

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ  
 НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АРМЕНИИ

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր  
 Д О К Л А Д Ы

1995

Том 95 № 3

Խմբագրական կոլեգիա

Գ. Ա. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ, անվան. դիտ. բնկ-  
 նաժու (պատ. ֆարմազոլոգ), Է. Գ. ԱՅ-  
 ՐԻԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս,  
 Ա. Ա. ԹԱՎԱԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակա-  
 դեմիկոս, Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ,  
 ակադեմիկոս Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Հայաս-  
 տանի ԳԱԱ ակադեմիկոս (պատ. խրմ-  
 բագրի տեղակալ), Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ,  
 Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս, Գ. Մ.  
 ՍԵՆՆԱԿՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադե-  
 միկոս (պատ. խմբագիր), Մ. Լ. ՏԵՐ-  
 ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակա-  
 դեմիկոս, Վ. Թ. ՅԱՆԱՐՁՅԱՆ, Հայաս-  
 տանի ԳԱԱ ակադեմիկոս

Редакционная коллегия

Վ. Ա. ԱՄԲԱՐՑՄՅԱՆ, ակադեմիկ,  
 Գ. Ա. ԱՐՅՄԱՆՅԱՆ, կանդ. տեխնա-  
 կ (պատ. օրգանիզատոր), Յ. Գ. ԱՓՐԻ-  
 ԿՅԱՆ, ակադեմիկ ՀԱՄ Արմենիայի,  
 Վ. Օ. ԿԱԶԱՐՅԱՆ, ակադեմիկ ՀԱՄ  
 Արմենիայի (պատ. ակադ. օրգանիզատոր),  
 Գ. Ս. ՏԱՎԱԿՅԱՆ, ակադեմիկ ՀԱՄ Ար-  
 մենիայի, Դ. Մ. ՏԵՐԱԿՅԱՆ, ակադեմիկ  
 ՀԱՄ Արմենիայի (պատ. ակադ. օրգանիզատոր),  
 Ա. Ա. ԿԱԿԱՅԱՆ, ակադեմիկ ՀԱՄ Ար-  
 մենիայի, Մ. Լ. ԿԵՐՄԻՔԱԵԼՅԱՆ, ակա-  
 դեմիկ ՀԱՄ Արմենիայի, Վ. Վ. ՓԱ-  
 ՆԱՐԺՅԱՆ, ակադեմիկ ՀԱՄ Արմենիայի

«ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆ» ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ

ՄԱՔԾՄԱՏԻԿԱ

- Ռ. Ռ. Վարչամով — Ամբողջ թվերի բազմության կարգավորման մի եղանակի մասին 131
- Ռ. Ս. Մինասյան — Քերմային դաշտը կորագիծ նետածն մարմնում 141

ԱՌԱՑՊԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆ

- Լ. Ա. Աղալովյան — Անիզոտրույ էրկչերտի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակի բաշման մասին, երբ շերտերի միջև կոնտակտը ոչ լրիվ է 148

ՖԻԶԻԿԱ

- Վ. Ռ. Հաբուրյունյան — Սակտկեն սիլիցիումի լյումինեսցենցիայի և դրա նոր կիրառությունների մասին 151

ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՖԻԶԻԿԱ

- Ա. Ս. Կեոզյան — Երկմոլեկուլային քիմիական փոխարկումների տեսությունը թվանալիս S- օպերատորի ներկայացման շրջանակներում 156

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

- Կ. Ն. Սարգսյան — Հետերոգեն գործոնների դերը ացետալդեհիդի օքսիդացման ռեակցիայում կոնցենտրացիոն ինքնատատանումների գրգռման գործում 162

ԵՐԿՐԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Հ. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ — Նոր տվյալներ Հայաստանի օֆիոլիտային զոնաների մագմատիտների ձևավորման վերաբերյալ 168

ՍՆՑՍՄՈՂՈՔԻԱ

- Ռ. Ա. Փաշայան — Ստորերկրյա ջրերի ուժով առումնասիրությունները երկրաշարժերին նախորդող հիդրոգեոդինամիկ էֆեկտներ հայտնաբերելու նպատակով 171

ԱՉԱՌՆԵՐԻ ՄԵԽԱՆԻԿԱ

- Կ. Ի. Տեր-Ստեփանյան, Լ. Լ. Մաքեոսովա — Կավերի ստրուկտուրաների առաջացումը ցիկլային տեղաշարժող բեռնվածքի ժամանակ 174

ՄԵՔԵՆԱՇԻՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Ի. Մ. Հովակիմյան — Առարկայի ֆունկցիոնալ կազմակերպվածության սկզբունքները 178

ԿՆՆՍԱՐԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Լ. Վ. Կարաբաշյան, Գ. Լ. Հաբուրյունյան, Ա. Գ. Մխիթարյան — (ԱԴՖ-ոխրոզ) պոլիմերագի ակտիվացումը օլիգոդեգոսի նուկլեոտիդային կոմպլեքսներով 183

ԲԻՈՔԻՄԻԱ

- Ա. Ա. Սիմոնյան, Ռ. Ա. Սիմոնյան — Լակտատ և իդոցիտրատդեհիդրոգենազների ակտիվության հորմոնային կարգավորումը առնետների լյարդում հիպոթերմիայի դեպքում 188

- Տ. Ա. Ղաբաղյան, Է. Խ. Գասպարյան, Կ. Գ. Ղաբաղյան — Ֆիտոպրեպարատ Բրիոնիա ալբայի ազդեցությունը պարադոնտի հյուսվածքների մորֆոլոգիական առանձնահատկությունների վրա փորձարարական պայմաններում 192

ՀՆԼՄԻՆՏՈՂՈՔԻԱ

- Է. Ռ. Բադավի — Plagiorchis Luhe, 1899 (Plagiorchidae Luhe, 1901) սեռի նոր տեսակի տրեմատոդներ Հայաստանի և Եգիպտոսի շղիկներից 196

ԲՇԵԿԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- Լ. Հ. Ավագյան, Գ. Գ. Արհրունի — Մակերիկամների կեղևի փնջային շերտի անգրկառուցվածքի փոփոխությունները էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցությունից հետո 199

- Ա. Վ. Զիլիջյան, Գ. Գ. Բակալցյան, Ռ. Ս. Հովսեփյան, Ս. Ա. Ավագյան, Հ. Ա. Գովաթյան, Կ. Հ. Կիրակոսյան, Լ. Գ. Խաչատրյան — Լիմֆոցիտների կենսագործունեության արգասիքների ազդեցությունը հիպոթալամուս-հիպոֆիզ-մակերիկամային համակարգի վրա իմոբիլիզացիոն ստրեսի պայմաններում 207

ՀԻԶՈՂՈՔԻԱ

- Կ. Խ. Հակոբյան, Վ. Հ. Պողոսյան — Նորածին առնետների հյուսվածքի օրգանատիպիկ կոպտուրայում ուղեղիկի, զլիուղեղի կեղևի և կարմիր կորիզի նեյրոնների միջև ֆունկցիոնալ սինապտիկ կապերի ձևավորումը 209

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

- Р. Р. Варшамов — Об одном способе упорядочивания множества целых чисел . . . . . 131
- Р. С. Минасян — Тепловое поле в криволинейном стреловидном теле . . . . . 141

### ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- Л. А. Агаловян — К определению напряженно-деформированного состояния двухслойной анизотропной полосы при неполном контакте слоев . . . . . 146

### ФИЗИКА

- В. М. Арутюнян — О люминесценции пористого кремния и его новых применениях . . . . . 151

### ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

- А. С. Геворкян — Теория бимолекулярных химических реакций в рамках представления квантового S-оператора . . . . . 150

### ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- Г. И. Саргсян — Роль гетерогенных факторов в возбуждении концентрационных автоколебаний при окислении ацетальдегида . . . . . 162

### ГЕОЛОГИЯ

- Г. А. Казарян — Новые данные о формировании магматитов офиолитовых зон Армении . . . . . 168

### СЕЙСМОЛОГИЯ

- Р. А. Пашаян — Исследование режима подземных вод для выделения гидрогеодинамических эффектов, предшествующих землетрясениям . . . . . 171

### МЕХАНИКА ГРУНТОВ

- Г. И. Тер-Степанян, Л. Л. Матевосова — Структурообразование глины при циклической сдвигающей нагрузке . . . . . 174

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

- И. Р. Овакмян — Принцип функциональной организованности объектов конструкции . . . . . 178

### БИОЛОГИЯ

- Л. В. Карабашян, Д. Л. Арутюнян, А. Г. Мхитарян — Активация (АДФ-рибоза)полимеразы олигодезокси-нуклеотидными комплексами . . . . . 183

### БИОХИМИЯ

- А. А. Симонян, Р. А. Симонян — Гормональное регулирование активности лактат- и изоцитратдегидрогеназ в печени крыс при гипотермии . . . . . 188

- Т. А. Карагезян, Э. И. Гаспарян, К. Г. Карагезян — Морфологическая характеристика состояния тканей парадонта при использовании фитопрепарата Переступня белого в эксперименте . . . . . 192

### ГЕЛЬМИНТОЛОГИЯ

- Э. Б. Бадави — Новые виды трематод рода *Plagiogochis* Luhe, 1899 (*Plagiogochidae* Luhe, 1901) от летучих мышей Армении и Египта . . . . . 195

### МЕДИЦИНА

- Л. А. Авакян, Г. Г. Арцруни — Изменения ультраструктуры пучковой зоны коры надпочечников после воздействия электростатического поля . . . . . 199

- А. В. Зильфян, Г. Г. Бакуниц, Р. С. Овсепян, С. А. Авакян, Р. А. Довлатян, К. Г. Киракосян, Л. Г. Хачатрян — Действие продуктов жизнедеятельности лимфоцитов тимуса на активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы в условиях иммобилизационного стресса . . . . . 204

### ФИЗИОЛОГИЯ

- Г. Х. Акопян, В. И. Погосян — Формирование функциональных синаптических связей между нейронами мозжечка, коры головного мозга и красного ядра в новорожденной крысы в органотипической культуре нервной ткани . . . . . 209

## CONTENTS

### MATHEMATICS

R. R. Varshamov— On a method for ordering the set of integers . . . . . 131

R. S. Minaslan— Thermal field in curvilinear arrow-shaped body . . . . . 141

### THEORY OF ELASTICITY

L. A. Aghalovian— On definition of stress-strain state of two-layer anisotropic stripe when there is an incomplete contact between layers . . . . . 146

### PHYSICS

V. M. Aroutiounian— On the luminescence and new applications of porous silicon . . . . . 151

### CHEMICAL PHYSICS

A. S. Gevorkian— The theory of bi-molecular chemical reactions within the quantum S-operator representations . . . . . 156

### PHYSICAL CHEMISTRY

G. N. Sargslan— The role of heterogeneous factors in excitation of concentration auto-oscillation on acetaldehyde oxidation . . . . . 162

### GEOLOGY

H. A. Kazarian— New facts of forming magmatites of Armenian ophiolitic zones . . . . . 168

### SEISMOLOGY

P. A. Pashaian— Investigation the regime of underground water for emission hydrogeodynamic effects preceding earthquakes . . . . . 171

### SOIL MECHANICS

G. I. Ter-Stepanian, L. L. Matevosova— Clay structure-building during cyclic tangential loading . . . . . 174

### MECHANICAL ENGINEERING

I. R. Hovakimian— The principle of functional organization of mechanical construction . . . . . 178

### ZOOLOGY

L. V. Karabashian, D. L. Harutunian, A. G. Mkhitarian— Activation of (ADP ribose) polymerase by complexes of oligodeoxynucleotides . . . . . 183

### BIOCHEMISTRY

A. A. Simonian, R. A. Simonian— Hormonal regulation of lactate- and isocitrate dehydrogenase activity in rat liver at hypothermia . . . . . 188

T. A. Karageuzlan, E. I. Gasparian, K. G. Karageuzian— Morphological characterization of paradental tissues under the experimental applications of phytopreparation Bryonia Alba L. . . . . 192

### HELMINTOLOGY

E. B. Badawy— New Trematode species of the genus Plagiorchis Luhe, 1899 (Plagiorchidae Luhe, 1901) from bats of Armenia and Egypt . . . . . 195

### MEDICINE

L. A. Avakian, G. G. Arccruni— The ultrastructure exchanges of adrenal cortex bunch, zone after the influence of electrostatic field . . . . . 199

A. V. Zilflan, G. G. Bakunts, R. S. Hovseplan, C. A. Avakian, R. A. Davlatian, K. G. Kirakosian, L. G. Khachatryan— The effect of products of living activity of thymus lymphocytes on the activity of hypothalamo-hypophysial adrenal system in condition of immobilisative stress . . . . . 204

### PHYSIOLOGY

G. Kh. Akopian, V. I. Pogossian— Formation of functional synaptic connections in organotypic cultures of cerebellum, red nucleus and cerebral cortex of newborn rat . . . . . 209

УДК 511.5

Академик НАН Армении Р. Р. Варшамов

### Об одном способе упорядочивания множества целых чисел

(Представлено 20/1 1994)

С целью расширения возможностей современной математики вводится новый способ упорядочивания множества целых чисел.

Символ  $\sum_{u=a}^b f(u)$ , где  $a < b$  — целые числа, означает

$$f(a) + f(a+1) + \dots + f(b).$$

Для  $a > b$  сумма  $\sum_{u=a}^b$  не определена, под этим обычно понимается

нуль. Зададимся, однако, вопросом определить сумму  $\sum_{u=a}^b$  с произ-

вольными пределами суммирования и при этом так, чтобы ее функциональная зависимость при  $a \leq b$  сохранила свое аналитическое выражение, т. е. чтобы метод был регулярным.

Ниже мы дадим новую формулировку определения суммы, придав этому понятию, по возможности, более широкое освещение. Для этой цели упорядочим множество целых чисел  $N$  следующим образом.

Для любой различной пары элементов  $a$  и  $b \in N$  будем считать, что  $a$  предшествует  $b$  и писать  $b > \equiv a$ , если

$$a^{-1} > b^{-1}*$$

Легко видеть, что при таком способе упорядочивания всякое положительное число (включая и 0) предшествует отрицательному числу, а само множество  $N$  имеет как первый элемент 0, так и последний элемент  $-1$ , т. е.  $N = [0, 1, 2, \dots, -3, -2, -1]**$ , и кроме того соблюдаются следующие два обязательных условия «аксиомы порядка»:

отношения  $b > \equiv a$  и  $a > \equiv b$  исключают друг друга;

если  $b > \equiv a$  и  $c > \equiv b$ , то  $c > \equiv a$  (транзитивность).

Условимся в дальнейшем обозначать буквами  $n, m, k$  натуральные числа, а  $a, b$  и  $c$  целые числа.

\* Условно считая, что  $0^{-1} = \infty$ .

\*\* В ряде случаев множество  $N$  целесообразно рассматривать как циклически замкнутое.

Пусть функция  $f(x)$  вещественного переменного определена в каждой точке  $N$  и пусть  $N_{a,b}$  является частью\* множества  $N$ , означающей  $[a, b]$ , если  $b \geq a$ , и  $N \setminus (b, a)$ , т. е.  $[a, -1] \cup [0, b]$ , если  $a > b$ .

Определение. Для любой пары целых чисел  $a$  и  $b$

$$\sum_{u=a}^b f(u) = \sum_{u \in N_{a,b}} f(u).^{**}$$

Нетрудно показать, что данное определение суммы удовлетворяет всем указанным выше требованиям. Аналогичным образом, очевидно, можно определить также и произведение  $\prod$  с произвольными пределами  $a$  и  $b$ . Придавая символу  $\sum_u$  числовой смысл, потребуем выполнения некоторых весьма естественных условий (системы аксиом):

1) если  $S_n = \sum_{u=a}^n f(u) \forall n$ , то  $\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \sum_{u=a}^{\infty} f(u)^{***}$ ;

2) для любой пары чисел  $b \geq a$  имеет место равенство

$$f(b+1) - f(a) = \sum_{u=a}^b f(u+1) - f(u);$$

3) если  $G = [a, b] \cup [a_1, b_1]$  и  $[a, b] \cap [a_1, b_1] = \emptyset^{****}$ ,

$$\sum_{u \in G} f(u) = \sum_{u=a}^b f(u) + \sum_{u=a_1}^{b_1} f(u).$$

Примечание 1. Если  $a > b$ , то по определению  $N_{a,b} = [a, -1] \cup [0, b]$ , где  $[a, -1] \cap [0, b] = \emptyset$ , и, в силу аксиомы 3

$$\sum_{u=a}^b f(u) = \sum_{u=a}^{-1} f(u) + \sum_{u=0}^b f(u).$$

Утверждение 1. Для всякой тройки чисел  $a, b$  и  $c$ , удовлетворяющей условию  $b \in N_{a,c}$ , справедливо равенство

$$\sum_{u=a}^c f(u) = \sum_{u=a}^b f(u) + \sum_{u=b+1}^c f(u)^{*****}.$$

Утверждение 2. Для любой пары чисел  $n$  и  $m$

$$\sum_{u=n}^m f(u) = \sum_{u=-m}^{-n} f(-u). \quad (1)$$

Лемма 1. Пусть функция  $F(x)$  является решением системы уравнений

\* Т. е. подмножество множества  $N$ , взаимный порядок которого с  $N$  одинаков.

\*\* Соблюдая установленный порядок элементов  $N_{a,b}$ .

\*\*\* Знак  $n \rightarrow \infty$  означает, что  $n$  неограниченно возрастает, не меняя знака.

\*\*\*\* Где  $\emptyset$  символ пустого множества.

\*\*\*\*\* Штрих при знаке суммы означает, что  $\sum_{u=b+1}^c f(u) = 0$ , если  $b = c$ .



