonia leptostyla (Fr.) Ces. et De Not.) Phoma juglandis Sacc.	Ереван Ереван Ереван, ботсад с. Нораван Кировакан, ботсад * Ереван
Juniperus foetidissima Willd.	Camarosporidiella laburni (Pers.) Wanas. (Cucurbitaria laburni (Pers.) De Not.)	Мегри
Limonium mayeri (Boiss.) O.Kuntze	Peronospora limonii Simonyan Uromyces limonii (DC.) Lév.	Эчмиадзин Ереван, ботсад
Lycium depressum Stosks	Erysiphe mougeotii (Lév.) de Bary (Arthrocladiella mougeotii (Lév.) Vassilkov) Erysiphe prunastri DC. (Uncinuliella prunastri (DC.) V.P. Heluta)	Ереван, ботсад Ереван, ботсад
Marrubium purpureum Bunge	Neoerysiphe galeopsidis (DC.) U. Braun (Golovinomyces galeopsidis (DC.) V.P. Heluta)	Мегри, с. Шванидзор
Merendera trigyna (Adam) Woronow	Urocystis colchici (Schltdl.) Rabenh.	Иджев. р-он, с. Гандзакар
Papaver orientale L.	Leptospora rubella (Pers.) Rabenh. (Ophiobolus porphyrogonus (Tode) Sacc.) Peronospora arborescens (Berk.) de	Раздан Ереван, ботсад

	Bary Septoria rhoeadis Tassi	Ереван, Кировакан
Pistacia mutica Fisch. et C.A.Mey	Acremonium curvulum W. Gams Cephalotrichum stemonitis (Pers.) Nees Phoma macrostoma Mont. Phyllosticta terebinthi Pass.	* Вединский р-он * Мегри, Ноемберян
Platanthera chlorantha (Cust.) Reichenb.	Septoria orchidearum Westend.	Гугарк, ст. Шагали
Polemonium caeruleum L.	Septoria polemonii Thüm.	Гукасянский р-он
Punica granatum L.	Botrytis cinerea Pers. Cytospora punicae Sacc. Phoma punicae Tassi Zythia versoniana (Sacc.) Sacc.	Ноембер. р-он Горис, Мегри Северо-Вост. Армения Ноемберян Иджеван
Tulipa julia C.Koch	Puccinia prostii Duby	Разданский р-он
Triticum boeoticum Boiss.	Puccinia striiformis Westend.	Ереван, ботсад
Vitis sylvestris C.C. Gmel.	Erysiphe necator Schwein. (Uncinula necator (Schwein.) Burrill) Plasmopara viticola (Berk. et M.A. Curtis) Berl. et De Toni	Мегри, Кафан Мегри, Кафан

* В просмотренной литературе конкретное местообитание не указано.

Анализ табл. 1 показал следующее. На 9 видах растений категории CR обнаружено развитие 12 видов патогенных грибов. Основными микопаразитами этой группы растений являются возбудители пятнистости листьев – *Ramularia arvensis* на *Potentilla erecta*, ржавчины – *Puccinia striiformis* на *Aegilops crassa*, головни – *Urocystis magica* на *Allium akaka* и *Tilletia caries* на *Amblyopyrum muricum*, мучнистой росы – *Microsphaera astragali* на *Astragalus schelkovnikovii*.

На 39 видах растений категории EN выявлено 43 вида патогенных грибов. Из них наиболее вредоносны возбудители пятнистости листьев – *Ramularia deusta* и *Phyllosticta lathyrina* на *Lathyrus sylvestris*, грибы *Heterosporium gracile* и *Puccinia iridis* на *Iris elegantissima* и *Gymnosporangium juniperi* на *Sorbus caucasica*. Особенно вредоносна ложная мучнистая роса – *Plasmopara anemones-ranunculoidis* на *Anemone ranunculoides* и виды мучнистой росы – *Microsphaera astragali* на *Astragalus karjaginii* и *Leveillula taurica* на *Gundelia tournefortii*.

На 11 видах растений категории VU и NT выявлено 10 видов возбудителей болезней. В качестве наиболее опасного гриба следует обратить внимание на *Exosporium erumpens*, развивающийся на ветвях *Taxus baccata*.

Среди вредоносных видов отмечен также возбудитель ржавчины – *Puccinia striiformis* на *Triticum araraticum*.

На 26 видах растений, относящихся к категории LC, выявлено большое разнообразие паразитов в количестве 52 видов почти из всех систематических групп грибов.

В категории DD отмечаются виды, ареал которых ограничен и с момента последнего обнаружения которых прошел значительный период времени. Здесь весьма полезно использовать косвенные данные. Например, учитывать данные по образцам микобиоты, собранным микологами. Так, местонахождение *Acer laetum*, включенного в Красную книгу растений этой группы, не отмечено, так как гербарный образец, как заявлено в издании, отсутствует. Между тем по сборам микологов на этом растении обнаружен вид *Microdiplozia subsecta* в Горисе, Кафане, Мегри в 1969 г. Другой краснокнижный вид – *Phyladelphus caucasicus* отмечен в 1953 г. одним сбором, а микологами на этом растении собран гриб *Phyllosticta vulgaris* в дендропарке – «Сосняки» в 1954 г., а *Ph. coronaria* – в Ноябрьском районе в 1960 г. И таких примеров много.

Особо следует отметить ситуацию с дикорастущими грушами (*Pyrus spp.*). В Армении их 33-34+ вида, из которых 11 вошли в список краснокнижных: по одному виду в категории CR и LC, остальные 9 видов значатся в категории EN. Все они периодически в разной степени болеют паршой – *Fusicladium pyrorum*, ржавчиной – *Gymnosporangium sabinae*, мучнистой росой – *Podosphaera leucotricha* и *Phyllactinia guttata*, септориозом – *Septoria pyricola* и мильдью – *Monilia fructigena*. На стволах стареющих груш развиваются трутовые грибы, разрушающие их.

Распределение грибов по систематическим таксонам показало преобладание гифомицетных, пикнидиальных, мучнисторосяных и ржавчинных грибов. Грибы эти отмечены в основном в анаморфной конидиальной стадии, а телеоморфная сумчатая стадия наблюдается в редких случаях. Выявленные грибы относятся в основном к филлотрофам, поражающим живые листья. Сокращая поверхность листовой пластинки, они заметно снижают ассимилирующую функцию листьев, что приводит к преждевременному их усыханию и опадению, ослабляющими растение. Вторая группа грибов относится к ксилотрофам, развивающимся на коре стволов и ветвях, что вызывает их отмирание.

Анализ графы «местонахождение» табл. 1 убедительно свидетельствует о том, что жизнеспособность многих краснокнижных видов растений поддерживается путем их культивирования в ботанических садах и дендропарках.

Проведенные исследования показали, что на 87 видах краснокнижных растений-хозяев выявлено 105 видов патогенных грибов, принадлежащих 53 родам (рис. 1).

Как показано на рис. 1, наибольшее количество видов грибов, поражающих краснокнижные растения, встречается из родов *Septoria* (11 видов), *Puccinia*, *Ramularia* (по 8 видов), *Phoma*, *Phyllosticta* (по 6 видов), *Cytospora*, *Erysiphe* (по 5 видов), *Fusicladium* (3 вида), 12 родов представлены двумя видами, остальные роды – 1 видом.

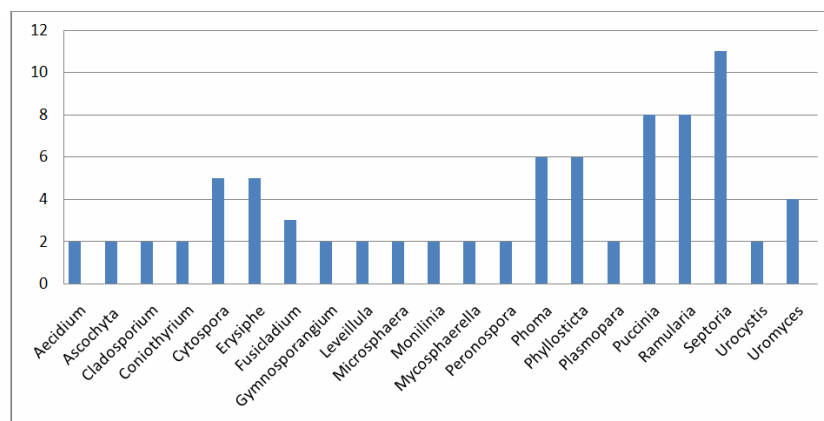


Рис. 1. Роды фитопатогенных грибов, обнаруженные на краснокнижных растениях, включающие 2 и более вида

Сопоставляя данные по местообитанию в РА краснокнижных видов растений с известными данными по грибным возбудителям болезней этих растений, мы выявили новые местонахождения, которые, по всей вероятности, не известны или не учтены в «Красной книге». Это и не удивительно, так как ботанические и микологические маршрутные исследования обычно проводятся независимо друг от друга и не тождественны по целям, задачам и выбору маршрутов. Рекомендуем в дальнейшем при составлении Красной книги растений учитывать и данные, приведенные в сводках по микобиоте растений.