Примечание 3. Из формулы (5), используя (1) и (4), находим

$$\sum_{u=1}^{-n} f(u) = - \sum_{u=0}^{n-1} f(-u) \quad \forall n \quad (6)$$

и

$$\sum_{u=1}^{\infty} f(u) = - \sum_{u=0}^{\infty} f(-u). \quad (6')$$

Утверждение 4. Для всякой заданной на множестве  $\mathbb{N}$  функции  $f(x)$ , удовлетворяющей условию  $\prod_{u=1}^0 f(u) = 1$ , справедливо равенство

$$\prod_{u=0}^{-n} f(u) = \left( \prod_{u=1}^{n-1} f(-u) \right)^{-1}. \quad (7)$$

Приведем несколько очевидных следствий, вытекающих из трех предыдущих формул.

Покажем вначале, используя (6), что все нечетные числа Бернулли  $B_k$  (исключая  $B_1 = 1/2$ ) равны нулю. В самом деле, так как функция  $f(x) = x^k$  регулярна, поскольку  $B_k(n) - B_k(n-1) = n^k$ , где

$$B_k(n) = \frac{1}{k+1} \sum_{u=0}^k C_{k+1}^u B_0 n^{k+1-u} = \sum_{u=1}^0 u^k \text{ многочлен Бернулли, то в силу}$$

$$(7) \quad B_k(-n) = (-1)^{k+1} B_k(n-1). \text{ Стало быть}$$

$$B_k(n) - (-1)^{k+1} B_k(-n) = \frac{2}{k+1} \sum_{u=0}^{[2^{-1}(k-1)]} C_{k+1}^{2u+1} B_{2u+1} n^{k-2u} = n^k,$$

$$\text{т. е. } B_1 = 1/2 \text{ и } B_{2u+1} = 0, \quad u = 1, 2, \dots$$

Опираясь далее на (7), распространим на множество целых чисел значения аргумента функции  $n!$ , определенной лишь для натуральных  $n$ .

Пусть  $\lambda(a) = \prod_{u=1}^a u = a! \quad \forall a$ . Тогда, очевидно  $\lambda(0) = \prod_{u=1}^0 u = 0! = 1$

и, следовательно, функция  $f(u) = u$  удовлетворяет условию утверждения 4, что позволяет применить к ней формулу (7). Подставляя в (7)  $f(u) = u$  можно заметить, что функция  $\lambda(a)$ , аналогично гамма-функции, в точках  $a = -n, \forall n$  имеет простые полюса с вычетом, равным  $(-1)^{n-1} \times$

$\frac{1}{(n-1)!}$ . Используя это обстоятельство, в частности, получим

$$C_{-n}^m = (-1)^m C_{n+m-1}^m \quad \text{и} \quad C_{-n}^{-m} = (-1)^{m+n} C_{m-1}^{n-1}. \quad ((1) \text{ с. 13})$$

И, наконец, применяя (6'), можно сформулировать следующий важный в приложении факт:

Теорема 1. Для любой четной регулярной функции  $f(x)$  справедливо равенство

$$\sum_{u=1}^{\infty} f(u) = - \frac{f(0)}{2}, \quad (8)$$

независимо от того, сходится или нет, в обычном смысле, ряд (8).

Определение 3. Мы будем говорить, что бесконечная последовательность  $F(1), F(2), \dots, F(n), \dots$  (функция целочисленного аргу-

мента) имеет своим пределом число  $A$ , и писать  $\lim_{n \rightarrow \infty} F(n) = A$ , если

сумма ряда  $\sum_{u=1}^{\infty} f(u)$ , где  $f(u) = F(u) - F(u-1)^*$ , равна  $A$ , т. е.

$$F(1) + (F(2) - F(1)) + (F(3) - F(2)) + \dots = A.$$

Отметим, что данное определение, в частности совпадает с классическим определением предела последовательности, сходящейся в обычном смысле, и тем самым обобщает понятия предела на более широкий класс функций.

Опираясь на аксиому 1, можно вывести следующие два правила пределов:

I. Предел постоянной величины равен этой же величине, т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} A = A.$$

II. Предел алгебраической суммы ограниченного числа последовательностей равен алгебраической сумме их пределов\*\*, т. е. в символах

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{u=1}^k \alpha_u F_u(n) = \sum_{u=1}^k \alpha_u \lim_{n \rightarrow \infty} F_u(n),$$

где  $\alpha_u$  — вещественные числа.

Сводя вопрос сходимости числовых последовательностей к сумме соответствующих им рядов, из теоремы 1 можно вывести ряд интересных следствий.

Теорема 2. Всякая нечетная на множестве  $N_1 = N + 1/2^{***}$  функция  $\zeta(x)$  удовлетворяет условию

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \zeta(2an + a) = 0,$$

где  $a$  — вещественное число.

Теорема 3. Всякая четная на множестве  $N_1$  функция  $\Psi(x)$  удовлетворяет условию

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (-1)^n \Psi(2an + a) = 0.$$

Теорема 4. Для любой регулярной функции  $f(x)$ , удовлетворяющей условию  $f(-x) = f(x+1)$ , справедливо равенство

$$\sum_{u=1}^{\infty} f(u) = -1/2 \lim_{n \rightarrow \infty} f(-n).$$

Имеет место также и более общая

Теорема 5. Для всякой регулярной функции  $f(x)$ , удовлетворяющей условию  $f(-x) = f(x+a)$ , где  $a$  любое целое фиксированное число, справедливы равенства

$$\sum_{u=1}^{\infty} f(u) = -1/2 \left( \sum_{u=1}^{\infty} \lim_{n \rightarrow \infty} f(n+u) - \sum_{u=1}^{a-1} f(u) \right),$$

если  $a > 0$ , и

\* Полагая  $F(0) = 0$ .

\*\* В предположении разумеется, что предел каждой функции в отдельности существует.

\*\*\* Т. е. множество всевозможных чисел вида  $a + 1/2$ .

$$\sum_{u=1}^{\infty} f(u) = 1/2 \left( \sum_{u=0}^{\infty} \lim_{n \rightarrow \infty} f(n-u) - \sum_{u=0}^{\infty} f(-u) \right),$$

если  $a \leq 0$ .

Теорема 6. Всякий многочлен  $f(x)$  над полем вещественных чисел удовлетворяет условию

$$\lim_{n \rightarrow \infty} (-1)^n f(n) = 0. \quad (9)$$

Теорема 7. Всякий многочлен  $f(x)$  над полем вещественных чисел удовлетворяет равенству

$$\lim_{n \rightarrow \infty} f(n) = - \int_0^1 f(x) dx. \quad (10)$$

Вернемся вновь к многочленам Бернулли и докажем два хорошо известных факта относительно дзета-функции Римана, без добавочных представлений о функции комплексного переменного и аналитическом продолжении.

С одной стороны, согласно (6)

$$\frac{1}{k} B_k(-1) = \frac{1}{k(k+1)} \sum_{u=0}^k (-1)^{k+1-u} C_{k+1}^u B_u = (-1)^{k+1} \frac{1}{k} \sum_{u=0}^0 u^k = 0^*.$$

С другой стороны, в силу (10)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} B_{k-1}(n) = - \int_0^1 B_{k-1}(x) dx = \frac{1}{k(k+1)} \sum_{u=1}^{k-1} (-1)^{u+k} C_{k+1}^u B_u = \sum_{u=1}^{\infty} u^{k-1}.$$

Складывая между собой два последних равенства, получим

$$\sum_{u=1}^{\infty} u^{k-1} = - \frac{B_k}{k} \quad k=1, 2, \dots \quad (1^*), \text{ с. 27}.$$

Еще проще, используя (9) и формулу

$$\frac{(-1)^{n-1}}{k} \sum_{u=1}^k C_k^u (2^u - 1) B_u n^{k-u} + \frac{(2^k - 1) B_k}{k} = \sum_{u=1}^n (-1)^{n-1} u^{k-1},$$

находим

$$\sum_{u=1}^{\infty} (-1)^{n-1} u^{k-1} = \frac{(2^k - 1) B_k}{k} \quad k=1, 2, \dots \quad (2^*), \text{ с. 40}$$

Опираясь на (10) и известное разложение функции  $\sin(x+1/2)$  в степенной ряд, можно показать, что

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sin(n+1/2) = 0,$$

и тем самым косвенно подтвердить справедливость теоремы 2. Действительно, известно, что

\* Что фактически является формулой Луавра.

$$\sin(x+1/2) = \sin 1/2 + x \cos 1/2 - \frac{x^2 \sin 1/2}{2!} - \frac{x^3 \cos 1/2}{3!} + \dots$$

Поэтому, согласно II\* и формуле (10), будем иметь

$$\begin{aligned} \lim_{n \rightarrow \infty} \sin(n+1/2) &= \sin 1/2 - \frac{\cos 1/2}{2!} - \frac{\sin 1/2}{3!} + \frac{\cos 1/2}{4!} + \dots = \\ &= \sin 1/2 \cdot \sin 1 + \cos 1/2 (\cos 1 - 1) = 0 \end{aligned}$$

т. е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sin(n+1/2) = 0.$$

И, наконец, взяв арифметическую прогрессию

$$S_n = \sum_{u=1}^n a_u,$$

$$\text{где } a_m = a_1 + (m-1)d, \quad m=1, 2, \dots, n, \quad S_n = \left( \frac{2a_1 + (n-1)d}{2} \right) n,$$

и переходя к пределу, используя при этом равенство (10), получим

$$\lim_{n \rightarrow \infty} S_n = - \int_0^{-1} \left( \frac{2a_1 + (x-1)d}{2} \right) x \, dx = \frac{5d - 6a_1}{12}.$$

т. е.

$$\sum_{u=1}^{\infty} a_u = \frac{5d - 6a_1}{12}.$$

В частности,

$$\sum_{u=1}^{\infty} u = 1 + 2 + 3 + \dots = -\frac{1}{12}, \quad ((^*), \text{ с. 410})$$

или

$$\sum_{u=1}^{\infty} (2u-1) = 1 + 3 + 5 + \dots = \frac{1}{3} \quad ((^*), \text{ с. 426})$$

и т. д.

Прямым следствием теорем 3 и 6 является следующая

**Теорема 8.** Пусть  $A(x)$  и  $B(x)$  две заданные на множестве  $\mathbb{N}$  функции, удовлетворяющие условию  $A(x) - B(x) = f(x) + \Psi'(x+1/2)$ , где  $f(x)$  — многочлен над полем вещественных чисел,  $\Psi'(x)$  — любая функция, четная на множестве  $\mathbb{N}_1$ . И пусть функция  $\mu(u)$  принимает на множестве  $\mathbb{N}$  значения  $A(x)$ , если  $2|x$ , и  $B(x)$  в противном случае. Тогда

\* Формально требующее добавочно разъяснений, поскольку число слагаемых не ограничено.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mu(n) = \frac{1}{2} \lim_{n \rightarrow \infty} (A(n) + B(n)). \quad (11)$$

Используя теорему 8, можно получить следующее равенство:

$$\sum_{u=1}^{\infty} (-1)^{u-1} a_u = \frac{2a_1 - d}{4},$$

где, как и прежде,  $a_u = a_1 + (u-1)d$ ,  $u = 1, 2, \dots$   
Так, например,

$$\sum_{u=1}^{\infty} (-1)^{u-1} u = 1 - 2 + 3 - 4 + \dots = \frac{1}{4}, \quad ((^3), \text{ с. } 16)$$

или

$$\sum_{u=1}^{\infty} (-1)^{u-1} (2u-1) = 1 - 3 + 5 - 7 + \dots = 0. \quad ((^3), \text{ с. } 15).$$

Теорема 9. Для всякого вещественного числа  $g \neq 1$  имеет место равенство

$$\sum_{u=0}^{\infty} g^u = \frac{1}{1-g}.$$

В частности

$$\sum_{u=0}^{\infty} 2^u = 1 + 2 + 4 + \dots = -1 \quad ((^3), \text{ с. } 30)$$

или

$$\sum_{u=0}^{\infty} (-1)^u 2^u = 1 - 2 + 4 - \dots = \frac{1}{3} \quad ((^3), \text{ с. } 23)$$

Теорема 10. Для любого целого числа  $a$  и вещественного  $|x| < 1^*$  справедливо равенство

$$(1+x)^a = \sum_{u=0}^{\infty} \frac{\lambda(a)}{\lambda(u)\lambda(a-u)} x^u = 1 + C_1^a x + C_2^a x^2 + \dots$$

Так, например,

$$(1+1)^{-1} = 1 - 1 + 1 - \dots = 1/2, \quad ((^3), \text{ с. } 15)$$

$$(1+1)^{-2} = 1 - 2 + 3 - 4 + \dots = 1/4, \quad ((^3), \text{ с. } 16)$$

$$(1+1)^{-3} = 1 - 3 + 6 - 10 + \dots = 1/8. \quad ((^3), \text{ с. } 124)$$

В заключение рассмотрим один из исторических парадоксов, возникший в результате дискуссии между Эйлером и Н. Бернулли по поводу известного принципа Эйлера <sup>(3)</sup> о том, что «сумма каждого ряда есть значение того конечного выражения, из разворачивания которого возникает этот ряд». Бернулли возражал против этого утвержде-

\* Это ограничение не существенно.

ния, заявляя, что один и тот же ряд может «возникнуть» из двух различных «выражений», которые доставляли бы различные значения. Впоследствии Кайе заметил, что ряд

$$1-1+1-1+\dots \quad (12)$$

возникает, если положить  $x=1$  в разложение

$$\frac{\theta_m(x)}{\theta_n(x)} = 1 - x^m + x^n - x^{n+m} + x^{2n} - \dots \quad (13)$$

при любых  $m$  и  $n$  ( $m < n$ ), где  $\theta_m(x) = 1 + x + \dots + x^{m-1}$  что, казалось бы, позволяет, в силу принципа Эйлера приписывать ряду (12) любую сумму  $m/n$ . Однако это не так. Действительно, если формулу (13) рассматривать как результат деления многочлена  $\theta_m(x)$  на  $\theta_n(x)$ , то тогда очевидно, что для любого числа  $k$  будет иметь место разложение

$$\frac{\theta_m(x)}{\theta_n(x)} = \sum_{u=0}^{k-1} (-1)^u x^{l(u)} + R_k(x) x^{l(k)}, \quad (14)$$

где  $l(u) = n \left\lfloor \frac{u}{2} \right\rfloor + 2m \left\{ \frac{u}{2} \right\}$  и  $R_k(x) = (-1)^k \frac{\theta_v(x)}{\theta_n(x)}$ ,  
 $v = m + (2n - 4m) \left\{ \frac{k}{2} \right\}$ .

Полагая в (14)  $x=1$  и переходя к пределу, мы получим

$$\frac{m}{n} = \sum_{u=1}^{\infty} (-1)^{u-1} + \lim_{k \rightarrow \infty} R_k(1). \quad (15)$$

Но выражение  $R_k(1)$  как функция от переменного  $k$  принимает значение  $\frac{m}{n}$ , если  $2 \mid k$ , и  $\frac{m-n}{n}$  в противном случае. Следовательно, в силу (11) будем иметь

$$\lim_{k \rightarrow \infty} R_k(1) = 1/2 \lim_{k \rightarrow \infty} \left( \frac{m-n}{n} + \frac{m}{n} \right) = \frac{2m-n}{2n}$$

или согласно (15)

$$\frac{m}{n} - \frac{2m-n}{2n} = \frac{1}{2} = \sum_{u=1}^{\infty} (-1)^{u-1} = 1-1+1-1+\dots$$

Стало быть во всех случаях, т. е. при любых значениях  $n$  и  $m$ , сумма ряда (12) равна  $1/2$ , а парадокса тут фактически никакого нет.

Рассмотренный нами пример показал, что оба из спорящих—и Эйлер, и Н. Бериулли фактически были неправы. Однако для разрешения их спора Эйлеру достаточно было лишь уточнить свой принцип следующим образом:

Сумма всякого ряда есть значение того конечного выражения, из развертывания которого возникает этот ряд, минус значение предела его добавочного члена, и тогда ему, очевидно, уже никто не смог бы

возразить. Однако надо учесть и то, что вычислять пределы неограниченных или колеблющихся функций в то время еще не умели.

З а к л ю ч е н и е. Данная работа фактически была предвосхищена Валлисом и Эйлером. «В одном случае Валлис из неравенства  $\frac{1}{n+1} < \frac{1}{n} < \frac{1}{n-1}$  для натуральных чисел заключил, что  $\frac{1}{2} < \frac{1}{1} < \frac{1}{0} < \frac{1}{-1} < \frac{1}{2}$  т. е.

что отрицательные числа больше бесконечности. Эту же точку зрения позднее высказал и Эйлер... показав в «Основаниях дифференциального исчисления», что положительные и отрицательные числа связаны переходом через бесконечность» ((<sup>4</sup>), с. 18). Это привело к открытиям, представляющим собой знания качественно нового характера, которые позволяют: вычислять пределы неограниченных и колеблющихся функций, с единых позиций суммировать бесконечные ряды и т. д. и кроме того свидетельствовать о том, что пространство является бесконечно замкнутым и конечным. Аналогичную мысль (правда, из других соображений) высказал Риман (1854).

Все основные результаты статьи выглядят несколько необычно и даже кажутся абсурдными. Однако их нельзя опровергнуть, поскольку они не приводят к противоречию в строгом математическом смысле, а все их многочисленные следствия и приложения в различные разделы математики вполне конкретны и реальны. И тем не менее все они были перепроверены на обширном аналитическом материале, и все они без исключения оказались верными. Естественно предположить, что верными будут также и другие результаты, полученные аналогичным путем, а наши действия и рассуждения — обоснованными.

Институт проблем информатики и автоматизации НАН Армении

#### Ռ. Ռ. ՎԱՐՇԱՄՈՎ

### Ամբողջ թվերի բազմության կարգավորման մի եղանակի մասին

Ամբողջ թվերի բազմության կարգավորման մի նոր եղանակ է տրրվում, որը բերում է ոչ պարադիգմալ արդյունքների, այսինքն այնպիսի նոր գիտական փաստերի հայտնագործման, որոնք տրամաբանորեն չեն հետևի վում գոյություն ունեցող տեսություններից (պարադիգմներից), չեն տեղավորվում նրանցում և չեն կարող բացատրվել նրանց օգնությամբ:

Թվային անվերջ հաջորդականությունների սահմանի հասկացողության նոր, ավելի լայն մեկնարանություն է բերվում, որը հնարավորություն է տալիս գտնել անսահմանափակ և տատանվող ֆունկցիաների սահմաններ՝ միասնական դիրքերից ելնելով հաշվել տարամետ շարքերի գումարներ և այլն:

Հողվածում դիտարկված են տարամետ շարքերին վերաբերվող էլլերի սկզբունքի հետ կապված Կայսի պարադոքսը, ինչպես նաև մի շարք կոնկրետ օրինակներ:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> Дж. Рвордан, Введение в комбинаторный анализ, М., ИЛ, 1963. <sup>2</sup> Е. К. Титчмаркс, Теория дзета-функции Римана, М., ИЛ, 1953. <sup>3</sup> Г. Харди, Расходящиеся ряды, М., ИЛ, 1951. <sup>4</sup> Г. Вилейтнер, История математики от Декарта до середины XIX столетия, М., Наука, 1966.

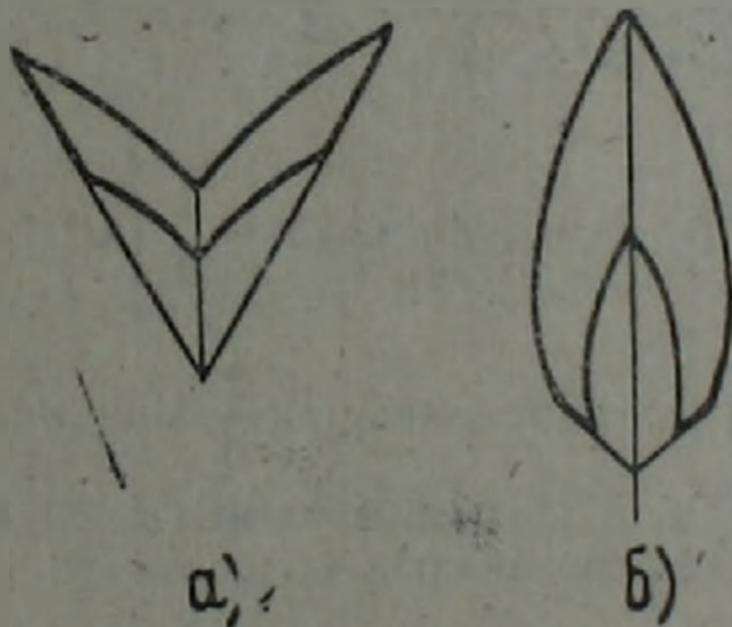
УДК 517.958

Р. С. Минасян

Тепловое поле в криволинейном стреловидном теле

(Представлено чл.-корр. НАН Армении А. Б. Нерсесяном 8/IV 1994)

Рассмотрим плоское стационарное тепловое поле в цилиндрическом теле, ограниченном поверхностями  $r=R_1e^{ωφ}$ ,  $r=R_2e^{ωφ}$  при  $0 ≤ φ ≤ φ_1$  и  $r=R_1e^{ω(2π-φ)}$ ,  $r=R_2e^{ω(2π-φ)}$  при  $2π-φ_1 ≤ φ < 2π$ , а также плоскостями  $φ=φ_1$ ,  $φ=2π-φ_1$  (рис., а при  $ω > 0$  и рис., б при  $ω < 0$ ). Предполагаем тепловое поле симметричным относительно оси  $φ=0$ . Функция  $U(r, φ)$  распределения температуры удовлетворяет уравнению ((1), с. 187)



$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{2} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} = -\frac{1}{\lambda} W(r, \varphi) \tag{1}$$

и граничным условиям

$$U(R_1e^{ωφ}, φ) = S_0(φ), \quad U(R_2e^{ωφ}, φ) = S_1(φ); \quad (0 ≤ φ ≤ φ_1);$$

$$U(r, φ) = T(r); \quad \frac{\partial U}{\partial φ} \Big|_{φ=0} = 0. \tag{2}$$

Здесь  $λ$  — коэффициент теплопроводности;  $W(r, φ)$  — интенсивность внутренних источников тепла. Предполагаем, что  $S_0(φ)$ ,  $S_1(φ)$ ,  $T(r)$  непрерывны в соответствующих областях и обладают почти повсюду производной с ограниченной вариацией, причем  $S_0(φ_1) = T(R_1)$ ;  $S_1(φ_1) = T(R_2)$ .

Прежде чем перейти к решению задачи, преобразуем систему координат, обозначив  $re^{-\omega r} = R_1 e^{\sqrt{1+\omega^2}\xi}$ ;  $\varphi = \eta$ . Тогда функция  $U^*(\xi, \eta) = U(R_1 \exp(\sqrt{1+\omega^2}\xi + \omega\eta), \eta)$ , определенная в области

$$(0 \leq \xi \leq \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2}} \ln \frac{R_2}{R_1}; \quad 0 \leq \eta \leq \Phi),$$

будет удовлетворять уравнению

$$\frac{\partial^2 U^*}{\partial \xi^2} - 2\alpha \frac{\partial^2 U^*}{\partial \xi \partial \eta} + \frac{\partial^2 U^*}{\partial \eta^2} = -\frac{1}{\lambda} W^*(\xi, \eta) \quad (3)$$

и граничным условиям

$$U^*(0, \eta) = S_0(\eta); \quad U^*(d, \eta) = S_1(\eta); \quad U^*(\xi, \Phi) = T^*(\xi); \quad \left( \frac{\partial U^*}{\partial \eta} - \alpha \frac{\partial U^*}{\partial \xi} \right) \Big|_{\eta=0} = 0. \quad (4)$$

Здесь

$$\alpha = \frac{\omega}{\sqrt{1+\omega^2}}; \quad d = \frac{1}{\sqrt{1+\omega^2}} \ln \frac{R_2}{R_1}; \quad T^*(\xi) = T(R_1 \exp(\sqrt{1+\omega^2}\xi + \omega\Phi)); \quad (5)$$

$$W^*(\xi, \eta) = R_1^2 \exp(2\sqrt{1+\omega^2}\xi + 2\omega\eta) W(R_1 \exp(\sqrt{1+\omega^2}\xi + \omega\eta), \eta).$$

Аналогично ((2), с. 145), решение задачи представим одновременно в виде двух разложений в ряд:

$$U^*(\xi, \eta) = \sum_{k=1}^{\infty} f_k(\xi) \sin \gamma_k \eta = \frac{G_0(\xi)}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} G_k(\xi) \cos \gamma_k \eta, \quad (6)$$

где

$$\gamma_k = \frac{k\pi}{d}; \quad f_k(\xi) = \frac{2}{d} \int_0^d U^*(\xi, \eta) \sin \gamma_k \eta d\eta; \quad G_k(\xi) = \frac{2}{d} \int_0^d U^*(\xi, \eta) \cos \gamma_k \eta d\eta.$$

Умножая уравнение (3) соответственно на  $\frac{2}{d} \sin \gamma_k \eta d\eta$  и  $\frac{2}{d} \cos \gamma_k \eta d\eta$  и интегрируя по  $\eta$  от 0 до  $d$ , для определения  $f_k(\xi)$  и  $G_k(\xi)$  получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений

$$f_k''(\xi) + 2\alpha \gamma_k G_k'(\xi) - \gamma_k^2 f_k(\xi) = -\frac{2}{d} p_k(\xi), \quad (7)$$

$$G_k''(\xi) - 2\alpha \gamma_k f_k'(\xi) - \gamma_k^2 G_k(\xi) = -\frac{2}{d} q_k(\xi),$$

Здесь обозначено

$$p_k(\xi) = \frac{1}{\lambda} \int_0^d W^*(\xi, \eta) \sin \gamma_k \eta d\eta + \gamma_k [S_0(\xi) - (-1)^k S_1(\xi)]; \quad (8)$$

$$q_k(\xi) = \frac{1}{\lambda} \int_0^d W^*(\xi, \eta) \cos \gamma_k \eta d\eta + 2\alpha [S_0'(\xi) - (-1)^k S_1'(\xi)] - S_2(\xi) + (-1)^k S_3(\xi);$$

$$S_2(\xi) = \frac{\partial U^*}{\partial \eta} \Big|_{\eta=0};$$

$$S_3(\xi) = \frac{\partial U^*}{\partial \eta} \Big|_{\eta=d}.$$

Решая уравнения (7) и удовлетворяя соответствующим граничным условиям (4), для  $f_k(\xi)$  и  $G_k(\xi)$  получим соответствующие выражения:

$$f_k(\xi) = \frac{2}{v\gamma_k d \operatorname{ch} v\gamma_k b} \left\{ \operatorname{sh} v\gamma_k (b-\xi) \left[ \int_0^\xi (p_k(t) \cos \alpha\gamma_k (\xi-t) - q_k(t) \operatorname{sh} \alpha\gamma_k (\xi-t) \operatorname{ch} v\gamma_k t) dt - \right. \right. \\ \left. \left. - \alpha (S_0(0) - (-1)^k S_1(0)) \operatorname{sh} \alpha\gamma_k \xi \right] + \operatorname{ch} v\gamma_k \xi \left[ \int_\xi^b (p_k(t) \cos \alpha\gamma_k (t-\xi) + \right. \right. \\ \left. \left. + q_k(t) \operatorname{sh} \alpha\gamma_k (t-\xi) \operatorname{sh} v\gamma_k (b-t)) dt + v\gamma_k \int_0^d T^*(\eta) \sin \gamma_k (\eta + ab - 2\xi) d\eta \right] \right\}; \quad (9)$$

$$G_k(\xi) = \frac{2}{v\gamma_k d \operatorname{ch} v\gamma_k b} \left\{ \operatorname{sh} v\gamma_k (b-\xi) \left[ \int_0^\xi (p_k(t) \operatorname{sh} \alpha\gamma_k (\xi-t) + \right. \right. \\ \left. \left. + q_k(t) \cos \alpha\gamma_k (\xi-t) \operatorname{ch} v\gamma_k t) dt + \alpha (S_0(0) - (-1)^k S_1(0)) \cos \alpha\gamma_k \xi \right] - \right. \\ \left. - \operatorname{ch} v\gamma_k \xi \left[ \int_\xi^b (p_k(t) \operatorname{sh} \alpha\gamma_k (t-\xi) - q_k(t) \cos \alpha\gamma_k (t-\xi)) \operatorname{sh} v\gamma_k (b-t) dt - \right. \right. \\ \left. \left. - v\gamma_k \int_0^d T^*(\eta) \cos \gamma_k (\eta + ab - a\xi) d\eta \right] \right\};$$

$$G_0(\xi) = \frac{2}{d} \left\{ (b-\xi) \left[ \int_0^\xi q_0(t) dt + \alpha (S_0(0) - S_1(0)) \right] + \int_\xi^b q_0(t) (b-t) dt - \right. \\ \left. - \int_0^d T^*(\eta) d\eta \right\},$$

где  $v = \sqrt{1-\alpha^2}$ . В выражения (9) для  $f_k(\xi)$  и  $G_k(\xi)$  входят неизвестные функции  $S_2(\xi)$  и  $S_3(\xi)$ . Для их определения потребуем чтобы вторым представлением (6) функции  $U^*(\xi, \eta)$  также выполнялись условия на  $\eta=0$  и  $\eta=d$ :

$$\frac{Q_0(\xi)}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} Q_k(\xi) = S_0(\xi); \quad \frac{G_0(\xi)}{2} \sum_k + (-1)^k G_k(\xi) = S_1(\xi). \quad (10)$$

Умножим оба уравнения (10) на  $\frac{2}{b} \cos \delta_j \xi d\xi$ , где  $\delta_j = \left(j - \frac{1}{2}\right) \frac{\pi}{b}$ , и

проинтегрируем от 0 до b. При этом, вследствие равномерной сходимости рядов, входящих в левые части (10), возможна перестановка знаков суммы и интеграла. Учитывая (7) и (4), после некоторых преобразований для коэффициентов Фурье функций  $S_2(\xi)$  и  $S_3(\xi)$  получим следующие выражения:

$$a_j^{(l)} = \alpha \delta_j \frac{\operatorname{ch} \nu \delta_j d - (-1)^l \cos \alpha \delta_j d}{d \operatorname{sh} \nu \delta_j d} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 + (-1)^{k+l}}{(\gamma_k^2 + \delta_j^2)^2 - 4\alpha^2 \gamma_k^2 \delta_j^2} [(\gamma_k^2 - \delta_j^2 - 2(-1)^l \nu \gamma_k \delta_j) m_k^{(0)} + (\gamma_k^2 - \delta_j^2 + 2(-1)^l \nu \gamma_k \delta_j) m_k^{(1)}] + \zeta_k^{(l)}, \quad (l=0, 1). \quad (11)$$

Здесь

$$\begin{aligned} a_j^{(l)} &= 2 \int_0^b [S_2(\xi) - (-1)^l S_3(\xi)] \cos \delta_j \xi d\xi \\ m_k^{(l)} &= d [\nu \gamma_k f_k(0) - (-1)^l f_k(b)] + 2\nu [S_0(0) - (-1)^k S_1(0)]; \\ \zeta_j^{(l)} &= \frac{2}{\operatorname{sh} \nu \delta_j d} \left\{ [\alpha \operatorname{sh} \nu \delta_j d + (-1)^l \nu \operatorname{sh} \alpha \delta_j d] \int_0^b [S'_0(\xi) - (-1)^k S'_1(\xi)] \cos \delta_j \xi d\xi + \right. \\ &+ \nu [\operatorname{ch} \nu \delta_j d - (-1)^l \cos \alpha \delta_j d] \left[ \int_0^b (S'_0(\xi) + (-1)^l S'_1(\xi)) \sin \delta_j \xi d\xi + \frac{\alpha}{\delta_j d} (1 + \right. \\ &+ (-1)^l (S_0(0) - S_1(0))) - (-1)^l \int_0^d \mathcal{T}^{*'}(\eta) [\alpha (\sin \alpha \delta_j \eta \operatorname{sh} \nu \delta_j (d - \eta) - \\ &- (-1)^l \sin \alpha \delta_j (d - \eta) \operatorname{sh} \nu \delta_j \eta) + \nu (\cos \alpha \delta_j \eta \operatorname{ch} \nu \delta_j (d - \eta) - (-1)^l \cos \alpha \delta_j (d - \\ &- \eta) \operatorname{ch} \nu \delta_j \eta)] d\eta + \frac{1}{\lambda} \int_0^b \int_0^d \mathcal{W}^*(\xi, \eta) [\cos \delta_j (\xi + \alpha \eta) \operatorname{sh} \nu \delta_j (d - \eta) + \\ &+ (-1)^l \cos \delta_j (\xi - \alpha d + \alpha \eta) \operatorname{sh} \nu \delta_j \eta] d\eta d\xi \left. \right\}. \quad (12) \end{aligned}$$

В свою очередь  $m_k^0$  и  $m_k^1$ , входящие в уравнения (11), определяются, согласно (9) и (12), из следующих выражений:

$$m_k^{(l)} = \frac{2\alpha \gamma_k}{b \operatorname{ch} \nu \gamma_k b} \sum_{j=1}^{\infty} \frac{a_j^{(k)}}{(\delta_j^2 + \gamma_k^2)^2 - 4\alpha^2 \gamma_k^2 \delta_j^2} \left[ (\delta_j^2 - \gamma_k^2 - 2(-1)^{l+1} \nu \gamma_k \delta_j) \operatorname{sh} \nu \gamma_k b + \right. \\ \left. + (-1)^l (\delta_j^2 - \gamma_k^2 + 2(-1)^{l+1} \nu \gamma_k \delta_j) \cos \alpha \gamma_k b \right] + r_k^{(l)}, \quad (l=0, 1) \quad (13)$$

где обозначено

$$r_k^{(l)} = \frac{2}{\operatorname{ch} \nu \gamma_k b} \left\{ \int_0^b [S'_0(\xi) - (-1)^k S'_1(\xi)] \left[ \alpha \operatorname{sh} \alpha \gamma_k \xi \operatorname{sh} \nu \gamma_k (b - \xi) + \right. \right.$$

$$\begin{aligned}
& + v \cos \alpha \gamma_k \xi \operatorname{ch} v \gamma_k (b - \xi) - (-1)^l (2 \sin \alpha \gamma_k (b - \xi) \operatorname{ch} v \gamma_k \xi + v \cos \alpha \gamma_k (b - \xi) \operatorname{sh} v \gamma_k \xi) \Big] d\xi - \\
& - (-1)^l \int_0^a T^* (\gamma_k [a \operatorname{ch} v \gamma_k b \sin \gamma_k \eta + v \operatorname{sh} v \gamma_k b \cos \gamma_k \eta - (-1)^l \cos \gamma_k (\eta + ab)]) d\eta + \\
& + \frac{1}{\lambda} \int_0^b \int_0^d W^*(\xi, \eta) \left[ \sin \gamma_k (\eta + \alpha \xi) \operatorname{sh} v \gamma_k (b - \xi) + (-1)^l \sin \gamma_k (\eta - ab + \right. \\
& \left. + \alpha \xi) \operatorname{ch} v \gamma_k \xi \right] d\eta d\xi \Big\}. \quad (14)
\end{aligned}$$

Таким образом, для определения  $a^{(b)}$  и  $m^{(l)}_k$  получили совокупность двух бесконечных систем линейных алгебраических уравнений (11) и (13). Исследование этих систем показывает, что при  $|\alpha| < 0,82$  суммы модулей коэффициентов при неизвестных в каждом из уравнений для  $k \geq 3$ ,  $j \geq 3$  строго меньше единицы. Свободные члены  $\xi^{(l)}$  и  $\eta^{(l)}_k$ , как легко видеть из (12) и (14), оставаясь строго ограниченными, с возрастанием  $j$  и  $k$  стремятся к нулю соответственно с быстротой  $O\left(\frac{1}{j}\right)$  и  $O\left(\frac{1}{k}\right)$ .