Ереванский государственный университет
e-mail: losipyan@ysu.am

Академик Л. Л. Осипян, Е. Ю Согоян

Поражаемость краснокнижных видов растений патогенными микромицетами в Республике Армения

Приводится список патогенных фитотрофных микромицетов, поражающих растения, включенных в Красную книгу Армении по категориям опасности, установленным Международным союзом охраны природы (МСОП). При сравнении сведений по местообитанию краснокнижных видов растений с данными по грибным возбудителям болезней этих растений выявлены новые местонахождения. Рекомендуется в следующих изданиях по редким и исчезающим видам растений учитывать данные и по местонахождению фитотрофных грибов их поражающих по работам микологов.

Ակադեմիկոս Լ. Լ. Օսիպյան, Ե. Յու. Սողոյան

Հայաստանի Հանրապետությունում բույսերի Կարմիր գրքի տեսակների վարակվածությունը ախտածին միկրոմիցետներով

Ներկայացվում է ախտածին ֆիտոտրոֆ միկրոմիցետների ցանկը, որոնք վարակում են Հայաստանի Կարմիր գրքում ներառված բույսերը՝ ըստ Բնության պահպանության միջազգային միության (ԲՊՄՄ) կողմից հաստատված վտանգի կատեգորիաների: Կարմիր գրքի բույսերի տեսակների հայտնաբերման վայրի վերաբերյալ տվյալները համեմատելով այդ բույսերի սնկային հիվանդությունների վերաբերյալ տվյալների հետ՝ հայտնաբերվել են նոր աճելավայրեր: Առաջարկվում է հազվագյուտ և վտանգված բույսերի տեսակների վերաբերյալ հետագա հրատարակություններում հաշվի առնել ֆիտոտրոֆ սնկերի հայտնաբերման վայրի մասին տվյալները՝ ըստ սնկաբանների աշխատանքների:

Academician L. L. Osipyan, Y. Y. Soghoyan

The Susceptibility of Red Book Plant Species to Pathogenic Micromycetes in the Republic of Armenia

The article contains a list of pathogenic phytotrophic micromycetes affecting plants included in the Red Book of Armenia in the risk categories established by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). A comparison of the data on the habitats of the Red Book species with the data on the fungal disease pathogens for these plants has allowed the identification of new locations. It is recommended that future editions on rare and endangered plant species should also consider the data for the location of phytotrophic fungi, based on the work conducted by mycologists.

Литература

1. Красная книга Армянской ССР. Ереван, 1988. 284 с.
2. The red book of plant of the Republic of Armenia. Plants and Fungi. Yerevan. 2010. 591 p.
3. *Тетеревникова-Бабаян Д. Н.* – Биол. журн. Армении. 1981. .Т 34. №11. С. 1099-1106.
4. *Аветисян В. Е., Барсегян А.М.* и др. Список редких и исчезающих видов флоры Армении. Ереван. Изд-во АН АрмССР. 1979. 27с.
5. *Арутюнян Л. В.* – Биол. журн. Армении. 1980. Т. 33. № 8. 1980. С. 872-877.
6. *Хуришудян П. А., Барсегян А. М., Африкян К. Г.* – Биол. журн. Армении. 1980. Т. 33. № 1. С. 12-19.
7. Библиография научных работ по микологии в Республике Армения (1889-2014). Ереван. Изд-во ЕГУ. 2017. 480 с.

քելությամբ այցելում է տարբեր գավառներ, այդ թվում նաև Բարձր Հայք, երբ վերջինս ազատագրվում է պարսիկներից, ինչպես նաև կենտրոնական Հայք, երբ 293/4 թթ. այն անցնում է Տրդատ Մեծի իշխանությանը: Բացառված չէ, որ նա՝ որպես խիզախ քարոզիչ, Մեծ Հայքում ազաթանգեղոսություն է արել նաև մինչև վերջինիս անկախացումը՝ պարսից տիրապետության ժամանակներում: 287 թ., երբ Տրդատ III-ը Դիոկղետիանոս կայսեր օգնությամբ վերադարձնում է հայոց գահը սկզբում հռոմեապատկան Փոքր և Բարձր Հայքերում, Գրիգոր քահանան վերադառնում է իր բնօրրանը՝ արքունիքում (Չրմեսի՝) աշխատանքի անցնելով որպես քարտուղար:

Հետաքրքիր է, որ Ազաթանգեղոսի առաջաբանի համաձայն՝ արքունի քարտուղար է եղել նաև ինքը՝ Ազաթանգեղոսը, ինչը ևս վկայում է այն մասին, որ Գրիգորը և Ազաթանգեղոսը նույն անձն են:

Առանձնապես որևիցե վկայություն պետք չէ ենթադրելու համար, որ Տրդատ արքան նախօրոք կարող էր իմանալ իր զարմիկի՝ քրիստոնյա լինելու, դեռ ավելին, քահանա և շրջիկ քարոզիչ (ազաթանգեղոս) լինելու մասին, մանավանդ որ 287 թ. և հաջորդ տարիներին քրիստոնյաները ստիպված չէին գաղտնի կամ կիսագաղտնի կյանք վարել: Հետևաբար՝ Ազաթանգեղոսի պատմության այն դրվագը, թե Տրդատ III-ը Երիզայում Անահիտ աստվածուհուն զոհ մատուցելու ժամանակ իմացավ Գրիգորի դավանանքի մասին, պետք է համարել վարքագրական ժանրի պահանջով ներմուծված տեղեկություն: Իրականում Տրդատ արքայի համար բնական էր քրիստոնյաների հետ ընկերություն անելը, բանակում ծառայելը, պաշտոններ վարելը, վերջապես կրոնի պետականացումից հետո իր քրիստոնյա զարմիկին Հայքի եկեղեցապետ նշանակելը: Հասկանալի է, որ դրանում դեր է խաղացել ոչ միայն այն, որ իր զարմիկը քրիստոնյա էր, քահանա էր և ազաթանգեղոս, սրանք, ի դեպ, կարող են վկայել նրա ժողովրդականության ու համբավի մասին, այլև այն, որ Գրիգորը հմուտ ու վարժ էր պաշտոնական ու կենցաղային հարաբերություններում ծագած արգելքներն ու խնդիրները լուծելու մեջ, ինչպես երևում է «Հաճախապատումի»՝ նրա խրատներից:

Գրիգորը՝ որպես եկեղեցապետ, պետք է կաթողիկոս ձեռնադրվեր որևէ մերձավոր եկեղեցում, տվյալ դեպքում՝ Կեսարիայում, որն իրեն հարազատ էր մանկությունից ու երիտասարդական տարիներից: Դրա համար էլ թագավորական պատվով նրան իշխանների ուղեկցությամբ (298-99 թթ.) գործուղում են Կեսարիա՝ Փոքր Հայքի վրայով, որտեղից էլ նա հրավիրում է սկզբնական շրջանի համար խիստ անհրաժեշտ հոգևորականներ ու եկեղեցական գործի կազմակերպիչներ: Գրիգոր Լուսավորիչը կարողացավ առանց սուր բախումների եկեղեցու կողմը գրավել նաև Հայոց քրմական տների ներկայացուցիչներին, որոնք և

համալրեցին առաջին եպիսկոպոսական դասը՝ տեղական վաղ քրիստոնեական համայնքներից ելած հոգևորականների հետ միասին: Իսկ եթե դրան էլ ավելացնենք Գրիգորի ձեռնարկած դպրոցներում պատրաստված հոգևոր ծառայակիցներին, ապա կարելի է նոր կրոնի կադրային սպասարկման պահանջը բավարարված համարել:

Եվ իրոք, միայն հիշյալ չորս աղբյուրներից կրոնական ծառայողներ հավաքագրելու միջոցով հնարավոր դարձավ Հայոց բոլոր գավառներն ու քաղաքներն ապահովել եկեղեցաձիսական կյանքով: Հայտնի է, որ Ն. Ադոնցը, ի մի բերելով եղած սուղ վկայությունները, հավաստել է, որ սկզբնապես Գրիգոր Լուսավորչի գործընկերները եկեղեցական կյանքի կազմակերպման ու առաջնորդման հարցով եղել են 12 եպիսկոպոսներ, որոնք հետզհետե շատացել են՝ եկեղեցաթեմական կառուցվածքում ընդօրինակելով Մեծ Հայքի նախարարական վարչական կառուցվածքը ([6], էջ 360):

Այսպիսով, մոտավորապես քառասնամյա տարիքում ստանձնելով հայ եկեղեցու ղեկը՝ Գրիգոր Պարթև կաթողիկոսն իր կառավարման ընթացքում հասցնում է անել մի շարք կարևոր գործեր:

ա. Արմատավորել մշտական ժամերգության, պատարագի, մրկրտության և մյուս խորհուրդների կատարման կարգերը:

բ. Հիմնել դպրոցներ հունարեն և ասորերեն լեզուներով՝ Ս. Գիրքը յուրացնելու միջոցով հետերոէպիկ (հետերոէպիկ (=այլալեզու) ընթերցման մասին տես [7], էջ 227-228) թարգմանական եղանակը ներդնելու և լայնորեն կիրառելու համար:

գ. Երկրով մեկ ստեղծել նոր սրբավայրերի ցանց՝ նախաքրիստոնեականի հիմքի վրա կամ նորովի:

դ. Սահմանել համահայկական քրիստոնեական տոնական կյանք՝ Երուսաղեմյան տոնացույցի և քրիստոնեական գատկացույցի համաձայն:

ե. Ընդունել համաքրիստոնեական եկեղեցական ժողովների կանոնները և համալրել դրանք տեղական կանոններով:

զ. Հրահանգներ և խրատական թղթեր ուղարկել բոլոր թեմերին՝ ծագած կնճռոտ հարցերն ու խնդիրները պարզաբանելու նպատակով:

Գրիգոր կաթողիկոսի գործունեության մեջ վերջինը նշված ոլորտին ենք պարտական «Հաճախապատում ճառերի» ստեղծման համար:

Մեծ վարդապետը հընթացս գործոց գրած թղթերով այս ու այն հարցերին պատասխանելով՝ բոլորովին նպատակ ու ցանկություն չի ունեցել ստեղծելու վերոհիշյալ ժողովածուն: Այդ թղթերը, թեկուզ գրված լինելով հունարեն, այնքան պահանջարկ ու հեղինակություն են վայելել, որ հավանաբար Ներսես Մեծի օրոք կամ նրա պատվերով, որքան հնարավոր է ի մի են բերվել ու հավաքվել՝ կազմելով մի ժողովածու՝ պայմանականորեն դրված վերնագրով՝ հունարեն՝ լոգոյ պալա-

միօյ («Հաճախապատում ճառք»), որ նշանակում է բազմակի, բազմապատիկ, շատ ճառեր, և ոչ մի կապ չունի հաճախ ընթերցվելու կամ պատմվելու հետ:

Հաճախապատումը IV դ. սկզբին ստեղծված օտարագիր հայ գրականության ամենավաղ արտահայտությունն է, որի շնորհիվ կենդանանում և շնչավորվում են մեծ վարդապետի կյանքն ու գործը, միտքն ու խոսքը:

Պետք է ասել, որ իր մեծության վայել Գրիգոր Պարթևն ստացավ նաև մեծ մարդու Տրդատ Մեծի բոլորեքյան աջակցությունը, որպեսզի հաջողությամբ պսակի եկեղեցաշինական մեծ գործը, և նոր կրոնն անարգել ներդրվի հայ հասարակության մեջ: Բնական է, որ եթե չլիներ Տրդատ III-ի քաղաքական-կրոնական նոր կուրսը, Հայքը չէր դառնա առաջին քրիստոնեական պետությունը, Գրիգորը չէր լինի եկեղեցապետ, և քրիստոնեությունը Հայքում կարմատանար դանդաղ ու աստիճանաբար, ինչպես մյուս տեղերում ու հարևան Փոքր Հայքում և Կեսարիայում, Գրիգորն էլ պարզապես կլիներ քրիստոնյա նշանավոր գործիչներից մեկը, գուցե նաև առաջին հայ աստվածաբան հայրը: Ուստի հարկ է նշել, որ նա իր Հաճախապատումով ներկայացավ որպես հայ եկեղեցու բարոյախոսական ուղեցույց՝ առավելապես քրիստոնեության պետականացման շնորհիվ:

Բայց դա չի նշանակում, թե Տրդատի և Գրիգորի միջև տարաձայնություններ չեն եղել, մանավանդ նման լուրջ գործի կազմակերպման շուրջ, այն էլ նման երկարատև կառավարման ընթացքում (մոտ քառորդ դար): Եթե հաշվենք, որ Տրդատ արքան քրիստոնեություն է ընդունել ոչ թե իր հավատքի, այլ քաղաքական հաշվարկի ուժով, իսկ Գրիգորը մանկուց դաստիարակվել է իբրև քրիստոնյա, ապա նրանց միջև անխուսափելի է տարաձայնությունը որևէ հարցով, թեկուզ հենց այն պատճառով, որ տվյալ հարցին Տրդատը վերաբերվելու է ձևականորեն, իսկ Գրիգորը՝ համոզմունքներից դրդված: Նույն կերպ թագավորի վարքագիծը կարող էին ընդօրինակել քրիստոնեությունը «դիվանագիտորեն» ընդունած իշխանները և դարձյալ բախվել բարոյախոս Գրիգորի և մյուս հայրերի հանդիմանանքին: Այսպես դատելու հիմք է տալիս «Հաճախապատումի» մի փոքր հատված, որը հետազոտողների մեծ մասի կողմից հանիրավի վերագրվել է Մաշտոցի գրչին (V դ.). «Եւ այս յայտնի է, զի ոչ տոհմից փառաւորութիւն փառաւոր առնի առ Աստուծոյ, այլ առաքինութեան բարեստոհմութիւնն: Զի ի Հայս ոչ ինչ մեծագոյն և ի Պարսս քան զԱրշակունեաց ազգս և տոհմս, որ և յԱբրահամէ սերեցան աստ, նա և յամենայն ազգս թագաւորք երկրի ըստ անսուտ բանին տեառն ամենեցուն: Այլ եթէ ոչ զգաստասցին ի բարի կրաւնս, ավելի պատուհաս ընկալցին ի տեառնէ: Եւ ծառայք նոցա որ հաճոյ եղեն Աստուծոյ, թագաւորեալք փառաւորեսցին ի տեառնէ, և նոքա

պարտաւորեալք յաղագս մեղաց՝ պատժեացին յարդար իրաւանցն» ([8], էջ 238):

Մեջբերումից երևում է, որ հեղինակը բարոյական զգաստության է կոչում արքային՝ քրիստոնյաների օրենքով ապրելու, որպեսզի Աստծուց պատուհաս չստանա: Այստեղ ոչ թե «Հաճախապատումի» թարգմանիչ-խմբագիր կամ թվացյալ հեղինակ Մաշտոցն է ընդմիջարկելով դիմել Արտաշես արքային 420-ական թվականներին, ինչպես կարծել են հայտնի մի քանի հայագետներ, այլ, ինչպես նկատել է իր «Մաշտոց» գրքում Ա. Մարտիրոսյանը, Գրիգոր Պարթեն է անուղղակի դիմում Տրդատին, որովհետև Արշակունիները V դ. արդեն Սասանյանների ստվերում էին և տարբեր ազգերի թագավորներ չէին, իսկ IV դ. սկզբին նրանք պարսից, հայոց և այլ ազգերի մեջ դեռևս հայտնի արքայական տոհմի համբավ ունեին ([9], էջ 116): Բացի այդ, Ս. Գրքի վկայակոչումը Աբրահամին Արշակունիների նախահայր համարելու վերաբերյալ գալիս է ոչ թե հայկական ավանդույթից, այլ ավելի լայն մերձավորարևելյան և իրանական պատկերացումներից, որոնք ձևավորվել էին դեռևս Սասանյան հեղաշրջումից առաջ՝ մթ. I-III դարերում՝ Իրանի պարթև Արշակունիների իշխանության օրոք, հավանաբար պարթև արքաներին դիվանագիտորեն սիրաշահող հուդայական ռաբբիների, վաճառականների կամ էլ քրիստոնյա մեկնիչների կողմից:

Այսպիսով, Տրդատ արքայի կողքին մեծ էր նաև Գրիգոր կաթողիկոսի դերը նախաքրիստոնեական պաշտամունքները և նախապաշարումները հաղթահարելու և գրեթե անարյուն ու առանց հասարակական ցնցումների քրիստոնեությունը Հայաստանում արմատավորելու գործում: Այսուհանդերձ, XIX-XX դդ.-ից մինչև մեր օրերը չեն դադարում քննադատել Գրիգոր Լուսավորչին՝ հեթանոսական մշակույթը ոչնչացնելու մեղադրանքով:

Սակայն պարզվում է, որ Գրիգոր Ագաթանգեղոսը և Տրդատ Մեծը հիմնականում անմասն են եղել հին տաճարների ու մշակութային արժեքների վերացման գործին: IIIդ. II կեսին այդ չարահամբավ գործի հեղինակներն են եղել պարսիկ տիրողները, որոնք ողջ Հայքում փորձում էին ներդնել պաշտոնական զրադաշտականություն¹:

Միայն այն փաստը, որ Բագավանի տաճարի տեղում կառուցվեց ատրուշան, իսկ Ս. Էջմիածնի Մայր տաճարի հիմքում հայտնաբերվեց կավե կրակարան, բավական է ասելու, որ պարսիկները զրադաշտական ատրուշանի համար նախորդ սրբավայրն ավերում էին, իսկ քրիստոնյաները նոր կրոնի սրբավայրը կառուցելու համար նախորդը ծածկում էին: Եթե քրիստոնյաները տաճար ու գիրք ավերող լինեին, Գառնու տաճարը չէր փրկվի, թեկուզ այն հրաշքով կամ անհայտ պատճա-

¹ Այս հարցին կանդաղադառնանք այլ հոդվածում:

ռով փրկվել էր պարսիկներից, ինչը նշանակում է, որ հարցը դեռևս կարող է քննության: Առայժմ կարող ենք ասել, որ մեր վերականգնած պատմաքաղաքական ու մշակութային համատեքստում Գառնու տաճարը չի տեղավորվում. այն պետք է կամ քանդված լիներ, կամ էլ կառուցված չլիներ: Որպես նախավարկած՝ կարելի է առաջ քաշել այն դրույթը, որ տաճարը կառուցվել է Մեծ Հայքի իշխանությունը պարսիկ Ներսեհից Հելիոս-Տրդատին անցնելուց հետո: Այսինքն՝ արևապաշտ Ավրելիանոսից թագադրված Տրդատը Հելիոս-Միհրի տաճարի շինարարությունը հասցրեց ավարտել մինչև քրիստոնեության պետականացումը, այսինքն՝ 393-99 թվականների միջև, մոտավորապես այնքան տարում, որքան պահանջվեց Աղթամարի տաճարի համար՝ 915-921 թթ.: Իսկ քրիստոնեությունից հետո պարիսպներով ամրացված և ժողովրդից մեկուսացված Գառնու տաճարի տարածքը՝ բաղնիքով, պալատով և այլ կենցաղային ենթակառուցվածքով, դարձավ արքայական հանգստավայր և արքայաքույր Խոսրովիդուխտի դամբարան, ինչպես հասկանալի է գրում է Պատմահայր Խորենացին (տե՛ս [5], էջ 241-242) և այսու ես հերթական անգամ հաստատում իր հավաստի լինելը:

Հասկանալի է, որ դեպքերի նման զարգացումների արդյունքում միայն հեթանոսական տաճարը կարող էր փրկվել, դեռ ավելին, նաև կարող էր արդարացվել կառույցի ինչ-ինչ կողմերի, հարդարանքի ինչ-ինչ մասերի կիսատ կամ թերի մնալը, որովհետև վրա էին հասել քրիստոնեության պետականացման ակտը 299թ. և Գրիգոր Պարթևի եկեղեցաշինական գործունեությունը:

Վարքագիրը նշում է, որ Գրիգոր քահանան, մինչև կաթողիկոս դառնալը, ամուսնացած էր կեսարացի քրիստոնյա Դավթի դստեր՝ Մարիամի հետ և ուներ երկու որդի, ավագը՝ Վրթանես, կրտսերը՝ Արիստակես: Թե ուրիշ զավակներ ևս ունեցել են, չի հիշվում, բայց այս երկուսը, նախ՝ կրտսերը, ապա՝ ավագը, հաջորդաբար իրենց հորից հետո եղել են Հայոց կաթողիկոսներ: Պարզ երևում է, որ Վրթանեսի անունը դրվել է տոհմական անվանացանկի համաձայն, գուցե Գրիգորի հոր անունը եղել է Վարդա՞ն, իսկ կրտսեր որդու անունը դրվել է հունական քրիստոնեական անվանացանկի համաձայն:

Նույն կերպ է վարվել Վրթանեսը յուր երկու որդիների անվանակոչման հարցում, տոհմային՝ Հուսիկ, և քրիստոնեական՝ Գրիգորիս՝ պապի անունով: Ի դեպ, հնարավոր է, որ Հուսիկը եղել է նրա պապ Գրիգորի աշխարհիկ անունը: Նույն կերպ՝ Հուսիկը, որ իր որդիներից մեկին կոչեց Պապ տոհմանվամբ, մյուսին՝ Աթանագինես (հուն. Անմահածին), հավանաբար, Ս. Աթանագինեսի պատվին: Հետո Գրիգոր Լուսավորչի տոհմը շարունակվել է մեկական զավակներով, Աթանագինեսից՝ Ներսես, սրանից՝ Սահակ, որից էլ միակ դուստրը՝ Սահականուշ: Մի անորոշ տեղեկության համաձայն՝ Ս. Աթանագինեսը եղել է

Գրիգորի տիկնոջ եղբայրը կամ այլ ազգականը, որ նահատակվել է Կեսարիայում Դեկոսի (ոչ թե Դիոկլետիանոսի) հալածանքի ժամանակ, դրա համար էլ, երևի, սրբացվել է: Ինչ վերաբերում է Հուսիկի մյուս որդուն՝ Պապին, որը պաշտոնական կնոջից անգավակ է մնացել, ապա պետք է ասել, ըստ Փավստոս Բուզանդի, Տարոնի Հացիկ գյուղի մի հարձից ապօրինի ժառանգ է ունեցել, անունը՝ Վրիկ: Վերջինս համադրելի է Կորյունի «Վարք Մաշտոցի» երկում հիշված երանելի Վարդան Կարճագատի հետ, որը ս. Մաշտոցի հայրն է ([10], էջ 79; [11], էջ 38): Եթե Վարդանը Վրիկն է, ուրեմն Մաշտոցը և Սահակ Պարթևը երկու եղբոր թոռներ են, այսինքն՝ բավականին մերձավոր ազգականներ, ինչն իր հերթին կարող էր նպաստել նրանց մտերիմ գործընկերությանը:

«Ազաթանգեղայ պատմութիւնից» հայտնի է ([12], էջ 452), որ Գրիգոր Պարթևը կյանքի վերջին շրջանում դարձել է ճգնավոր հայրենի լեռներում (Սեպուհի Մանյա այրք կոչվող ճգնարանում՝ ըստ ժողովրդական բանավոր ավանդույթի) (հմմ. [13]): Բնարկե, Հայոց շատ գավառներում կուգեին, որ համազգային սուրբը ճգներ և վախճանվեր իրենց լեռներում, և այն փաստը, որ այդքան լեռներից ընդունելի է դարձել Սեպուհը, ավելորդ անգամ ցույց է տալիս Սուրբ Գրիգորի Բարձր-հայքեցի լինելը:

Գրիգոր Պարթևը գահակալեց մոտ 30 տարի և թաղվեց իր տոհմական դամբարանում: Նա IV դ. II կեսին արդեն ժողովրդական լայն խավերի մեջ սրբի համարում ուներ, բայց իբրև սուրբ կանոնացվեց Սահակ Պարթևի կողմից:

Մատենադարան

Ա. Ս. Սահակյան

Դիտարկումներ Գրիգոր Պարթևի գիտական կենսագրության համար

Գրավոր աղբյուրների համադրմամբ փորձ է արվել վերականգնելու Գրիգոր Լուսավորչի կենսագրությունը:

Գրիգոր Պարթևը (Լուսավորիչը) ծնվել է մոտ 259/60 թ. Բարձր Հայքի Եկեղյաց գավառի Թիլ կամ Թորդան ավանում՝ արքայական տոհմի ընտանիքներից մեկում: Մանկությունը և պատանեկությունը անցել է ընտանիքի հետ՝ Կապադովկիայի Կեսարիա (Մաժաք) քաղաքի հայ-հունական խառը միջավայրում, որտեղ և ուսում է առել, ապա մկրտվել, իսկ 80-ականներին ձեռնադրվել է քահանա: 287/ 8թ. վերադարձել է Բարձր Հայքի Չրմես քաղաք, իսկ 293/4 թ. հաստատվել Արտաշատ մայրաքաղաքում՝ երկու տեղում էլ ծառայելով որպես արքունի քարտուղար: 80-90-ական թվականներին եղել է քրիստոնեության շրջիկ-քարոզիչ՝ ազաթանգեղոսություն անելով Մեծ Հայքում, ինչի շնորհիվ ձեռք է բերել «Ազաթանգեղոս» մականունը: 298/9 թ.

քրիստոնեության պետականացման արդյունքում դարձել է Մեծ Հայքի եկեղեցապետ, հնարավոր է, առաջին անգամ կոչվելով կաթողիկոս:

Գրիգորը Տրդատ III-ի օգնությամբ երկիրը դարձրեց քրիստոնյա ոչ միայն անվանապես, այլև իրապես՝ հաստատելով եկեղեցական ամենօրյա սպասարկում՝ տեղական և հրավիրյալ կադրերով, միասնական տոնակարգ, ծիսակարգ, կանոնակարգ, հունարեն և ասորերեն դպրոցների ցանց, Ս. Գրքի ընթերցման հետերոէպիկ եղանակ և այլն:

Պաշտոնավարման տարիներին հունարեն գրել է կանոններ, թղթեր՝ ուղղված եկեղեցական կյանքի կարգավորմանը և ժողովրդի լուսավորմանը: Հետագայում թղթերի հիման վրա կազմվել է մի հունարեն ժողովածու (*πολλοί λόγοι* = ճառք յաճախապատումք), որը, V դ. առաջին քառորդում թարգմանվելով և խմբագրվելով Մաշտոցի կողմից, փրկվել է կորստից և մեզ է հասել նույնությամբ: Ծերության բերումով 325 թ. կաթողիկոսի պաշտոնը զիջել է իր երկու որդիներից կրտսերին՝ Արիստակեսին, ինքը անցել հայեցողական կյանքի: Վախճանվել է հավանաբար 20-ականների վերջերին՝ ապրելով մոտ 70 տարի: Թաղվել է տոհմական դամբարանում: IV-V դդ. սահմանին Սահակ Պարթևի կողմից նա կանոնացվեց իբրև հայ եկեղեցու սուրբ, իսկ դարի վերջերից կոչվեց Լուսավորիչ:

A. С. Саакян

Заметки к научной биографии Григора Партева

На основе изучения письменных источников сделана попытка реконструкции биографии и церковной деятельности Григора Партева (Просветителя), в 298/9 г. ставшего католикосом после принятия в Армении христианства в качестве государственной религии. За 25 лет правления он успел обеспечить страну единой духовной службой, ритуальными, праздничными и каноническими нормами, церковными школами, а также гетероэпическим чтением Библии при каждодневной службе в церквях. Его письменное наследие на греческом языке состоит из канонов и посланий, которые в начале V в. были переведены на армянский язык. Последние известны как «Многokратные речи», переводчиком и редактором которых является Маштоц.

A. S. Sahakyan

Notices about the Scientific Biography of Gregory Partev

Based on the study of written sources, an attempt was made to reshape the biography of Gregory Partev (Gregory the Illuminator) who became the catholicos in 298/9 after Christianity was adopted as the state religion in Armenia. During 25 years of his post, he managed to provide the country with one whole clerical service, ritual, festive and canonic norms, church schools and also bringing forward hetero-epic reading of the Bible in everyday service in churches. His written heritage in Greek consists of canons and messages that were translated into Armenian in the beginning of the 5th century. The latters are known as “Multiple Speeches” and their translator and editor was Mashtots.

Գրականություն

1. Ագաթանգեղայ Պատմութիւն Հայոց, Եր., 1983:
2. Մամիկոնեան Հ., Պատմութիւն Տարօնոյ, Եր., 1941:
3. Մելիք-Օհանջանյան Կ.Ա., Ագաթանգեղոսի Պատմությունն ու նրա ժողովրդական բանավոր սկզբնաղբյուրները - ՊԲՀ, 1964, N 4:
4. Մելիք-Օհանջանյան Կ.Ա., Ագաթանգեղոսի Պատմությունն ու նրա ժողովրդական բանավոր սկզբնաղբյուրները, - «Մառը և հայագիտության հարցերը», Եր., 1968:
5. Մովսէս Խորենացի, Պատմութիւն Հայոց, Եր., 1991, գիրք Բ, ԻԷ-ԻԸ :
6. Ադոնց Ն., Հայաստանը Հուստինիանոսի դարաշրջանում, Եր., «Հայաստան», 1987:
7. Սարգսյան Գ., Պատմագիտական հետազոտություններ, Եր., 2006, էջ 227:
8. Գրիգորի Լուսաուրչի Յաճախապատում ճառք. աշխ. Ա. Տէր Միքէլեանի, Էջմիածին, 1894:
9. Մարտիրոսյան Ա., Մաշտոց, Եր., 1982, էջ 116:
10. Փավստոս Բուզանդ, Պատմութիւն Հայոց, Եր., 1987:
11. Կորիւն, Վարք Մաշտոցի, Եր., 2005:
12. Ագաթանգեղայ Պատմութիւն Հայոց, աշխատութեամբ՝ Գ. Տէր-Մկրտչեան եւ Ստ. Կանայեանց, Տփղիս, 1909:
13. Գրիգոր Դարանաղցի, Ժամանակագրութիւն Գրիգորի վարդապետի Կամախեցվոյ, Երուսաղեմ, 1915 :

ՔՈՎԱՆԴԱԿՈՒԹՅՈՒՆ 118-րդ հատորի

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Վ. Ս. Ջաքարյան, Ս. Լ. Բերբերյան – Գրինի տիպի պոտենցիալների լարային սահմանների մասին	7
Մ. Հ. Աբելյան – Դիրիխլեի խնդրի արդյունավետ լուծումը միավոր շրջանում	15
Ա. Մ. Ջրբաշյան, Դ. Վարգաս – Օրթոգոնալ վերլուծում կիսահարթությունում սուբհարմոնիկ ֆունկցիաների օմեգա-կշռային դասերում	107
Ա. Մ. Ջրբաշյան, Ջ. Պեքենդիև – Դիրիխլեի տիպի A_ω^2 տարածություններ կիսահարթությունում	195
Վ. Ա. Միրզոյան – Նորմալ հարթ կիսասիմետրիկ ենթաբազմաձևությունները Էվկլիդեսյան տարածություններում	203
Հ. Մ. Մամիկոնյան – Պսևդոպարաբոլական տիպի մի հավասարմամբ ծնված կիսալամբի ատրակտորը	214
Վ. Ս. Ջաքարյան, Թ. Վ. Տավադայան – Մ. Ս. Ջրբաշյանի B_ω արտադրյալների եզրային արժեքների մասին	221

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Մ. Մ. Սալադյան, Ա. Ա. Չուբարյան – Դասական տրամաբանության ասույթային հաշվի որոշ համակարգերի ոչ մոնոտոնիկ հատկության մասին	20
Պ. Պ. Պաբրիկյան – Վերջավոր դաշտի վրա մեկ խորանարդային հավասարման հատուկ լուծումների բազմությունների գծայնացված ծածկույթները	115

ԻՆՖՈՐՄԱՏԻԿԱ

Գ. Հ. Հարությունյան – Պլանավորման մոտեցում նանոչափական բյուրեղներում ներկառուցված նախագծման բլոկների զուգահեռ և հաջորդական թեստավորման համար	26
--	----

ՄԵՖԱՆԻԿԱ

Վ. Մ. Բելուբեկյան, Ս. Վ. Սարգսյան – Լյավի խնդիրը առաձգամածուցիկ ծածկույթով կիսատարածության համար	33
Մ. Մ. Մխիթարյան – Բացարձակ կոշտ բարակապատ ներդրակի հետ փոխազդող վերջավոր ճաքով առաձգական սալի լարվածային վիճակի մասին	39
Մ. Մ. Գրիգորյան, Ս. Մ. Մխիթարյան – Երկու միատեսակ ստրիկներների հետ առաձգական կիսաանվերջ սալի կոնտակտային փոխազդեցության մասին	49
Ք. Ա. Ժամակոչյան – Աստիճանային շարքերի մեթոդի կիրառումը միկրոպոլյար առաձգական բարակ հեծանների կաշկանդված պտույտներով մաթեմատիկական մոդելի կառուցման համար	60
Ա. Վ. Գևորգյան – Մակերևութային P-SV տիպի ալիքները վերջավոր հաղորդիչ կիսատարածությունների բաժանման եզրով	68
Գ. Ե. Բաղդասարյան, Է. Հ. Դանոյան, Մ. Ա. Միկիկյան – Մագնիսաստրիկցիոն եռաշերտ սալերի տատանումներն ու ստատիկական կայունությունը մագնիսական դաշտում	72
Գ. Ե. Բաղդասարյան, Է. Հ. Դանոյան, Մ. Ա. Միկիկյան – Երկշերտ մագնիսաստրիկցիոն սալի տատանումների մաթեմատիկական մոդելավորումը	82
Մ. Ա. Համբարձումյան, Մ. Վ. Բելուբեկյան – Առաձգական ուղղանկյուն սալի տեղայնացված պլանար տատանումները միկրոպտույտների հաշվառմամբ	119
Ք. Ա. Ժամակոչյան, Ս. Հ. Սարգսյան – Կաշկանդված պտույտներով միկրոպոլյար առաձգական բարակ ձողերի մաթեմատիկական մոդելը և վերջավոր Էլեմենտների մեթոդը ...	125
Հ. Գ. Շեկյան – Մի ծայրով գետնահողում ամրակցված հեծանի դինամիկան ու կայունությունը	228
Վ. Ռ. Բաբսեդյան – Էտապ առ Էտապ փոփոխվող գծային ոչ ստացիոնար դինամիկ համակարգի դեկավարելիությունը	237

<i>Գ. Ա. Կարապետյան, Ս. Շ. Վալեսյան, Ն. Ս. Մուրադյան</i> – Ներքին հիդրոստատիկ ճնշման և առանցքային ձգման ազդեցությունն ապակեպլաստե խողովակների ըստ ոլորման քայքայելու դիմադրության վրա	246
<i>Ս. Հ. Մարգարյան</i> – Արմավորված (շերտավոր) առաձգական միջավայրի տեսության մեկնաբանությունը՝ որպես առաձգականության մոմենտային տեսություն	287
<i>Գ. Է. Բաղդասարյան</i> – Մագնիսաառաձգական փոխազդեցություններ ճաք պարունակող մագնիսաստրիկցիոն ֆերոմագնիսական հարթության և հաստատուն մագնիսական դաշտի միջև	297
<i>Վ. Վ. Թազվորյան</i> – Երկրաշարժերի կանխատեսման համար առաձգականության տեսության մեկ եռաչափ դինամիկ խնդրի մասին	308

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ա. Մ. Մարգարյան</i> – Առաձգականության տեսության համասեռ սինգուլյար խնդիրների մասին	134
<i>Վ. Ս. Բելուբեկյան</i> – Առաձգական հիմքի վրա սպերում տեղայնացված անկայունության առաջացման պայմանները	316

ՖԻԶԻԿԱ

<i>Ռ. Հ. Ալանկյան</i> – Լիցքավորված Հիգգսի բոզոնների ծնումը լեպտոն-հակալեպտոնային բախումներում	93
<i>Ռ. Հ. Ալանկյան</i> – Սկալար լեպտոնների ծնումը լեպտոն-հակալեպտոնային բախումներում	254

ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ

<i>Ա. Մ. Մարտիրոսյան, Ս. Վ. Ծառուկյան, Բ. Ա. Վարդանյան</i> – C_2H_5CHO -ի գազաֆազ օքսիդացման պրոցեսում C_2H_4 -ի և C_2H_5OOH -ի հետերոգեն առաջացումը	142
--	-----

ԵՐԿՐԱՖԻԶԻԿԱ

<i>Լ. Ա. Հայկերդյան, Ռ. Ա. Պաշայան, Լ. Վ. Հարությունյան</i> – Հայաստանի տարածքի երկրակեղևի լարվածադեֆորմացիոն վիճակի վարիացիաների և սեյսմիկաակտիվության միջև կապը	260
<i>Ա. Մ. Ավետիսյան, Վ. Յու. Բուրմին, Զ. Կ. Կարապետյան, Գ. Ս. Ղազարյան</i> – Սպիտակի երկրաշարժի հետցնցումային պրոցեսի հիպոկենտրոնների որոշման արդյունքների վերլուծությունը	321

ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱ

<i>Հ. Ս. Կարայան, Ս. Վ. Ղանդիլյան, Ա. Հ. Մակարյան</i> – Զանգվածի էլեկտրադինամիկ արագացուցիչների ընդհանրացված էլեկտրաֆիզիկական մոդելավորման և օպտիմալ էներգետիկ բնութագրիչների հաշվարկման որոշ հարցեր	331
--	-----

ԿԵՆՍԱՕՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

<i>Վ. Օ. Թովուզյան, Վ. Մ. Ղազոռյան</i> – Խոլինեսթերազաների արգելակիչների նոր դաս՝ 2,4-երկտեղակալված 5(4H)-իմիդազոլոններ	268
---	-----

ԿԵՆՍԱՔԻՄԻԱ

<i>Ս. Ս. Հովակիմյան, Մ. Դ. Սաֆարյան, Սուր. Ս. Հովակիմյան, Ա. Գ. Մելքոնյան</i> – Ֆոսֆոլիպիդների ֆրակցիոն կազմի մետաբոլիկ խախտումները որովայնային տիպի տուբերկուլյոզով հիվանդների մոտ	147
<i>Զ. Խ. Պարոնյան, Լ. Ս. Գրիգորյան, Հ. Ա. Ստեփանյան, Ռ. Մ. Սրապիտոնյան</i> – Պրոլինոլ հարուստ պեպտիդ ՊՉՊ-1-ի ազդեցությունը առնետի արյան պլազմայի ֆիբրինոլիտիկ ակտիվության վրա	155

ՆԵՅՐՈՔԻՄԻԱ

<i>Ս. Հ. Ղազարյան, Ռ. Գ. Պարոնիկյան</i> – Սալիցիլիդեն-ամինաթթուների լիթիումական և ցինկ ածանցյալները որպես նոր նեյրոտրոպ միջոցներ	160
--	-----

ՄԱՆՈՒԲԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ս. Հ. Ղազարյան, Հ. Մ. Ստեփանյան, Ռ. Վ. Պարոնիկյան, Կ. Պ. Գրիգորյան</i> – Ներդաստնաթղթի ածանցյալների Zn(II) աղերի հակամանրեային ակտիվությունը	165
<i>Ս. Հ. Ղազարյան, Հ. Մ. Ստեփանյան, Ռ. Վ. Պարոնիկյան, Կ. Պ. Գրիգորյան</i> – Տրիպտոֆանի Cu(II), Zn(II), Li կատիոն պարունակող ածանցյալների հակամանրեային ակտիվությունը	273