Согласно теории бесконечных систем ((<sup>3</sup>) с. 33) имеют место единственность решения систем (11) и (13) и сходимость метода последовательных приближений.

Подставляя значения  $f_k(\xi)$  и  $G_k(\xi)$  из (9) и (6) и переходя к цилиндрическим координатам, получим два выражения для  $U(r, \varphi)$ , любым из которых можем воспользоваться, предпочитая одно другому в зависимости от быстроты сходимости рядов в исследуемой точке. Задаваясь значениями функций  $S_0(\varphi)$ ,  $S_1(\varphi)$ ,  $T(r)$ , интенсивности тепловыделения  $W(r, \varphi)$ , решением усеченных систем (11) и (13) найдем оценки для  $m^{(l)}_k$  и  $a^{(l)}$  сверху и снизу, после чего способом, описанным в ((<sup>4</sup>), с. 41), получим значения  $U(r, \varphi)$  с избытком и недостатком.

Институт математики НАН Армении

Ռ. Ս. ՄԻՆԱՍՅԱՆ

### Ջերմային դաշտը կոնազիծ նետածև մարմնում

Դիտարկվում է հարթ կայունադաժ ջերմային դաշտը գլանածև մարմնում, սահմանափակված  $r = R_1 |^{m_1}$ ;  $r = R_2 |^{m_2}$  ( $b r r$   $0 \leq \varphi \leq \psi_1$ ) և  $r = R_1 |^{(2\pi - \varphi)}$   $r = R_1 |^{(2\pi - \varphi)}$  ( $b r r$   $2\pi - \varphi_1 \leq \varphi \leq \varphi_1$ ) մակերևույթներով, ինչպես նաև  $\psi = \psi_1$ ,  $\psi = 2\pi - \psi_1$  հարթույթներով:

Հուժոճը տրվում է միաժամանակ երկու տեսակ շարքերով ներկայացված:

### ЛИТЕРАТУРА — Վ Ր Ա Չ Ա Ն Ո Ր Ք Յ Ո Ր Ն

<sup>1</sup> Г. Карслоу, Д. Егер. Теплопроводность твердых тел, М., 1964. <sup>2</sup> Р. С. Минасян, ДАН АрмССР, т. 23, № 4, с. 145—152 (1956). <sup>3</sup> Л. В. Канторович, В. И. Крылов, Приближенные методы высшего анализа, М., 1962. <sup>4</sup> Р. С. Минасян, Изв. АН АрмССР, Сер. физ.-мат. наук, т. 11, № 3, с. 51—62 (1958).

УДК 539.301

Л. А. Агаловян

К определению напряженно-деформированного состояния двухслойной анизотропной полосы при неполном контакте слоев

(Представлено чл.-корр. НАН Армении Б. Л. Абрамяном 4/V 1994)

Рассматривается вопрос определения напряженно-деформированного состояния двухслойной анизотропной термоупругой полосы, когда контакт между слоями неполный, а на лицевых поверхностях полосы заданы условия смешанных граничных задач теории упругости. К подобным задачам приводят, в частности, изучение взаимодействия фундамента с основанием, различные проблемы сейсмологии. Найдена асимптотика всех искомых величин. Решение двумерной задачи сведено к решению одномерного уравнения, учитывающего характер контакта (сухое трение, скольжение слоев и др.)<sup>\*</sup>.

Асимптотическое решение классической первой краевой задачи теории упругости для полосы получено в (1), там же выявлена связь полученного решения с принципом Сен-Венана. В (2) получены решения второй и третьей краевых задач для анизотропной полосы. Установлена асимптотика, принципиально отличная от асимптотики величин в классической теории балок-полос, и доказана неприменимость гипотезы плоских сечений для этого класса задач. В (3) найдено асимптотическое решение смешанных краевых задач для двухслойной полосы, когда контакт между слоями полный, найдена связь полученного решения с результатами по прикладным моделям упругих оснований—фундаментов. В частности, доказана неприменимость модели Винклера—Фусса для оснований с общей анизотропией. Определен коэффициент постели для ортотропного основания. В (4) получено асимптотическое решение первой краевой задачи (на лицевых поверхностях заданы компоненты тензора напряжений) для многослойной полосы, в зависимости от упругих и толщинных характеристик слоев, установлены условия применимости гипотезы плоских сечений.

1. Требуется найти решение уравнений плоской задачи термоупругости анизотропного тела в области  $\Omega = \{(x, y) : x \in [0, a], -h_2 \leq y \leq h_1, h_1 + h_2 \ll a\}$ , занятой двухслойной полосой, при граничных условиях

$$\sigma_{xy} = \tau^+(\xi), \quad \sigma_y = \varepsilon^{-1} \sigma_y^+(\xi) \quad \text{при } y = h_1, \quad (1.1)$$

\* Часть полученных результатов была доложена на симпозиуме «Проблемы контактного взаимодействия, трения и износа» (Ростов н/Д, 1990 г.).

$$u = \varepsilon^{-1} u^-(\xi), \quad v = \varepsilon^{-1} v^-(\xi) \quad \text{при } y = -h_2 \quad (1.2)$$

$$(\xi = x/a, \quad \varepsilon = h/a, \quad h = \max(h_1, h_2)),$$

условиях неполного контакта слоев

$$\sigma^{(1)}_y = \sigma^{(2)}_y, \quad v^{(1)} = v^{(2)}, \quad \text{при } y = 0 \quad (1.3)$$

$$\sigma^{(1)}_{xy} = \sigma^{(2)}_{xy} = \tau_0(\xi),$$

где индексом (1) обозначены величины слоя толщины  $h_1$ , индексом (2) — величины слоя толщины  $h_2$ . Функция  $\tau_0(\xi)$  описывает характер взаимодействия слоев в зависимости от выбранной модели. Например, сухому трению соответствует  $\tau_0 = fN$ , где  $f$  — коэффициент трения,  $N$  — нормальное усилие, значению  $\tau_0 = 0$  соответствует свободное скольжение. Указанное решение должно удовлетворять также граничным условиям при  $x=0$ , а, которые будут конкретизированы чуть позже. Считается, что полоса в своей плоскости обладает упругой и температурной анизотропией общего вида. На полосу помимо поверхностных действуют также массовые силы (вес, приведенная сейсмическая сила и др.).

Чтобы решить поставленную краевую задачу, в уравнениях равновесия и соотношениях упругости перейдем к безразмерным переменным  $\xi = x/a$ ,  $\zeta = y/h$  и безразмерным перемещениям  $U = u/a$ ,  $V = v/a$ . В результате будем иметь

$$\frac{\partial \sigma_x^{(i)}}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_{xy}^{(i)}}{\partial \zeta} + a F_x^{(i)} = 0, \quad i=1, 2$$

$$\frac{\partial \sigma_{xy}^{(i)}}{\partial \xi} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial \sigma_y^{(i)}}{\partial \zeta} + a F_y^{(i)} = 0$$

$$\frac{\partial U^{(i)}}{\partial \xi} = a_{11}^{(i)} \sigma_x^{(i)} + a_{12}^{(i)} \sigma_y^{(i)} + a_{16}^{(i)} \sigma_{xy}^{(i)} + \alpha_{11}^{(i)} \theta^{(i)}$$

$$\varepsilon^{-1} \frac{\partial V^{(i)}}{\partial \zeta} = a_{12}^{(i)} \sigma_x^{(i)} + a_{22}^{(i)} \sigma_y^{(i)} + a_{26}^{(i)} \sigma_{xy}^{(i)} + \alpha_{22}^{(i)} \theta^{(i)}$$

$$\varepsilon^{-1} \frac{\partial U^{(i)}}{\partial \zeta} + \frac{\partial V^{(i)}}{\partial \xi} = a_{16}^{(i)} \sigma_x^{(i)} + a_{26}^{(i)} \sigma_y^{(i)} + a_{66}^{(i)} \sigma_{xy}^{(i)} + \alpha_{12}^{(i)} \theta^{(i)} \quad (1.4)$$

где  $a^{(i)}_{jk}$  — упругие коэффициенты податливости,  $\alpha^{(i)}_{jk}$  — коэффициенты теплового расширения,  $\theta^{(i)} = T^{(i)} - T^{(i)}_0$  — приращение температуры. Система (1.4) сингулярно возмущена параметром  $\varepsilon$ . Ее решение складывается из решений внутренней задачи и пограничного слоя (1.5). Для величин внутренней задачи можно установить такую асимптотику:

$$\sigma_x^{(i)} = \varepsilon^{-1+s} \sigma_x^{(i,s)}, \quad \sigma_{xy}^{(i)} = \varepsilon^s \sigma_{xy}^{(i,s)}, \quad \sigma_y^{(i)} = \varepsilon^{-1+s} \sigma_y^{(i,s)},$$

$$U^{(i)} = \varepsilon^{-1+s} U^{(i,s)}, \quad V^{(i)} = \varepsilon^{-1+s} V^{(i,s)}, \quad s = \overline{0, S}. \quad (1.5)$$

Массовые силы и температурные поля будут вносить в общее напряженное состояние вклады одного порядка по сравнению со вкладом поверхностных сил, если

$$F_x^{(i)} = \varepsilon^{-1+s} a^{-1} F_x^{(i)}, \quad F_y^{(i)} = \varepsilon^{-1+s} a^{-1} F_y^{(i)},$$

$$\theta^{(i,s)} = \varepsilon^{-1+s} \theta^{(i,s)}, \quad s = \overline{0, S}. \quad (1.6)$$

Здесь и далее обозначение  $s = \overline{0, S}$  означает, что по повторяющемуся

индексу  $s$  происходит суммирование от нуля до числа приближений  $S$ . Асимптотика (1.5) принципиально отличается от асимптотик, установленных для величин в первой и второй краевых задачах (1.2). Чтобы определить коэффициенты представления (1.5), необходимо подставить (1.5), (1.6) в (1.4) и приравнять в каждом соотношении коэффициенты при одинаковых степенях  $\varepsilon$ . Решив вновь полученную систему, получим

$$u^{(l,s)} = u_0^{(l,s)}(\xi) + u^{*(l,s)}, \quad v^{(l,s)} = v_0^{(l,s)}(\xi) + v^{*(l,s)}, \quad (1.7)$$

$$\sigma_y^{(l,s)} = \sigma_{y0}^{(l,s)}(\xi) + \sigma_y^{*(l,s)}, \quad \sigma_x^{(l,s)} = \frac{1}{a_{11}^{(l)}} \left[ \frac{du_0^{(l,s)}}{d\xi} - a_{12}^{(l)} \sigma_{y0}^{(l,s)} + \sigma_x^{*(l,s)} \right],$$

$$\sigma_{xy}^{(l,s)} = \sigma_{xy0}^{(l,s)}(\xi) - \frac{1}{a_{11}^{(l)}} \left[ \frac{d^2 u_0^{(l,s)}}{d\xi^2} - a_{12}^{(l)} \frac{d\sigma_{y0}^{(l,s)}}{d\xi} \right] \zeta + \sigma_{xy}^{*(l,s)},$$

где

$$v^{*(l,s)} = \int_0^{\zeta} \left[ a_{12}^{(l)} \sigma_x^{(l,s-1)} - a_{22}^{(l)} \sigma_y^{(l,s-1)} + a_{20}^{(l)} \sigma_{xy}^{(l,s-2)} + a_{22}^{(l)} \theta^{(l,s-1)} \right] d\zeta,$$

$$u^{*(l,s)} = \int_0^{\zeta} \left[ a_{10}^{(l)} \sigma_x^{(l,s-1)} + a_{20}^{(l)} \sigma_y^{(l,s-1)} + a_{00}^{(l)} \sigma_{xy}^{(l,s-2)} + a_{12}^{(l)} \theta^{(l,s-1)} - \frac{\partial v^{(l,s-1)}}{\partial \xi} \right] d\zeta, \quad (1.8)$$

$$\sigma_y^{*(l,s)} = - \int_0^{\zeta} \left[ \frac{\partial \sigma_{xy}^{(l,s-2)}}{\partial \xi} + F_{ys}^{(l)} \right] d\zeta,$$

$$\sigma_x^{*(l,s)} = \frac{\partial u^{*(l,s)}}{\partial \xi} - a_{12}^{(l)} \sigma_y^{*(l,s)} - a_{10}^{(l)} \sigma_{xy}^{(l,s-1)} - a_{11}^{(l)} \theta^{(l,s)},$$

$$\sigma_{xy}^{*(l,s)} = - \int_0^{\zeta} \left[ \frac{1}{a_{11}^{(l)}} \frac{\partial \sigma_x^{*(l,s)}}{\partial \xi} + F_{xs}^{(l)} \right] d\zeta.$$

В (1.7) пока неизвестны функции  $u_0^{(l,s)}$ ,  $v_0^{(l,s)}$ ,  $\sigma_{y0}^{(l,s)}$ ,  $\sigma_{xy0}^{(l,s)}$ . Удовлетворив граничным и контактными условиям (1.1) — (1.3), определим эти функции. В результате решение (1.5), (1.7) принимает вид: величины первого слоя ( $0 < \zeta \leq \zeta_1$ ,  $\zeta_1 = h_1/h$ )

$$\sigma_y^{(1)} = \varepsilon^{-1+s} (\sigma_y^{+(s)} - \sigma_y^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1) + \sigma_y^{*(1,s)}), \quad s = \overline{0, S},$$

$$\sigma_{xy}^{(1)} = \varepsilon^s \left[ \tau_0^{(s)} - \frac{\zeta}{\zeta_1} (\tau_0^{(s)} + \sigma_{xy}^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1) - \sigma_{xy}^{+(s)}) + \sigma_{xy}^{*(1,s)} \right],$$

(1.9)

$$\sigma_x^{(1)} = \varepsilon^{-1+s} \frac{1}{a_{11}^{(1)}} \left[ \frac{du_0^{(1,s)}}{d\xi} - a_{12}^{(1)} (\sigma_y^{+(s)} - \sigma_y^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1)) + \sigma_x^{*(1,s)} \right],$$

$$u^{(1)} = aU^{(1)} = a\varepsilon^{-1+s} (u_0^{(1,s)}(\xi) + u^{*(1,s)}),$$

$$v^{(1)} = aV^{(1)} = a\varepsilon^{-1+s} (v_0^{(1,s)}(\xi) - v^{*(1,s)}(\xi, -\zeta_1) + v^{*(1,s)}),$$

где  $u_0^{(1,s)}$  определяется из уравнения

$$\frac{d^2 u_0^{(1,s)}}{d\xi^2} = \frac{a_{11}^{(1)}}{\zeta_1} q^{(s)}, \quad (1.10)$$

$$q^{(s)} = \frac{a_{12}^{(1)}}{a_{11}^{(1)}} \zeta_1 \frac{d}{d\xi} (\sigma_y^{+(s)} - \sigma_y^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1)) + \tau_0^{(s)} + \sigma_{xy}^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1) - \sigma_{xy}^{+(s)},$$

следовательно,

$$u_0^{(1,s)} = \frac{a_{11}^{(1)}}{\zeta_1} \int_{\zeta_1}^{\xi} d\xi \int_0^{\xi} q^{(s)} d\xi + C_1^{(s)} \xi + C_2^{(s)}; \quad (1.11)$$

величины второго слоя ( $-\zeta_2 \leq \zeta \leq 0$ ,  $\zeta_2 = h_2/h$ )

$$\begin{aligned} \sigma_y^{(2)} &= \varepsilon^{-1+s} [\sigma_y^{+(s)} - \sigma_y^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1) + \sigma_y^{*(2,s)}(\xi, \zeta)], \quad s = \overline{0, S} \\ \sigma_{xy}^{(2)} &= \varepsilon^s \left[ \tau_0^{(s)} + \sigma_{xy}^{*(2,s)} - \frac{1}{a_{11}^{(2)}} \left( \frac{d^2 u_0^{(2,s)}}{d\xi^2} - a_{12}^{(2)} \frac{d u_0^{(2,s)}}{d\xi} \right) \zeta \right], \\ u_0^{(2,s)} &= u^{-(s)} - u^{*(2,s)}(\xi, -\zeta_2), \quad \sigma_{y0}^{(2,s)} = \sigma_y^{+(s)} - \sigma_y^{*(1,s)}(\xi, \zeta_1), \\ \sigma_x^{(2)} &= \varepsilon^{-1+s} \frac{1}{a_{11}^{(2)}} \left[ \frac{d u_0^{(2,s)}}{d\xi} - a_{12}^{(2)} \sigma_{y0}^{(2,s)}(\xi) - \sigma_x^{*(2,s)} \right], \end{aligned} \quad (1.12)$$

$$u^{(2)} = a U^{(2)} = a \varepsilon^{-1+s} (u^{-(s)} + u^{*(2,s)} - u^{*(2,s)}(\xi, -\zeta_2)),$$

$$v^{(2)} = a V^{(2)} = a \varepsilon^{-1+s} (v^{-(s)} + v^{*(2,s)} - v^{*(2,s)}(\xi, -\zeta_2)),$$

где

$$\sigma_y^{+(0)} = \sigma_y^+, \quad \sigma_{xy}^{+(0)} = \tau^+, \quad \tau_0^{(0)} = \tau_0, \quad (1.13)$$

$$\sigma_y^{+(s)} = \sigma_{xy}^{+(s)} = \tau_0^{(s)} = 0, \quad s \neq 0.$$

Как следует из (1.11), решение (1.9), (1.12) содержит две произвольные постоянные интегрирования, при этом постоянная  $C_2^{(s)}$  характеризует жесткое смещение. Чтобы определить постоянную  $C_1^{(s)}$ , необходимо использовать обычно ставляемые статические и кинематические условия при  $x=0$ , а. Ограничившись решением внутренней задачи, эти условия могут быть удовлетворены лишь интегрально. Для точечного их удовлетворения необходимо построить пограничный слой. Погранслоем можно построить и сращивать с решением внутренней задачи описанным в (6.7) методом.

2. Полученное решение позволяет сделать ряд выводов. В отличие от случая полного контакта слоев (3), когда все величины внутренней задачи были определены непосредственно, здесь получилось одно разрешающее уравнение (1.10). Можно показать, что получится столько уравнений, какова степень свободы системы, если ее считать жесткой. На решение основного уравнения (1.10) непосредственно влияет характер контакта слоев (выбор функции  $\tau_0(\xi)$ ).

Из полученного общего решения как частные случаи можно получить ряд важных прикладных решений. Например, принимая

$$F_x^{(0)} = 0, \quad F_y^{(0)} = -p_1 g, \quad (2.1)$$

где  $\rho_1$  — плотность, легко вычислить напряжения и перемещения, обусловленные весом каждого слоя.

По модели Омори-Сано <sup>(8)</sup>, приняв

$$F_x^{(1)} = -K_c \rho_1 g,$$

$$F_y^{(1)} = 0 \text{ или } F_y^{(1)} = \alpha_1 F_x^{(1)}, \quad \alpha_1 \approx 0,75, \quad (2.2)$$

где  $K_c$  — коэффициент сейсмичности,  $g$  — ускорение силы тяжести, или по динамической теории сейсмостойкости Мононебе, приняв

$$F_x^{(1)} = -K_c \beta \rho_1 g, \quad \beta = \frac{1}{1 - (T/T_0)^2}, \quad (2.3)$$

где  $\beta$  — коэффициент динамичности,  $T$  — период собственных колебаний сооружения по основному тону,  $T_0$  — период колебания основания, можно вычислить напряжения и перемещения, вызванные приведенной сейсмической нагрузкой.

По полученным формулам можно также вычислить напряженно-деформированные состояния слоистой полосы, соответствующие другим специальным силовым и температурным воздействиям.

Институт механики НАН Армении

#### Լ. Ա. ԱՂԱԼՈՎՅԱՆ

Անիզոտրոպ երկշերտի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակի որոշման մասին, երբ շերտերի միջև կոնտակտը ոչ լրիվ է

Դիտարկվում է երկշերտի լարվածային-դեֆորմացիոն վիճակի որոշման հարցը, երբ շերտերի միջև կոնտակտը ոչ լրիվ է (կոնտակտ շփման հաշվառումով, ազատ սահք և այլն): Շերտերից յուրաքանչյուրն իր հարթության մեջ օժտված է առաձգական և ջերմային ընդհանուր անիզոտրոպիայով: Երկշերտի երկայնական նիստերի վրա տրված են առաձգականության տեսության խառը եզրային պայմաններ: Որոշված են լրիվ մեծությունների ասիմպտոտիկ կարգերը, որոնք սկզբունքորեն տարբերվում են հեծանների դասական տեսության համապատասխան մեծությունների կարգերից: Երկշափ խնդրի լուծումը հանգեցված է մեկ սովորական դիֆերենցիալ հավասարման լուծմանը, որի աջ մասի տեսքը էապես կախված է շերտերի միջև կոնտակտի բնույթից:

Ապացուցված է, որ ընդհանրապես ստացվում է այնքան միաշափ հավասարում, որպիսին երկշերտի ազատության աստիճանների թիվն է, եթե շերտերը դիտվեն բացարձակ կոշտ:

Ստացված ընդհանուր լուծումից, որպես մասնավոր դեպքեր, կարելի է ստանալ կիրառական բնույթի մի շարք լուծումներ, մասնավորապես լուծումներ, որոնք համապատասխանում են շերտերի քաշի հաշվառմանը, բերված սեյսմիկ ուժին՝ Օմորի-Սանո, Մոնոնորե-Չավրիև մոդելներում:

#### ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Ռ Յ Ո Ւ Ն

- <sup>1</sup> Л. А. Агаловян, Изв. АН АрмССР. Механика, т. 30, № 5 (1977).
- <sup>2</sup> Л. А. Агаловян, Межвузовский сб. «Механика», изд. ЕГУ, вып. 2 (1982).
- <sup>3</sup> Л. А. Агаловян, в кн.: XIII Всесоюзн. конф. по теории пластин и оболочек, ч. 1, Таллин, 1983.
- <sup>4</sup> Л. А. Агаловян, А. М. Хачатрян, Изв. АН АрмССР. Механика, т. 39, № 2 (1986).
- <sup>5</sup> А. Б. Васильева, В. Ф. Бутузов, Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений. Наука, М., 1973.
- <sup>6</sup> Л. А. Агаловян, ДАН АрмССР, т. 45, № 3 (1972).
- <sup>7</sup> Л. А. Агаловян, Межвузовский сб. «Механика», изд. ЕГУ, вып. 3 (1984).
- <sup>8</sup> Динамический расчет сооружений на специальные воздействия, Стройиздат, М., 1981.

УДК 621.382

Член-корреспондент НАН Армении В. М. Арутюнян

### О люминесценции пористого кремния и его новых применениях

(Представлено 20/XII 1993)

В последнее время значительный интерес вызывает возможность использования в оптоэлектронике явления люминесценции из пористого кремния (ПК). Если ранее обсуждались возможности использования слоев ПК в качестве пассивирующих слоев в микроэлектронике и голографических регистрирующих сред (см., например <sup>(1)</sup>), то сейчас значительно большее внимание уделяется изучению возможности использования явления фото- и электролюминесценции из ПК, имеющей место при комнатной температуре в видимом диапазоне длин волн. Научная общественность обратила внимание на это явление после публикации Канхэмом результатов исследования ПК, анодированного в HF <sup>(2)</sup>. Пластины p-Si, помещенные в 40%-ный раствор HF на различное время, после прохождения тока и образования ПК имели различные спектры фотолюминесценции, причем с увеличением времени обработки в HF наблюдалось значительное голубое смещение спектра излучения с одновременным увеличением его максимальной интенсивности. Характерным в этом явлении было излучение квантов, энергия которых существенно превышала ширину запрещенной зоны монокристаллического кремния (пластины) и находилась в ближнем ИК и видимом диапазонах длин волн. Излучение было интенсивным и наблюдалось невооруженным глазом. Это нетипично для кремния, являющегося непрямозонным полупроводником и поэтому не представляющего интереса в качестве материала для различного рода излучателей, поскольку безызлучательная рекомбинация в нем превалирует над излучательной. Поэтому открывающаяся возможность использования ПК в качестве излучательного элемента в микроэлектронике, сегодня в большей своей части базирующейся на кремнии, вызвала значительный интерес, тем более, что такой новый подход не требует больших материальных затрат и смены технологических операций.

В настоящей работе на базе имеющихся к настоящему времени в литературе публикаций проведено обсуждение возможного механизма излучения из ПК. Сегодня сложилось два подхода к интерпретации этого явления. Часть исследователей считает, что в процессе анодного травления в HF кремния в нем образуются островки с пониженной размерностью (в основном, квантово-размерные нити с 1d-размерностью) <sup>(2-5)</sup>, в которых осуществляется соответствующая перестройка в основном зоны проводимости кремния. В случае ПК запрещенная зо-

на  $E_{\text{г}}^{\text{пк}}$  увеличивается обратно пропорционально квадрату размера нити (<sup>3,4,6</sup>), в результате чего в зависимости от технологических режимов можно получить ПК с различными размерами нитей, пор и, соответственно, с различными максимумами (цветом) интенсивностей излучения. Другой подход к интерпретации явления эмиссии из ПК состоит в утверждении, что ключевую роль в формировании излучения играют «загрязняющие» ПК соединения типа силоксена или полисиланов  $\text{SiH}_x$ , которые сами могут излучать в том же диапазоне длин волн (<sup>7,8</sup>).

Подчеркнем, однако, что второй подход к интерпретации в последнее время все больше подвергается критике. Так, в работах (<sup>9-13</sup>) с помощью метода переходной Фурье инфракрасной спектроскопии доказано на опыте, что в процессе соответствующей обработки ПК концентрация полисиланов ( $\text{SiH}$  и  $\text{SiH}_2$ ) резко уменьшается, тогда как фотолюминесценция из ПК становится при этом более интенсивной. В работе (<sup>8</sup>) сообщалось о корреляции увеличения интенсивности излучения и концентрации  $\text{SiH}_2$  друг с другом. Заметим, что не объясняются в рамках этой модели и результаты работы (<sup>14</sup>), где под действием давления вплоть до 170 кбар очень значительно меняется цвет излучения, что нужно объяснить, по всей вероятности, деформацией положений минимумов энергии в зоне проводимости под действием давления. Причем наблюдавшееся в (<sup>14</sup>) уменьшение энергии максимума линии излучения находится в соответствии с известной для случая кремневых тензодатчиков тенденцией уменьшения ширины запрещенной зоны под давлением (в отличие от ряда других полупроводников) (<sup>15</sup>). Так как в монокристаллическом кремнии коэффициент изменения ширины запрещенной зоны от давления порядка  $-1,5 \cdot 10^{-6}$  эВ. бар<sup>-1</sup>, то суммарное изменение  $E_{\text{г}}^{\text{пк}}$ , наблюдавшееся в (<sup>14</sup>), того же порядка, что для монокристаллического кремния. Вместе с тем изменение в ПК несколько (в 2—3 раза) больше ожидаемого.

Анализ литературы свидетельствует, что усилению стабилизации излучения из ПК чаще всего способствуют окислительные процессы (отжиг и обработка при повышенных температурах) (<sup>13,16</sup>), обработка в газовой плазме,  $\gamma$ -облучением, лазерным облучением (<sup>12, 17-19</sup>), в парах  $\text{HF}$  (<sup>20</sup>). При этом «усиливаются» связи  $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ ,  $\text{HSi}-\text{SiO}_2$ ,  $\text{O}_3\text{Si}-\text{H}$  (<sup>10-12</sup>), формируются слои  $\text{SiO}_{1,5}$  и  $\text{SiO}_{1,8}$  (<sup>12</sup>).

Сейчас трудно однозначно и детально указать, что имеет место, например, при взаимодействии кислорода с ПК. Один из возможных эффектов — дальнейшее окисление кремния, растворение  $\text{SiO}_x$  и последующее утоньшение квантовых нитей в ПК — влечет за собой голубое смещение эмиссии из ПК. Вместе с тем «чрезмерные» отжиг, травление и кипячение влекут за собой разрушение тонкой структуры в ПК и прекращение эмиссии. Установлено, что под первым слоем с квантовыми нитями находится ПК с значительно более крупными порами, который по своим свойствам близок к идеальному поглотителю излучения и аналогичен абсолютно черному телу. Крупнопористый кремний может быть применен в качестве антиотражающего покрытия в солнечных элементах (<sup>1,21</sup>).

Не исключено, что при определенных условиях кислород способствует ослаблению темпа безызлучательной рекомбинации, создавая комплексы типа известного для границы раздела  $\text{Si}-\text{SiO}_2$  Рь-центра (<sup>22</sup>). Обратим внимание и на образование в ПК комплекса  $\text{Si}-\text{F}$ , продемонстрированное в (<sup>22</sup>), концентрация которого с увеличением времени анодирования или обработки ПК в  $\text{HF}$ , видимо, растет. Вполне возможно, эти комплексы, как и другие вышеуказанные связи, перестраивают окружение и соответственно меняют (уменьшают) сечение захвата безызлучательного центра в ПК, уменьшают подвижность и

соответственно диффузионную и дрейфовую длины носителей заряда, что в конечном счете приводит к усилению конкуренции между излучательным и безызлучательным каналами рекомбинации. Требуются детальные теоретические и экспериментальные исследования этих процессов, так как без хотя бы относительного (если не абсолютного) увеличения времени безызлучательной рекомбинации трудно рассчитывать на объяснение эмиссии из ПК только с помощью перестройки зонной структуры в пространстве импульсов, хотя доказательства последней и имеются (см., например, сдвиг спектров пропускания и поглощения в ПК [3, 4, 23, 24 и др.]). В (5) показано, что квантовая эффективность в самом простом 1d-случае уменьшается с увеличением концентрации безызлучательных центров и размера области, из которой такой центр собирает носители заряда. Рассчитывать только на увеличение силы осциллятора в квантовых нитях в ПК, видимо, нельзя. Не исключены и излучательные переходы через соответствующие примесные и экситонные состояния, если окажется, что максимум излучения соответствует энергии, меньшей  $E_{pk}$ .

Необходимо также детальное рассмотрение аналогий между ПК и суспензиями на базе мелкодисперсионных порошков из кремния (6, 25-29). Много полезного можно извлечь и из анализа и сравнения с процессами, протекающими при люминесценции в системе ПК—электролит (17-19, 30, 31) и на границе раздела других полупроводников с электролитом (см., например, (6, 25, 32-34)). В частности, может оказаться, что ПК из-за крайне малых скоростей поверхностной рекомбинации и подвижности в принципе просто представляет собой ансамбль микрокристаллов различного размера с гауссовской дисперсией, что и определит соответствующую этому ансамблю кривую люминесценции (как это имеет место в суспензиях). Или источниками неосновных носителей заряда—дырок (точнее, экстракторами электронов из валентной зоны) могут оказаться хорошо известные из фотоэлектрохимии полупроводников окислители типа  $H_2O_2$ ,  $S_2O_8^{2-}$ ,  $O_2$ ,  $SO_4^-$  или редокс-пары  $Ce^{3+/4+}$ ,  $Fe^{2+/3+}$ ,  $F(CN)_6^{3-}/4-$ ,  $CD_3CN$ ,  $CH_3OH-(Me_2Fe)^{+|0}$  и др., энергетическое расположение которых хорошо известно (25, 32, 33). При интенсивной «инъекции» не исключены суперлинейные (квадратичная, например) зависимости тока от напряжения и области резкого возрастания тока, характерные для инжекционных явлений в полупроводниках (35) и позволяющие определить ряд важных параметров исследуемых полупроводников. Все отмеченное выше позволит более детально установить зонную диаграмму ПК, учесть примесные и экситонные состояния, полностью проанализировать его свойства. В частности, зонная диаграмма в случае кремния p-типа будет иметь на границе между двумя фазовыми состояниями кремния барьер для дырок и поэтому станет возможным использовать гетеропереход ПК-монокристаллический Si в качестве эмиттера с большим числом Гуммеля для обеспечения сверхинжекции в мощных транзисторах и других полупроводниковых приборах. Возможны, на наш взгляд, и новые применения ПК в качестве датчиков ионов (36) и пористых электродов для электрохимических и фотоэлектрохимических преобразователей различного типа (в том числе газонаполненных аэробических) (6, 25). Полезная информация может быть получена и в результате исследований свойств системы ПК-газ. Совершенно очевидным нам представляется перспектива создания на основе ПК газовых сенсоров различного типа (36), в том числе и нового варианта, предложенного нами недавно (37, 38).

Одной из главных физико-технологических проблем является разработка воспроизводимой технологии получения на одной и той же

или различных пластинах монокристаллического кремния одинаковых по размеру ансамблей из квантовых нитей и пор, как и перестройка при необходимости их размеров. Это позволит реализовать нужный спектр излучения и требуемую чувствительность дисплея и различных датчиков, создаваемых на основе ПК.

В заключение отметим, что в процессе исследований явления излучения из ПК наметилась основная тенденция интерпретации его свойств на основе квантово-размерных эффектов. В работе показаны противоречивость другого подхода к объяснению явления фотолюминесценции из ПК и необходимость выяснения механизма подавления безызлучательной рекомбинации в ПК, детализации вероятностей излучательных переходов (силы осцилляторов) различного типа в этом весьма перспективном для современной интегральной оптоэлектроники материале. Осуществлен предварительный поиск аналогий между случаем ПК и случаями границ раздела полупроводник-электролит и полупроводник-газ, начато построение зонной диаграммы гетеропереходной системы ПК-монокристаллический кремний. Указаны возможности новых систем на основе ПК в электронике, энергетике и сенсорной технике.

Выражаю признательность д-ру К. Леви-Клемен (Франция) за привлечение моего внимания к проблеме ПК во время посещения ее лаборатории и за копии ее очень интересных публикаций. Благодарю м-ра Саркиса Калтакджяна (США) за многолетнюю подписку для нашей кафедры на журнал «Applied Physics Letters», без ознакомления с публикациями в котором невозможна была бы, в частности, подготовка настоящего сообщения.