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

<i>Ք. Վ. Ղազարյան, Մ. Հ. Դանիելյան, Ռ. Գ. Չիբուխյան, Հ. Խ. Մկրտչյան</i> – Հիստամինի ազդեցությամբ միզապարկի և միզաձորանների ինքնաբերական ռիթմոգենեզի ակտիվացումը ...	170
---	-----

ԲՈՒՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Լ. Լ. Օսիպյան, Ե. Յու. Սողոյան</i> – Դեղաբույսերը ախտահարող <i>Septoria</i> ցեղի սնկերը Հայաստանի Հանրապետությունում	178
<i>Ժ. Հ. Վարդանյան, Հ. Կ. Մխիթարյան, Զ.Ս. Վարդանյան</i> – ՀՀ Լոռու մարզի Գուգարքի տարածաշրջանի մերձալպյան գոտու ռելիեֆային դենդրոցենոզների պահպանության և վերարտադրության խնդիրները	340

ԲՈՒՄԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ, ՄՆԿԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Լ. Լ. Օսիպյան, Ե. Յու. Սողոյան</i> – Հայաստանի Հանրապետությունում բույսերի Կարմիր գրքի տեսակների վարակվածությունը ախտածին միկրոփյոցեոտներով	351
--	-----

ՊԱՏՄՈՒԹՅՈՒՆ

<i>Ս. Ս. Սահակյան</i> – Դիտարկումներ Գրիգոր Պարթևի գիտական կենսագրության համար	362
--	-----

СОДЕРЖАНИЕ 118-го ТОМА

МАТЕМАТИКА

<i>В. С. Захарян, С. Л. Берберян</i> – О хордальных пределах потенциалов типа Грина	7
<i>С. О. Абелян</i> – Об эффективном решении задачи Дирихле в единичном круге	15
<i>А. М. Джрбашян, Д. Варгас</i> – Ортогональное разложение в омега-весовых классах функций, субгармонических в полуплоскости.....	107
<i>А. М. Джрбашян, Дж. Пехендино</i> – Пространства A_{ω}^2 типа Дирихле в полуплоскости	195
<i>В. А. Мирзоян</i> – Нормально плоские полусимметрические подмногообразия в евклидовых пространствах	203
<i>А. А. Мамиконян</i> – Аттрактор полугруппы, порожденной одним псевдопараболическим уравнением	214
<i>В. С. Захарян, Т. В. Таварацян</i> – О граничных значениях произведений М. М. Джрбашяна	221

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

<i>С. М. Саядян, А. А. Чубарян</i> – О свойстве немонотонности некоторых систем выводов классического исчисления высказываний	20
<i>В. П. Габриелян</i> – Линеаризованные покрытия для множеств специальных решений одного кубического уравнения над конечным полем	115

ИНФОРМАТИКА

<i>Г. Э. Арутюнян</i> – Подход к планированию параллельного и последовательного тестирования блоков проектирования в наномерных системах на кристалле ...	26
---	----

МЕХАНИКА

<i>В. М. Белубекян, С. В. Саркисян</i> – Задача Лява для полупространства с вязкоупругим покрытием	33
<i>С. М. Мхитарян</i> – О напряженном состоянии упругой бесконечной пластины с конечной трещиной, взаимодействующей с абсолютно жестким тонким включением	39
<i>М. С. Григорян, С. М. Мхитарян</i> – О контактном взаимодействии двух одинаковых стрингеров с упругой полубесконечной пластиной	49
<i>К. А. Жамакочян</i> – Применение метода степенных рядов для построения математической модели микрополярных упругих тонких балок со стесненным вращением	60
<i>А. В. Геворкян</i> – Поверхностные P-SV волны на границе раздела конечнопротяженных полупространств	68
<i>Г. Е. Багдасарян, Э. А. Даноян, М. А. Микилян</i> – Колебания и статическая устойчивость трехслойных магнитострикционных пластин под действием магнитного поля	72
<i>Г. Е. Багдасарян, Э. А. Даноян, М. А. Микилян</i> – Математическое моделирование колебаний двухслойной магнитострикционной пластинки	82
<i>С. А. Амбарцумян, М. В. Белубекян</i> – Локализованные планарные колебания упругой прямоугольной пластинки с учетом микровращений	119
<i>К. А. Жамакочян, С. О. Саркисян</i> – Математическая модель микрополярных упругих тонких стержней со стесненным вращением и метод конечных элементов..	125
<i>Г. Г. Шекарян</i> – Динамика и устойчивость балки, защемленной одним концом в грунте	228

<i>В. Р. Барсегян</i> – Управляемость поэтапно меняющихся линейных нестационарных динамических систем.....	237
<i>К. А. Карапетян, С. Ш. Валесян, Н. С. Мурадян</i> – Влияние внутреннего гидростатического давления и осевого растягивающего усилия на сопротивление разрушению стеклопластиковых труб при кручении	246
<i>С. О. Саркисян</i> – К интерпретации теории армированных (слоистых) упругих сред как моментной теории упругости	287
<i>Г. Е. Багдасарян</i> – Магнитоупругие взаимодействия между магнитоэлектрической ферромагнитной плоскостью с трещиной и постоянным магнитным полем...	297
<i>В. В. Тагворян</i> – Об одной трехмерной динамической задаче теории упругости по прогнозу землетрясений	308
ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ	
<i>А. М. Саргсян</i> – Об однородных сингулярных задачах теории упругости	134
<i>В. М. Белубекян</i> – Условия появления локализованной неустойчивости пластин на упругом основании	316
ФИЗИКА	
<i>Р. А. Аланакян</i> – Рождение заряженных хиггсовских бозонов в лептон-антилептонных столкновениях	93
<i>Р. А. Аланакян</i> – Рождение скалярных лептонов в лептон-антилептонных столкновениях	254
ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА	
<i>А. С. Мартirosян, С. В. Царукян, И. А. Варданян</i> - Гетерогенное образование C_2H_4 и C_2H_5OON в процессе газозофазного окисления C_2H_5CHO	142
ГЕОФИЗИКА	
<i>Л. А. Ахвердян, Р. А. Пашаян, Л. В. Арутюнян</i> – Связь между вариациями напряженно-деформированного состояния земной коры и сейсмической активностью на территории Армении	260
<i>А. М. Аветисян, В. Ю. Бурмин, Дж. К. Карапетян, К. С. Казарян</i> – Анализ результатов определения глубин афтершоков Спитакского землетрясения	321
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА	
<i>Г. С. Караян, С. В. Гандилян, А. А. Макарян</i> - Вопросы обобщенного электрофизического моделирования и расчета оптимальных энергетических характеристик электродинамических ускорителей масс	331
БИООРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ	
<i>В. О. Топузян, В. М. Казоян</i> – 2,4-Дизамещенные 5(4Н)-имидазолонь: новый класс ингибиторов холинэстераз	268
БИОХИМИЯ	
<i>С. С. Овакимян, М. Д. Сафарян, Сур. С. Овакимян, А. Г. Мелконян</i> – Метаболические нарушения фракционного состава фосфолипидов у больных брюшным типом туберкулеза	147
<i>З. Х. Паронян, Л. С. Григорян, А. А. Степанян, Р. М. Срапионян</i> – Влияние пролином богатого пептида ПБП-1 на фибринолитическую активность плазмы крови крыс	155
НЕЙРОХИМИЯ	
<i>С. А. Казарян, Р. Г. Пароникян</i> – Литиевые и цинкпроизводные салицилиден-аминокислот как новые нейротропные средства	160
МИКРОБИОЛОГИЯ	
<i>С. А. Казарян, Г. М. Степанян, Р. В. Пароникян, К. П. Григорян</i> – Антибактериальная активность $Zn(II)$ солей производных нейроаминокислоты ГАМК	165

С. А. Казарян, Г. М. Степанян, Р. В. Пароникян, К. П. Григорян – Антибактериальная активность Cu(II), Zn(II), Li катионсодержащих производных триптофана	273
ФИЗИОЛОГИЯ	
К. В. Казарян, М. А. Даниелян, Р. Г. Чибухчян, Э. Х. Мкртчян – Активация гистамином пейсмекерного ритмогенеза мочеточников и мочевого пузыря	170
БОТАНИКА	
Л. Л. Осипян, Е. Ю. Согоян – Грибы рода <i>Septoria</i> , поражающие лекарственные растения в Республике Армения	178
Ж. Г. Варданян, А. К. Мхитарян, З. С. Варданян - Задачи охраны и воспроизводства реликтовых дендроценозов субальпийского пояса Лорийского марза Гугаркского региона РА	340
БОТАНИКА, МИКОЛОГИЯ	
Л. Л. Осипян, Е. Ю. Согоян – Поражаемость краснокнижных видов растений патогенными микромицетами в Республике Армения	351
ИСТОРИЯ	
А. С. Саакян – Заметки к научной биографии Григора Партева	362