Ереванский государственный университет

Հայաստանի ԳԱԱ թղթակից անդամ Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Ժակոտկեն սիլիցիումի լյումինեսցենցիայի և դրա նոր կիրառությունների մասին

Քննարկված են ժակոտկեն սիլիցիումում լյումինեսցենցիայի տեսանկյունից տիրույթում առաջացման ֆիզիկական մեխանիզմները, Առաջնությունը տրրվում է բվանտաշափային երևույթների առաջացմանը: Ցույց է տրված, որ անհրաժեշտ է պարզել ոչ ճառագայթային ռեկոմբինացիայի ճնշման ուղին և կատարել տարրեր ձևի ճառագայթային անցումների (օսցիլյատորի ուժի) ուժեղացման հավանականությունների հաշվարկը, որպեսզի պարզվի ժակոտկեն սիլիցիումի լայնածավալ օգտագործման հնարավորությունը ժամանակակից ինտեգրալ օպտոէլեկտրոնիկայում: Անց է կացվել համանմանությունների նախնական որոնում ժակոտկեն սիլիցիումի և կիսահաղորդիչ-էլեկտրոնիտ ու կիսահաղորդիչ-գոյ սահմանների միջև: Ցույց է տրված ժակոտկեն սիլիցիումի հիման վրա նոր համակարգերի ստեղծման հնարավորությունները էլեկտրոնիկայում, էներգետիկայում և սենսորային տեխնիկայում օգտագործելու համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ ՈՒ Ն

<sup>1</sup> C. Levi-Clement et al., Electrochimica Acta 37, N 5, p. 877—888 (1992). <sup>2</sup> L. T. Canham, Appl. Phys. Lett., v. 57, N 10, p. 1046—1048 (1990). <sup>3</sup> H. Takagi et al., ibid., v. 56, N 24, p. 2379—2380 (1990). <sup>4</sup> V. Lehmann, U. Gösel, ibid., v. 58, N 8, p. 856—858 (1990). <sup>5</sup> A. L. Efros, V. M. Prigodin, ibid., v. 62, N 23, p. 3013—

315 (1993). <sup>6</sup> В. М. Арутюнян, УФН, т. 158, N 2, с. 255—291 (1989). <sup>7</sup> M. S. Brandt et al., Solid State Comm., v. 81, № 2, p. 307—309 (1992). <sup>8</sup> C. Tsai et al., Appl. Phys. Lett., v. 60, N 14, p. 1700—1702 (1992). <sup>9</sup> S. L. Friedman et al., ibid., v. 62, N 16, p. 1904—1936 (1993). <sup>10</sup> S. Shih et al., ibid., v. 62, N 15, p. 1780—1782 (1993). <sup>11</sup> Y. H. Seo et al., ibid., p. 1812—1814 (1993). <sup>12</sup> Y. Xiao et al., ibid., v. 62, N 10, p. 1152—1154 (1993). <sup>13</sup> J. M. Lavine et al., ibid., p. 1099—1101 (1993). <sup>14</sup> J. N. Ryan et al., ibid., v. 63, N 16, p. 2260—2262 (1993). <sup>15</sup> И. М. Викулин, В. И. Стафеев, Физика полупроводниковых приборов, Радио и связь, М., 1990. <sup>16</sup> X. Y. Hou et al., Appl. Phys. Lett., v. 62, N 10, p. 1097—1098 (1993). <sup>17</sup> A. Hali-maoui et al., ibid., v. 59, N 3, p. 304—307 (1991). <sup>18</sup> J. S. Fu et al., ibid., v. 63, N 13, p. 1830—1833 (1993). <sup>19</sup> N. Noguchi, I. Suemune, ibid., v. 62, N 12, p. 1429—1431 (1993). <sup>20</sup> S. Shih et al., ibid., v. 62, N 16, p. 1904—1906 (1993). <sup>21</sup> C. Levi-Clement et al., Appl. Surf. Sci., v. 65/66, p. 408—414 (1993). <sup>22</sup> M. S. Brandt, M. Stutzmann, Appl. Phys. Lett., v. 61, N 21, p. 2569—2571 (1992). <sup>23</sup> I. Sagnes et al., ibid., v. 62, N 10, p. 1155—1157 (1993). <sup>24</sup> T. van Buuren et al., ibid., v. 60, N 24, p. 3013—3015 (1993). <sup>25</sup> В. М. Арутюнян, в сб.: Фотокаталитическое преобразование солнечной энергии, Наука, Новосибирск, с. 228—294, 1991. <sup>26</sup> A. Henglein, in: Electrochemistry II, Ed. E. Steckhan, Springer, Berlin, 1988. <sup>27</sup> L. Brus, Appl. Phys., v. A53, p. 465—474 (1991). <sup>28</sup> H. Weller, Ber. Bunsenges. Phys. Chem., v. 95, N 11, p. 1361—1365 (1991). <sup>29</sup> А. И. Екимов и др., ЖЭТФ, т. 88, N 4, с. 1490—1501 (1985). <sup>30</sup> L. T. Canham et al., Appl. Phys. Lett., v. 61, N 21, p. 2563—2565 (1992). <sup>31</sup> P. M. Bressers et al., ibid., v. 61, N 1, p. 108—110 (1992). <sup>32</sup> F. Fan et al., J. Electrochem. Soc., v. 130, N 9, p. 1866—1875 (1983). <sup>33</sup> J. Z. Zhang, A. B. Ellis, J. Phys. Chem., v. 96, N 6, p. 2700—2704 (1992). <sup>34</sup> A. Manivannan et al., ibid., N 9, p. 3766—3769 (1992). <sup>35</sup> В. М. Арутюнян, Генерационно-рекомбинационные эффекты в двойная инжекция в полупроводниках, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1977. <sup>36</sup> В. М. Арутюнян, Микроэлектроника, т. 20, № 4, с. 337—335 (1991). <sup>37</sup> В. М. Арутюнян, Х. В. Неркарарян, Письма ЖТФ, т. 19, № 19 (1993). <sup>38</sup> В. М. Арутюнян, Х. В. Неркарарян, ДНАН РА, т. 94, № 4, с. 243—248 (1993).

УДК 535.375

А. С. Геворкян

Теория бимолекулярных химических реакций в рамках представления квантового S-оператора

(Представлено чл.-корр. НАН Армении И. А. Варданян 8/X 1993)

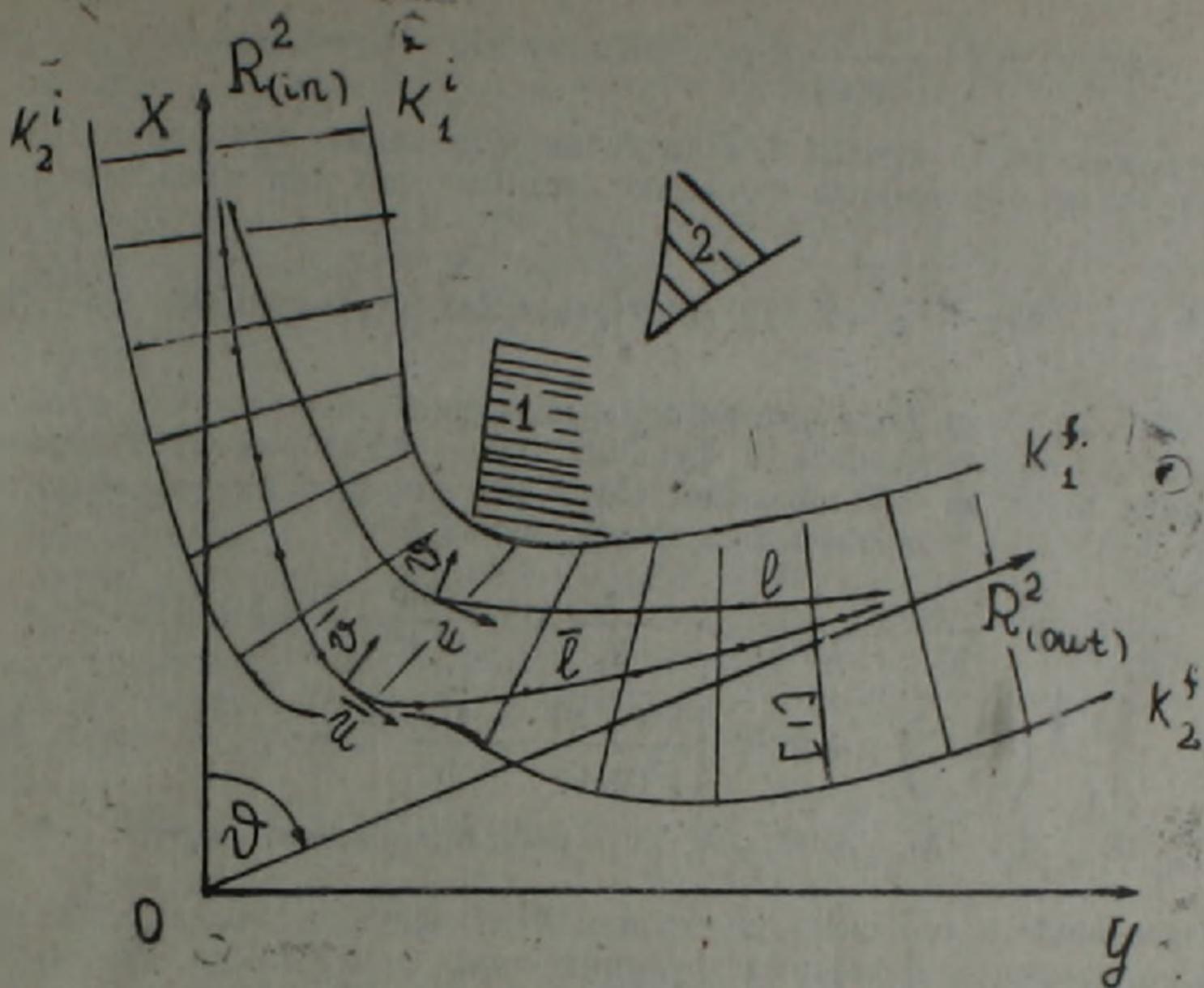
Ранее для амплитуды вероятности прямой реакции перегруппировки в коллинеарной системе трех тел  $A + (BC)_n \rightarrow (AB)_m + C$  автором получен ряд результатов в рамках представления квазиклассического T-оператора (1-3). Однако найденные выражения оказались довольно громоздкими и ограниченными в случае сильного искривления экстремального луча  $\bar{l}$  (пути реакции) двумерного конфигурационного пространства. В настоящей работе показано, что двумерная задача столкновения трех тел с перегруппировкой в пределе  $\hbar \rightarrow 0$  сводится к одномерной нестационарной задаче ангармонического осциллятора с переменной частотой  $\Omega(\tau)$  в поле внешней силы  $F(\tau)$ . В том случае, когда вероятностный ток считается гармонически сжатым вдоль экстремального луча  $\bar{l}$ , получены явные выражения для амплитуд вероятности переходов надбарьерной реакции перегруппировки. Полный гамильтониан системы трех тел в якобиевых координатах после масштабных преобразований Делвиза-Смита принимает следующий вид (см., например, (4)):

$$H(x, y; P_x, P_y) = \frac{1}{2\mu_0} (P_x^2 + P_y^2) + V(x, y), \quad \mu_0 = \left[ \frac{m_A m_B m_C}{m_A + m_B + m_C} \right]^{1/2}, \quad (1)$$

где  $m_A, m_B, m_C$  — соответственно, массы тел A, B, C. Функция  $V(x, y)$  в (1) характеризует полный потенциал системы, состоящей из парных взаимодействий между частицами. Уравнение Шредингера соответственно будет

$$\hbar^2 \Delta \Psi + P^2(x, y) \Psi = 0, \quad P(x, y) = \sqrt{2\mu_0(E - V(x, y))}, \quad (2)$$

где  $E$  — полная энергия системы. Перегруппировке в системе тел соответствует переход «изображающей точки» из (in) асимптотического состояния  $(x \rightarrow \infty, y \rightarrow 0)$ , (долина реагентов) в (out) асимптотическое состояние  $(x \rightarrow \infty, y \rightarrow \infty)$  (долина продуктов реакции, рисунок). Как показано в предыдущих работах автора (1,3), в задаче отсутствует глобальная система координат  $(x, y)$ , такая, в которой можно было бы построить полную волновую функцию системы тел, непрерывно эволюционирующей из (in) состояния в (out) состояние. Тем не менее, как видно из численных расчетов, все классические траектории «изо-



Область локализации вероятностного тока процесса обмена  $\equiv$  ограничена двумя каустиками  $K^i_1, K^f_1$  и  $K^i_2, K^f_2$ . Заштрихованные области 1-я и 2-я, соответственно, области самопересечения координатных линий ( $\bar{u}, \bar{v}$ ) и «пути реакции» и «координаты реакции» ( $u, v$ ). Угол  $\nu$  показывает расположение долины продуктов реакции (подпространство  $R^2_{(out)}$ ) по отношению к долине реагентов реакции (подпространство  $R^2_{(in)}$ ), и  $\nu = \arctg \left( \frac{M_{in}}{m_A m_C} \right)^{1/2}$ .

«ображающей точки» в процессе перегруппировки сосредотачиваются вблизи кривой 1, которая соединяет асимптотические подпространства  $R^2_{(in)} \subset R^2$  и  $R^2_{(out)} \subset R^2$  (рисунок). Причем характер движения «ображающей точки» вдоль 1 — поступательный, а в перпендикулярном к ней направлению — колебательный. Это обстоятельство наводит на мысль, что, если на произвольной кривой 1 («координата реакции») закрепить локальные ортогональные координаты ( $u, v$ ), то в принципе можно добиться разделения движения системы по независимым степеням свободы. Исходя из сказанного, уравнение Шредингера (2) следует записать в криволинейных координатах ( $u, v$ )

$$\hbar^2 \Delta_{u,v} \Psi(u, v) + P^2(u, v) \Psi(u, v) = 0, \quad (3)$$

где  $\Delta_{u,v}$  — оператор Лапласа

$$\Delta_{u,v} = \frac{1}{h_1 h_2} \left[ \partial_u \left( \frac{h_2}{b_1} \partial_u \right) + \partial_v \left( \frac{h_1}{h_2} \partial_v \right) \right]. \quad (3')$$

Функции  $h_1(u, v)$  и  $h_2(u, v)$  принято называть коэффициентами Ламе. Если считать, что вдоль кривой 1 отсчитывается координата  $u$ , а  $v$  — координата, перпендикулярная к этой кривой в точке  $u \in 1$ , то коэффициенты Ламе, в частности, будут (6)

$$h_1(u, v) = \left(1 + \frac{v}{\rho(u)}\right) S_u, \quad h_2(u, v) = 1, \quad s_u = \partial_u s(u), \quad (4)$$

где  $s$  — длина вдоль кривой  $l$ . Приступая к решению уравнения Шредингера, полную волновую функцию системы трех тел представим в виде

$$\Psi^{(+)}(u, v) = A(\hbar^{-1}; u, v) \exp(i\hbar^{-1} \int_0^u \rho(u) s_u du), \quad \rho(u) = \rho(u, 0), \quad (5)$$

где  $A(\hbar^{-1}; u, v)$  на фоне быстро осциллирующей экспоненты — плавно меняющаяся по координате  $u$  функция, «0» — некоторая произвольно выбранная точка на  $l$ . Подставляя (5) в (3) для функции ослабления Фока  $A(\hbar^{-1}; u, v)$ , получаем следующее уравнение:

$$\frac{1}{\hbar^2} A_{(uu)} + \frac{h_1(u)}{\hbar^2} A_{(u)} + A_{(vv)} + \frac{h_1(v)}{\hbar^2} A_{(v)} + \frac{2ip}{\hbar} \cdot \frac{s(u)}{\hbar^2} A_{(u)} + \frac{1}{\hbar^2} \partial_u \left( \frac{\rho s(u)}{\hbar^2} \right) A + \hbar^{-2} \rho^2 \left[ \frac{P^2(u, v)}{\rho^2(u, 0)} - \frac{s^2(u)}{\hbar^2} \right] A = 0, \quad (6)$$

где  $A_{(x)} = \partial_x A$ ,  $A_{(x_1 x_2)} = \partial_{x_1} \partial_{x_2} A$ ,  $h_1(x_1) = \partial_{x_1} h_1$ , ( $x_1 = u$ ,  $x_2 = v$ ).

Воспользовавшись тем фактом, что при  $\hbar \rightarrow 0$  вдоль кривой  $l$  происходит локализация собственных функций типа прыгающего мячика в полоске  $0(\hbar^{1/2})$  (6), можно упростить уравнение (6), которое с точностью членов  $0(\hbar^{-1})$  принимает вид

$$A_{(vv)} + \frac{2ip}{\hbar} S_{(u)}^{-1} A_{(u)} + \frac{ip(u)}{\hbar} A + \frac{P^2}{\hbar} \left[ \frac{P^2(u, v)}{P^2(u, 0)} - \left(1 + \frac{v}{\rho(u)}\right)^{-2} \right] A = 0 \quad (7)$$

Для продолжения анализа уравнения (7) сделаем замену координат:

$$x = \hbar^{-1/2} \cdot c\rho(u)v = 0(1),$$

где постоянная  $c$  подлежит определению.

С учетом выражений (7) уравнение (6) принимает вид

$$\frac{2i}{c^2 \rho s(u)} B_{(u)} + B_{(xx)} + \frac{2}{c^2 \rho \bar{R}} xB - N^2 xB + qB = 0, \quad (9)$$

$$N(u) = c^{-4} \rho^{-4} (\rho^2(u) - \rho \rho_{(uu)} + K(u)) > 0, \quad (9')$$

$$q(u, v) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{k!} \partial_v^k P(u, v) v^k \Big|_{v=0}, \quad \bar{R} \hbar^{-1/2} \rho^2(u, 0) \left( \frac{1}{\rho(u)} + \frac{\rho(v)}{\rho} \right)^{-1}. \quad (9'')$$

Сделаем еще одно преобразование в уравнении (9), теперь уже по координате  $u$ :

$$\tau = c^2 \int_0^u \rho(u') s_{(u')} du' \quad (10)$$

В новых координатах  $(x, \tau)$  уравнение (9) окончательно принимает вид

$$iB_{(\tau)} = -\frac{1}{2} B_{(xx)} + \left[ \frac{1}{2} \Omega^2(\tau) x^2 - F(\tau) x \right] B + q(x, \tau) B, \quad (11)$$

где сделаны обозначения:  $\Omega(\tau) = N^{1/2}(\tau)$ ,  $F(\tau) = [c^2 \rho(\tau) \bar{R}(\tau)]^{-1}$ . Как

следует из формулы (10), когда  $u$  определен на числовой оси  $-\infty < u < +\infty$ ,  $\tau(u)$  в зависимости от  $u$  монотонно меняющаяся функция

$$\tau(u \rightarrow (\pm \infty)) = (\mp \infty). \quad (12)$$

Другими словами  $\tau$  ведет себя как некий времяподобный параметр. Что касается выражения для частоты  $\Omega(\tau)$  и силы  $F(\tau)$ , то, исходя из условия задачи, они должны удовлетворять естественным граничным условиям

$$\lim_{\tau \rightarrow \mp \infty} \Omega(\tau) = \Omega_{\mp}, \quad \lim_{\tau \rightarrow \mp \infty} F(\tau) = 0. \quad (13)$$

Таким образом, нам удалось доказать, что в пределе  $\hbar \rightarrow 0$  коллинеарная задача трех тел с перегруппировкой сводится к задаче одномерного ангармонического квантового осциллятора с переменной частотой  $\Omega(\tau)$  в поле внешней силы  $F(\tau)$ . В том случае, когда вероятностный ток вдоль кривой  $l$  («координата реакции») сжат гармонически, или, что то же самое,  $q(x, \tau) = 0$ , уравнение (11) решается точно (см. например (7)).

$$B(x, \tau) = |\xi|^{-1/2} \exp\left(i\left[\eta(x - \eta) + \frac{1}{2} \left|\frac{\xi}{|\xi|}\right| |\xi|^{-1} (x - \eta)^2 + S_{cl}(\tau)\right]\right) D_n^{(-)}[(\Omega_-)^{1/2} |\xi|^{-1} (x - \eta), T] \quad (14)$$

$$D_n^{(-)}[(\Omega_-)^{1/2} |\xi|^{-1} (x - \eta(\tau)); T] = \left(\frac{1}{2^n n!} (\Omega_-/\pi)^{1/2}\right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \Omega_- |x - \eta(\tau)|^2 / |\xi(\tau)|^2 - i E_1 T(\tau)\right) H_n[(\Omega_-)^{1/2} |\xi(\tau)|^{-1} (x - \eta(\tau))] \quad (15)$$

$$T(\tau) = \int_{-\infty}^{\tau} |\xi_1(\tau')|^{-2} d\tau', \quad E_1 = \left[n + \frac{1}{2}\right] \Omega_-, \quad n = 0, 1, 2, \dots \quad (15')$$

В выражении (14)  $S_{cl}(\tau)$  классическое действие осциллятора

$$S_{cl}(\tau) = \int_{-\infty}^{\tau} L_{cl}(\tau') d\tau', \quad L_{cl}(\tau') = \frac{1}{2} \dot{\eta}^2 - \frac{1}{2} \Omega^2(\tau) \eta^2 + F(\tau) \eta, \quad (16)$$

где функция  $\eta(\tau)$  удовлетворяет уравнению осциллятора с естественными граничными условиями

$$\ddot{\eta} + \Omega^2(\tau) \eta = F(\tau), \quad \eta(-\infty) = \dot{\eta}(-\infty) = 0. \quad (17)$$

Что касается функции  $\xi(\tau)$ , то она — решение уравнения (17) с  $F=0$  и с асимптотикой

$$\xi_-(\tau) = \lim_{\tau \rightarrow -\infty} \xi(\tau) = c_- \exp(i\Omega_- \tau), \quad |\xi_-(\tau)| = |c_-| = 1. \quad (18)$$

Полную же волновую функцию коллинеарной системы трех тел легко получить, комбинируя соотношения (5), (15) и (15')

$$\Psi_+(n; x, \tau) = \exp\left(i\hbar^{-1} c^{-2} \tau - \frac{p}{2\hbar} x^2\right) B(x, \tau), \quad p = dp/d\tau. \quad (19)$$

Ввиду того, что асимптотическое состояние  $\Psi_{ss}^{(1)}(n; x, \tau)$  очевидно имеет вид

$$\Psi_{ss}^{(1)}(n; x, \tau) = \exp(i\hbar^{-1} c^{-2} \tau - i(n + 1/2)\Omega_- \tau) \varphi_n(x, \Omega_-), \quad (20)$$

$$\phi_n(x, \Omega_-) = \left( \frac{1}{2^n n!} (\Omega_-/\kappa)^{1/2} \right)^{1/2} \exp\left(-\frac{1}{2} \Omega_- x^2\right) H_n((\Omega_-)^{1/2} x) \quad (21)$$

то из предельного перехода:  $\lim_{\tau \rightarrow +\infty} \Psi^{(+)}(n; x, \tau) = \Psi_{as}^{(+)}(n; x, \tau)$

находим константу  $c$ :

$$c^2 = \frac{\hbar}{p_-} (\mu_-/\mu_0)^{1/2}, \quad p_- = \lim_{\tau \rightarrow +\infty} p(u(\tau), 0) \quad \mu_- = \frac{m_c m_b}{m_c + m_b} \quad (22)$$

Сделав замены  $n \rightarrow m$  и  $\Omega_- \rightarrow \Omega_+$ , из формулы (30) можно получить выражение для асимптотического состояния в далеком будущем, когда  $\tau \rightarrow +\infty$ . Для вычисления амплитуды вероятности перехода можно использовать стандартное представление для S-оператора рассеяния (см. например (8)).

$$S_{nm} = \lim_{\tau \rightarrow +\infty} \langle \Psi_{as}^{(+)}(m; x, \tau) | \Psi^{(+)}(n; x, \tau) \rangle, \quad \langle \dots \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} dx. \quad (23)$$

Подставляя в (23) выражения для  $\Psi^{(+)}(n; x, \tau)$  и  $\Psi_{as}^{(+)}(m; x, \tau)$  и проводя несложные вычисления, находим, что

$$W(n \rightarrow m) = |S_{nm}|^2 = \frac{(1-\mu)^{1/2}}{n!m!} |H_{nm}(x_1, x_2)|^2 \exp(-\nu(1-\mu^{1/2} \cos 2\delta)), \quad (24)$$

где  $H_{nm}(x_1, x_2)$  — полиномы Эрмита от двух аргументов. Кроме того, в (24) сделаны обозначения:

$$x_1 = (\nu(1-\mu))^{1/2} \exp(i\delta), \quad x_2 = -\nu^{1/2}(\exp(-i\delta) - \mu^{1/2} \exp(i\delta)). \quad (24')$$

В формулах (24), (24')  $\mu$ ,  $\nu$  и  $\delta$  — некоторые параметры, которые выражаются с помощью решений классического уравнения (17). В частности, если известно решение однородного уравнения (17) на всем «временном» интервале  $-\infty < \tau < +\infty$ , то, как показано в (7),

$$\xi_+(\tau) = \lim_{\tau' \rightarrow +\infty} \xi(\tau') = c_1^+ \exp(i\Omega_+ \tau) + c_2^+ \exp(-i\Omega_+ \tau), \quad (25)$$

$$c_1^+ = |c_1^+| \exp(i\beta_1^+), \quad c_2^+ = |c_2^+| \exp(-i\beta_2^+),$$

и тогда  $\mu$  определяется формулой  $\mu = |c_2^+/c_1^+|$ . Что касается параметров  $\nu$  и  $\delta$ , то они задаются следующими выражениями:

$$\nu^{1/2} = \left| \lim_{\tau \rightarrow +\infty} d(\tau) \right|, \quad \delta = (\beta_1^+ - \beta_2^+)/2 - \arg(\lim_{\tau \rightarrow +\infty} d(\tau)). \quad (26)$$

$$d(\tau) = i(2\Omega_-)^{-1/2} \int F(\tau') \xi(\tau') d\tau'. \quad (26')$$

В заключение хочу поблагодарить французскую благотворительную организацию «7 декабря 1988 г.» за финансовую поддержку данной работы.

Институт химической физики НАН Армении  
Институт прикладных проблем физики  
НАН Армении

Օրկամուկույային Իմիական փոխարկումների տեսությունը Բվանտային  
S օպերատորի ներկայացման շրջանակներում

Հետազոտված է վերախմբավորումով երեք մասրմնի քախման խնդիրը համագծային նմանակի շրջանակներում, Յուլյց է տրված, որ  $\hbar \rightarrow 0$  սահմանում այն հաջորդական ձևափոխությունների շնորհիվ բերվում է միաշափ ժամանակի ընթացքում փոփոխվող աններդաշնակ ճոճանակի խնդրին, Ուսումնասիրելով փոխարկման հավանականության հոսանքի ներդաշնակ խրտացման դեպքը «փոխարկման կոորդինատի» շուրջը քացահայտ ձևով կառուցված է ցրման S օպերատորի մատրիցական էլեմենտները, Օգտվելով դրանցից, անցման հավանականությունների ամպլիտուդների համար, կախված քախման էներգիայից, սկզբնական և վերջնական վիճակների քվանտային թվերից, ստացված են ամփոփ արտահայտություններ էրմիտի երկարգումներ քազմանդամների տեսքով:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ա Կ Ա Ն Ի Ի Զ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> А. С. Геворкян, ДАН АрмССР, т. 77, № 5 (1983). <sup>2</sup> А. В. Богданов, А. С. Геворкян и др. Л., 1985—46 с.—(Препринт АН СССР. Физ. техн. вн-т; № 998). <sup>3</sup> А. С. Геворкян, Тр. XI ВКЭАС. Чебоксары, 1991, с. 77. <sup>4</sup> М. Baer, Adv. Chem. Phys., v 49, № 191 (1982). <sup>5</sup> W. H. Miller, T. F. Georg, Chem. Phys., v. 56, № 11 (1972). <sup>6</sup> В. М. Бабич, Б. С. Булдырев, Асимптотические методы в задачах дифракции коротких волн, Наука, М., 1972. <sup>7</sup> А. И. Базь, Я. Б. Зельдович, А. М. Переломов, Рассеяние, реакция и распады в нерелятивистской квантовой механике. Наука, М. 1971.

УДК 536.46

Г. Н. Саргсян

**Роль гетерогенных факторов в возбуждении концентрационных автоколебаний при окислении ацетальдегида**

(Представлено чл.-корр. НАН Армении И. А. Варданян 20/VII 1993)

Примеры изучения концентрационных автоколебаний при холодно-пламенном режиме окисления углеводородов и других газов описаны в работах (1-4), в которых приводятся как экспериментальные, так и теоретические модели, объясняющие данное явление.

Колебательные режимы при окислении СО, этана, ацетальдегида, водорода, в условиях реактора полного перемешивания фундаментально исследованы Греем и сотр (3-5-7). Исходя из экспериментальных данных, авторы приходят к выводу, что в системах  $\text{CO} + \text{O}_2$  и  $\text{H}_2 + \text{O}_2$  подобные колебания обусловлены цепным разветвленным характером этих реакций. В случае реакций окисления этана и ацетальдегида колебания имеют термокинетический характер — в открытой системе осцилляции возникают из-за специфики тепло- и массообмена с окружающей средой.

Хотя наблюдаемое в процессе окисления ацетальдегида явление автоколебаний (3) объясняется только термокинетическим характером реакции, однако, учитывая чувствительность этой реакции к природе поверхности реакционного сосуда (8), представляет интерес выяснение роли поверхности в образовании автоколебаний. Согласно представлениям, развитым в работах (8-10), поверхность реакционного сосуда может принимать участие в различных стадиях цепного разветвленного процесса окисления ацетальдегида.

В настоящей работе исследованы динамические режимы цепного разветвленного процесса, при больших давлениях ( $P \sim 100$  кПа) и малых временах контакта, в случае зажигания смеси газов горячей поверхностью, на примере реакции  $\text{CH}_3\text{CHO} + \text{O}_2$ . В этих условиях, в начальной стадии процесса, объемные реакции затруднены из-за относительно низкой температуры в объеме, и реакция в основном локализована в приповерхностном слое.

В рамках представленной ниже модели принимается, что из-за генерации в объем продукта поверхностной реакции, являющегося ингибитором реакции, стенка реакционного сосуда может способствовать обрыву цепей в объеме.

Анализ модели осуществлен на основе совокупности следующих реакций:



В частности, авторы работы (14) приходят к выводу об участии радикалов  $(OH)_{ад}$  в реакциях с  $CO$ , альдегидами и т. д. Что касается  $RCO_3$ , то согласно (13) их реакция с альдегидами на поверхности приводит к образованию пероксидных соединений.

Представленная нами модель предполагает, что количество радикалов  $OH$  и  $RCO_3$  на стенке достигает стационарного значения.

При гетерогенной реакции радикалов  $(OH+RCO_3)S$  часть выделяющейся энергии может распределяться по внутренним степеням свободы продукта, в частности формальдегид может образоваться в электронно-возбужденном состоянии



что наблюдается в объемных реакциях окисления углеводородов (15). При стабилизации  $CH_2O^*$  высвечивает квант света, а продукт образуется в колебательно-возбужденном состоянии  $-CH_2O(v)$ . В дальнейшем колебательно-возбужденный формальдегид будет дезактивироваться при столкновении с другими частицами (реакции 6 и 7).

Математический формализм. Для удобства сделаем обозначения:

$$[RCO_3] \equiv x; [CH_2O(v)] \equiv y; [RCO_3H] \equiv n; [RCO] \equiv m; [RCO_2] \equiv l;$$

$$k_1[O_2] \equiv K_1; k_2[RCHO] \equiv K_2; k_3[M] \equiv K_3; k_7[RCHO] \equiv K_7.$$

Рассмотрим случай, когда из-за эффективного распада  $RCO_3H$  на поверхности в приповерхностном слое возникает ситуация, когда скорости рождения и гибели  $RCO_3H$  равны. Тогда для концентрации  $RCO_3H$  в реакционной зоне будем иметь

$$n = \frac{K_3 x}{k_3}. \quad (1)$$

Применяя метод квазистационарных концентраций по отношению к активным радикалам  $RCO$  и  $RCO_2$  при учете (1), получим:

$$l^0 = \frac{K_2 x}{K_7 + K_{10}}; \quad (2)$$

$$m^0 = \frac{2K_2 x}{K_1 - k_9}. \quad (3)$$

При условии достижения равновесия на стенке  $[xS]$ , после несложных математических преобразований получим:

$$[xS]^0 = \frac{k_4 S_0 x}{k_5 [(OH)_{ад}] + k'_4 x + k_4 x} \quad (4)$$

В условиях  $k'_4 x \ll k_5 [(OH)_{ад}]$ ;  $k_4 x$  и обозначив  $\alpha = k_4 / k_5 [(OH)_{ад}]$  и  $k_4 S_0 = K$ , (5)

где  $S_0$  — общее число центров на стенке, получим

$$[xS]^0 = \frac{Kx}{1 + \alpha x} \cdot \frac{1}{k_5 [(OH)_{ад}]} \quad (6)$$

После проведения вышеуказанных ограничений, имея в виду, что  $k_7 \gg K_{10}$ ;  $K_1 \gg 10^8 \gg k_9 \sim 10^{-1}$  (8), будем иметь два кинетических уравнения, описывающих поведение системы:

$$\frac{dx}{dt} = K_1 x - \frac{Kx}{1 + \alpha x} - k_6 xy \equiv P(x, y); \quad (7)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{Kx}{1+\alpha x} - k_6xy - k_8y \equiv Q(x, y). \quad (8)$$

В пределах предполагаемой схемы реакций и значений параметров (см. таблицу) исследуется поведение системы.

Рассмотрение вопроса о нахождении и квалификации стационарных состояний системы (7, 8) проведем постандартной схеме<sup>(16)</sup>.