CONTENTS of 118th VOLUME

MATHEMATICS

V. S. Zakaryan, S. L. Berberyan – On the Chordal Limits of Potentials of the Green Type	7
S. H. Abelyan – On the Effective Solution of the Dirichlet Problem in the Unit Disk	15
A. M. Jerbashian, D. Vergas – Orthogonal Decomposition in Omega-Weighted Classes of Functions Subharmonic in the Half-Plane	107
A. M. Jerbashian, J. Pejendino – On Dirichlet Type Spaces A_{ω}^2 over the Half-Plane	195
V. A. Mirzoyan – Normally Flat Semi-Symmetric Submanifolds in Euclidean Spaces	203
H. A. Mamikonyan – Attractor of Semigroup Generated by an Equation of Pseudoparabolic Type	214
V. S. Zakaryan, T. V. Tavaratsyan – On Boundary Properties of Products of B_{ω} M. M. Djrbashyan	221

APPLIED MATHEMATICS

S. M. Sayadyan, A. A. Chubaryan – On Some no Monotonous Property of Some Propositional Proof Systems of Classical Logic	20
V. P. Gabrielyan – Linearized Coverings for Sets of Special Solutions of One Cubic Equation over a Finite Field	115

INFORMATICS

G. E. Harutyunyan – An Approach for Scheduling Parallel and Serial Testing of Embedded IP Cores in Nanoscale SoCs	26
---	----

MECHANICS

V. M. Belubekyan, S. V. Sarkisyan – Love Problem for a Half-Space with a Viscoelastic Coating	33
S. M. Mkhitarian – On the Stressed State of an Elastic Infinite Plate with a Finite Crack Interacting with an Absolutely Rigid Thin Inclusion	39
M. S. Grigoryan, S. M. Mkhitarian – On Contact Interaction of an Elastic Semi-Infinite Plate with Two Similar Stringers	49
K. A. Zhamakochyan – Application of the Method of Power Series for the Construction of a Mathematical Model of Micropolar Elastic Thin Bars with Constrained Rotation	60
A.V. Gevorgyan – Surface P-SV Waves on the Interface of Two Finite Conductive Semi-Spaces	68
G. Y. Baghdasaryan, E. H. Danoyan, M. A. Mikilyan – Vibrations and Static Stability of Three-Layered Magnetostrictive Plates under the Action of Magnetic Field	72
G. Y. Baghdasaryan, E. H. Danoyan, M. A. Mikilyan – Mathematical Modeling of Vibrations of Two-Layered Magnetostrictive Plate	82
S. A. Ambartsumian, M.V. Belubekyan – The Localized Planar Vibration of the Rectangular Plate with an Account of the Microrotation	119
K. A. Zhamakochyan, S. H. Sargsyan – Mathematical Model of Micropolar Elastic Thin Beams with Constrained Rotations and the Finite Element Method	125
G. G. Shekyan – Dynamics and Stability Fixed by One End in the Beam Ground	228
V. R. Barseghyan – Controllability of Stage by Stage Changing Linear Nonstationary Dynamic Systems	237
K. A. Karapetyan, S. Sh. Valesyan, N. S. Muradyan – The influence of the Hydrostatic Pressure and Axial Tension on the Resistance to Fracture of Glass-Plastic	

Tubes Subjected to Torsion	246
<i>S. H. Sargsyan</i> – To the Interpretation of the Theory of Reinforced (Layered) Elastic Media as a Moment Theory of Elasticity.....	287
<i>G. Y. Baghdasaryan</i> – Magnetoelastic Interactions Between a Magnetostrictive Ferromagnetic Plane with a Crack and a Constant Magnetic Field	297
<i>V. V. Tagvoryan</i> - On One Three-Dimensional Dynamic Problem of the Theory of Elasticity on the Forecast of Earthquakes	308
ELASTICITY THEORY	
<i>A. M. Sargsyan</i> – On Homogeneous Singular Problems of Elasticity Theory ...	134
<i>V. M. Belubekyan</i> – Conditions of Arising of Localized Instability in Plates on Elastic Basement	316
PHYSICS	
<i>R. H. Alanakyan</i> – Charged Higgs Bosons Production in Lepton-Antilepton Collisions	93
<i>R. H. Alanakyan</i> - Scalar Leptons Production in Lepton-Antilepton Collisions ...	254
CHEMICAL PHYSICS	
<i>A. S. Martirosyan, S. V. Tsarukyan, I. A. Vardanyan</i> – Heterogeneous Formation of C_2H_4 and C_2H_5OOH in the Gas-Phase Oxidation of C_2H_5CHO	142
GEOPHYSICS	
<i>L. A. Akhverdyan, R. A. Pashayan, L. V. Arutyunyan</i> – The Relationship between Variations in the Stress-Strain State of the Earth's Crust and Seismic Activity in Armenia	260
<i>A. M. Avetisyan, V. Yu. Burmin, J. K. Karapetyan, K. S. Ghazaryan</i> – Analysis of the Spitak Earthquake Aftershock Process Hypocenters Definition Results	321
ELECTROMECHANICS	
<i>G. S. Karayan, S. V. Gandilyan, A. H. Makaryan</i> – Some issues concerning the generalized electro physical modelling and calculation of optimal energy characteristics of electrodynamic mass accelerators	331
BIOORGANIC CHEMISTRY	
<i>V. O. Topuzyan, V. M. Ghazoyan</i> – 2,4-Disubstituted 5(4H)-Imidazolones: New Class of Cholinesterase Inhibitors	268
BIOCHEMISTRY	
<i>S. S. Hovakimyan, M. D. Safaryan, Sur. S. Hovakimyan, A. G. Melkonyan</i> – Metabolic Disorders of the Fractional Composition of Phospholipids in Patients with Abdominal Type of Tuberculosis	147
<i>Z. Kh. Paronyan, L. S. Grigoryan, H. A., Stepanyan, R. M. Srapionyan</i> – Influence of Proline-Rich Peptide PRP-1 on Fibrinolytic Activity of Rat Blood Plasma	155
NEUROCHEMISTRY	
<i>S. A. Ghazaryan, R. G. Paronikyan</i> – Lithium and Zinc Derivatives of Salicylidene - Amino Acids as New Neurotropic Drugs	160
MICROBIOLOGY	
<i>S. H. Ghazaryan, H. M. Stepanyan, R.V. Paronikyan, K. P. Grigoryan</i> – Antibacterial activity of Zn (II) salts of γ-aminobutyric acid derivatives (GABA)	165
<i>S. H. Ghazaryan, H. M. Stepanyan, R. V. Paronikyan, K. P. Grigoryan</i> – Antibacterial activity of Cu (II), Zn (II), Li Cation Containing Tryptophan Derivatives	273
PHYSIOLOGY	
<i>K. V. Kazaryan, M. H. Danielyan, R. G. Chibukhchyan, H. Kh. Mkrtchyan</i> –	

Activation of Pacemaker Rhythmogenesis of Ureters and Bladder with Histamine ...	170
BOTANY	
<i>L. L. Osipyan, Y. Y. Soghoyan</i> – Fungi of the Genus <i>Septoria</i> Causing Diseases in Medicinal Plants in the Republic of Armenia	178
<i>G. H. Vardanyan, H. K. Mkhitarian, Z. S. Vardanyan</i> – Problems of Preservation and Reproduction of Thenear Alpine Relict Dendrocenoses in the Gugark Region of Lori Province in RA	340
BOTANY, MICOLOGY	
<i>L. L. Osipyan, Y. Y. Soghoyan</i> – The Susceptibility of Red Book Plant Species to Pathogenic Micromycetes in the Republic of Armenia	351
HISTORY	
<i>A. S. Sahakyan</i> - Notices on the Scientific Biography of Gregory Partev.....	362