Исключая параметр времени из системы уравнений (7, 8), получим дифференциальное уравнение первого порядка

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)}, \quad (9)$$

решениями которого являются интегральные кривые системы (7, 8). Точками равновесия на фазовой плоскости (x, y) являются решениями уравнений

$$P(x, y) = 0; \quad Q(x, y) = 0, \quad (10)$$

в которых  $\frac{dy}{dx}$  становится неопределенностью типа 0/0. Система (7, 8)

имеет три решения. Первое решение —  $(x_1=0; y_1=0)$ , а второе и третье решения находятся по формулам:

$$x_{2,3} = \frac{2k_6K - k_6K_2 - \alpha K_8K_2 \pm \sqrt{(2k_6K - k_6K_2 - \alpha K_8K_2)^2 - 4\alpha k_6K_8K_2(K_2 - K)}}{2\alpha K_8K_2};$$

$$y_{2,3} = \frac{K_2}{k_6} - \frac{K}{k_6(1 + \alpha x_{2,3})}. \quad (11)$$

Коэффициенты характеристического уравнения, соотношения между которыми позволяют установить вид особых точек, определяются из

$$\sigma = -(a+d); \quad \Delta = ad - bc; \quad \delta = (a-c)^2 + 4bc. \quad (12)$$

где  $a = \frac{\partial P}{\partial x} \Big|_{x^*, y^*}; \quad b = \frac{\partial P}{\partial y} \Big|_{x^*, y^*}; \quad c = \frac{\partial Q}{\partial x} \Big|_{x^*, y^*}; \quad d = \frac{\partial Q}{\partial y} \Big|_{x^*, y^*},$

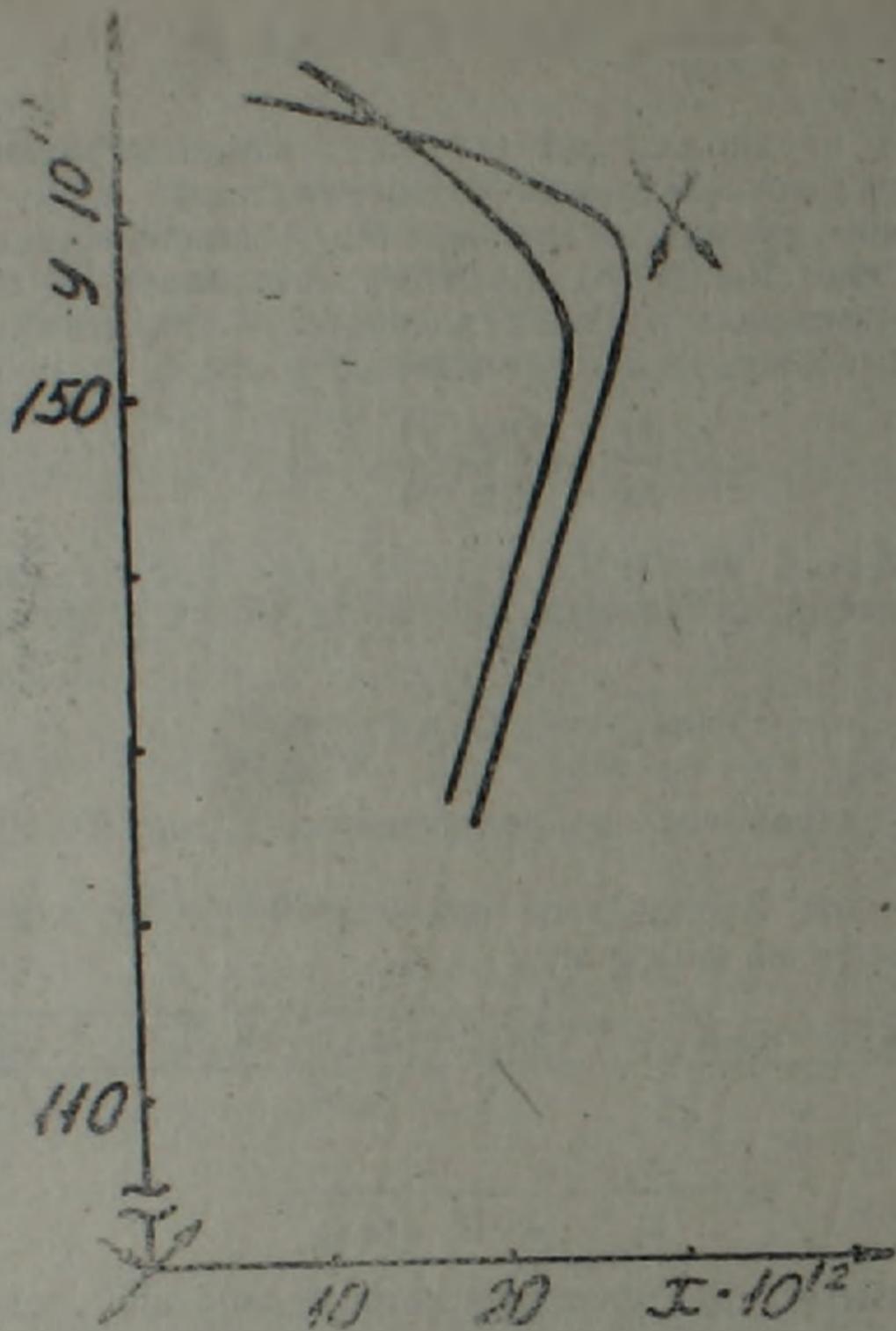
$x^*, y^*$  означает, что производные берутся в точках равновесия. Для системы (7, 8) имеем

$$a \equiv K_9 - \frac{K}{(1+\alpha x)^2} - k_6y; \quad b \equiv -k_6x; \quad c \equiv \frac{K}{(1+\alpha x)^2} - k_6y; \quad d \equiv -k_6x - K_8.$$

Для точки  $(x_2, y_2)$  при наборе значений параметров (1) (см. таблицу)  $\sigma < 0; \Delta > 0; \delta < 0$ , что соответствует неустойчивому «фокусу», при (2)  $\sigma > 0; \Delta > 0; \delta < 0$  — «фокус» устойчивый, в случае (3)  $\sigma = 0; \Delta > 0; \delta < 0$  — «фокус» сложный или, как принято говорить, составной.

Для точек равновесия  $(x_1, y_1)$  и  $(x_3, y_3)$  во всех трех случаях, приведенных в таблице,  $\Delta < 0, \delta > 0$ , что соответствует особой точке типа «седло».

Предельный цикл и автоколебания. Для нахождения предельного цикла можно воспользоваться графическим методом интегрирования, описанным в (16) и на фазовой плоскости (x, y) построить фрагмент одной фазовой траектории (рисунок) при значениях параметров, приведенных в таблице (случай 1). Траектория при малых смещениях от точки равновесия раскручивается, так как точка  $(x_2, y_2)$  неустойчивый



Фазовые траектории системы (7, 8) на плоскости переменных ( $x = \text{RCO}_3$ ); ( $y = \text{CH}_2\text{O}(v)$ )

«фокус», однако, доходя до окрестности точки ( $x = 1,5 \cdot 10^{13}$ ;  $y = 1,68 \cdot 10^{14}$ ), начинает скручиваться во внутрь и появляется возможность пересечения траектории как с собой, так и с другими траекториями. В данном случае пересечение траектории означает, что в этой области существует замкнутая траектория, на которой наматываются все траектории, идущие как с внутренней области, так и с наружной, так как бесконечность является неустойчивой, и следовательно все траектории, находящиеся между усами «седла» ( $x_1, y_1$ ) и ( $x_3, y_3$ ), между которыми находится точка ( $x_2, y_2$ ), будут стремиться к точке равновесия ( $x_2, y_2$ ), из которой в свою очередь траектории разбегаются.

В случае 2 (таблица) стационарная точка — устойчивый «фокус», откуда следует возможность возникновения затухающих колебаний.

В случае 3 (таблица) имеется составной «фокус», который при любых незначительных изменениях значений параметров превращается как в неустойчивый, так и в устойчивый «фокус». В случае неустойчивого «фокуса» будем иметь предельный цикл, в случае же устойчивого «фокуса» предельный цикл будет неустойчивым. Во всяком случае можно утверждать, что имеет место колебательное поведение системы — автоколебания или затухающие колебания.

Природу данного явления, в рамках предложенной модели, можно объяснить следующим образом. Первоначально молекулы  $\text{RCO}_3$  активно адсорбируются на поверхности и при этом генерируют в объеме

молекулы возбужденного формальдегида, которые накапливаются в поверхностном слое и в конце концов нейтрализуют  $\text{RCO}_3$  до очень низких значений его концентрации, переводя его в малоактивный радикал  $\text{HO}_2$ , вследствие чего и на поверхности уменьшается равновесная концентрация  $\text{RCO}_3$ , так как величина  $[\text{RCO}_3\text{S}]^0$  зависит от объемной концентрации  $\text{RCO}_3$ . Следующий этап — это опять активное увеличение  $\text{RCO}_3$  за счет реакции (1) и как следствие рост  $[\text{RCO}_3\text{S}]^0$ , которая снова начинает генерировать в объем большое количество  $\text{CH}_2\text{O}(\text{v})$ , и процесс повторяется.

Институт химической физики  
НАН Армении

#### Գ. Ե. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

Հետերոգեն գործոնների դերը ացետալդեհիդի օքսիդացման  
ռեակցիայում կոնցենտրացիոն ինֆնատատանումների գրգռման գործում

Դիտարկվում են շղթայական ճյուղավորված ռեակցիայում, կոնցենտրացիոն ինֆնատատանումների առաջացման պայմանները, կախված հետերոգեն ստադիաների բնույթից և ընթացքի օրինաչափություններից: Դիտարկումը կատարված է ացետալդեհիդի օքսիդացման ռեակցիայի օրինակի վրա, իզոթերմիկ պայմաններում:

Ցույց է տրված, որ գոյություն ունի պրոցեսը նկարագրող պարամետրերի արժեքների տիրույթ, որին հասնելու դեպքում ռեակցիայի դինամիկան նկարագրող ֆազային տարածությունում կարող են առաջանալ հավասարակշիռ սահմանային շրջագծեր, այսինքն ռեակցիան կարող է ընթանալ ինֆնատատանողական ռեժիմում:

Արված է հետևություն, որ ինֆնատատանումների առաջացման պատճառներից մեկը կարող է հանդիսանալ այն հանգամանքը, որ առաջատար  $\text{RCO}_3$  ռադիկալը մակերևույթի վրա բերում է արգասիքի առաջացման ( $\text{CH}_2\text{O}(\text{v})$ ), որի հետ ծավալում փոխազդելիս փոխարինվում է բիչ ակտիվ ռադիկալով:

#### ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

- <sup>1</sup> C. H. Yang, Combustion and Flame, v. 23, p. 97 (1974). <sup>2</sup> А. Д. Берман, А. В. Елник, ДАН СССР, т. 248, № 3, с. 643 (1979). <sup>3</sup> P. Gray, T. F. Griffiths, S. M. Hasko, c. a., Proc. R. Soc. London, Ser. A, v. 374, p. 313 (1981). <sup>4</sup> C. H. Yang, T. Phys. Chem., v. 73, p. 3407 (1969). <sup>5</sup> P. Gray, T. F. Griffiths, S. K. Scott, Proc. R. Soc. London, Ser. A, v. 397, p. 21 (1985). <sup>6</sup> P. Gray, T. F. Griffiths, S. K. Scott, Proc. R. Soc., London, Ser. A, v. 394, p. 243 (1984). <sup>7</sup> P. Gray, T. F. Griffiths, S. K. Scott, Twentieth Symposium of Combustion, p. 1809, 1984. <sup>8</sup> И. А. Варданян, А. В. Налбандян, Современное состояние проблемы газофазного окисления органических соединений, Ереван, Изд. АН АрмССР, 1986. <sup>9</sup> D. A. Bell, G. Skirrow, C. F. H. Tipper, Combustion and Flame, v. 12, p. 557, (1968). <sup>10</sup> B. T. Popleton, M. F. R. Mulcany, Austr. Journ. Chem., v. 19, p. 65, (1966). <sup>11</sup> D. T. Dixon, G. Skirrow, C. F. H. Tipper, Faraday Transaction, v. 1, № 6, p. 1078, (1974). <sup>12</sup> Э. А. Оганесян, Канд. дис., Ереван, 1976. <sup>13</sup> Р. А. Бахчаджян, К. Г. Казарян, И. А. Варданян, Химическая физика, т. 10, № 5, с. 659 (1991). <sup>14</sup> Л. А. Вартикян, Т. А. Гарибян, Г. Л. Григорян и др., Кинетика и катализ, т. 21, № 1, с. 174 (1980). <sup>15</sup> P. Gray, T. F. Griffiths, S. M. Hasko, Proc. R. Soc., London, Ser. A, p. 227 (1984). <sup>16</sup> А. А. Авдронов, А. А. Витт, С. Э. Хайкин, Теория колебаний, Физматгиз, М., 1959.

УДК 552.313

Г. А. Казарян

### Новые данные о формировании магматитов офиолитовых зон Армении

(Представлено чл.-корр. НАН Армении А. И. Карапетяном 12/V 1994)

Разрез офиолитовых зон Армении, состоящий из ультрабазитов верхней мантии и габброидов с кумулятивной зоной в основании, не полный, чем и отличается от офиолитовых зон континентальных плит различных регионов мира и глубоководных желобов (1-9). В основании вулканогенной толщи, повсеместно налегающей на размытой поверхности ультрабазитов и габбро, залегает комплекс терригенных образований из турбидитов, грубых песчаников и базальных конгломератов с обломками габбро, диабазов и известняков верхнего триаса. Этот комплекс на Зодском перевале имеет мощность 132 м, в районе с. Кутакан—35 м, в долине р. Чанлы—22 м, в Дзкнагете—12 м, на Памбакском хребте—45 м, в Даштакарском массиве офиолитовых габбро—6 м, в Октемберянском массиве (буровая скважина Октемберян-1)—25 м. Местами диабазы прислонены к древним выступам рельефа разложенных габбро и ультрабазитов.

Нижняя часть вулканогенной толщи состоит из диабазов, реже гна-локластитов, плагиориоцитов и их пирокластов в совокупности с субвулканическими интрузиями плагиогранитов (10). Верхняя часть толщи сложена трахибазальтами, трахитами и их пирокластами, переслаивающимися с известково-кремнистыми, радиоляриевыми осадками. Временный разрыв между формированием габбро и перекрывающими их вулканитами подтверждается также определениями абсолютного возраста пород — пегматиты Джил-Сатанахачского габбрового массива имеют возраст  $162 \pm 6$  млн. лет, а плагиограниты вулканической толщи— $114,6 \pm 0,9$  млн. лет (10). Следовательно, трансгрессивная вулканогенная толща чужда офиолитам. Это подтверждается особенностями распределения в вулканитах рассмотренных зон неподвижных элементов Zr, Ti, Sr, Y и факторным анализом по Пирсу (11), по которым эффузивы офиолитовых зон Армении имеют островодужную принадлежность, а также отношением изотопов стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,70482$ , на много превышающим значение, характерное для базальтов океанов.

Изложенные данные приводят к заключению, что блок коры океанического тела, обдукцированный на северо-восточный край Африкано-Аравийского субконтинента, подвергся глубокому размыву. И при

этом были уничтожены горизонты комплекса параллельных даек и абиссальных толеитовых базальтов.

По результатам изучения габбро офиолитовых зон Армении и других регионов мира с применением анализа строения ряда аналогичных по генезису массивов (Вуринос, Бей-оф-Айленд, Венд-Э-Зеяр, Восточное Папуа и др.) доказывается двухъярусное строение горизонта габбро и описываются условия их формирования. Габбровый горизонт состоит из нижнего, расслоенного подгоризонта, сложенного оливковыми габбро, габброноритами, габбро, ферро-габбро, в меньшей мере полевошпатовыми перидотитами, анортозитами, и верхнего, сложенного амфиболитовыми офитовыми габбро, в меньшей мере тоналитами и плагиогранитами.

В Севанской зоне наиболее крупный Зодский массив мощностью более 2,5 км представлен породами нижнего подгоризонта, а Джил-Сатанахачский—породами от самого начала нижнего подгоризонта, с кумулятивной зоной габбро на границе с ультрабазитами, до низов верхнего. В Вединской зоне Октемберянский массив, вскрытый буровыми скважинами, на протяжении 470 м представлен верхней частью нижнего подгоризонта и нижней частью (855 м) верхнего подгоризонта; в Црдутском массиве обнажены верхи нижнего подгоризонта (450 м) и низы—верхнего (950 м), состоящие из роговообманковых офитовых габбро и плагиогранитов; Даштакарский массив, в обнаженной части имеющий мощность более 600 м, целиком представляет верхним подгоризонтом, состоящим из амфиболовых офитовых габбро, тоналитов и плагиогранитов. На основании сопоставления мощностей обоих подгоризонтов габбро изученных массивов и других регионов (Вуринос, Бей-оф-Айленд, Семаил, Троодос и др.) мощность нижнего подгоризонта определяется в порядке 3,0—4,0 км, а верхнего—1,0—1,2 км.

Заложение формирования габбрового горизонта происходило в осевой зоне срединно-океанической рифтовой структуры внедрением в нее оливин-толеитовой расплава фронтальной части магматической диапиры. По мере поступательного раздвижения литосферных плит магматический расплав симметрично растекался по обе стороны рифта занимал пространство между ультрабазитами и горизонтом комплекса параллельных даек.

Двухъярусное строение габбрового горизонта закладывалось анабатической дифференциацией расплава внедрившейся магматической диапиры. В сформированном горизонте действовала кристаллизационно-ликвационная дифференциация расплава, приведшая к образованию скрытой зональности массива и его ритмичной расслоенности. В этом периоде определяющая роль принадлежала фации глубинности, обуславливающей комплекс параметров, имеющих важное значение в формировании магматитов (теплоотдача, термобарические условия, флюидный режим и т. д.) и в определенной степени визуально отраженной в структуре пород этих подгоризонтов.

«Сухой» оливин-толеитовый расплав нижнего подгоризонта и отчасти нижнего уровня верхнего развивался в пределах тетраэдра Ол-Опи-Кли-Пл по феннеровскому тренду с прогрессивным увеличением суммарного железа при постоянном уровне магния. Ортопироксеновый барьер, острый дефицит кремнезема, периодическое изменение термобарических и водно-кислородных условий, вероятно, обусловленные прерывистым спредингом литосферных плит, в определенной мере способствовали ликвации расплава и образованию ритмичной расслоенности.

Остаточный магматический расплав второй половины верхнего

подгоризонта, ограниченный в тетраэдре Опи-Кпи-Кв после выделения безводных минералов, в условиях нарастающего повышения парциального давления воды и кислорода (<sup>12</sup>) развивался по известково-щелочному тренду, образуя контрастную габбро-плагногранитную серию пород с парагенезом Кпи-Ам-Пл-Кв. Последним обоснуется возможность генерации гранитов из первично оливин-толеитового расплава.

Институт геологических наук  
НАН Армении

## Հ. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ

### Նոր տվյալներ Հայաստանի օֆիոլիտային զոնաների մագմատիտների ձևավորման վերաբերյալ

Ի տարբերություն մայրցամաքային օֆիոլիտների լրիվ կտրվածքի, Հայաստանի օֆիոլիտային զոնաներում զուգահեռ դայկալների կոմպլեքսի և խորջրյա տոլեիտային բազալտների հորիզոնների ապարները քայքայվել և հեռացվել են, իսկ ուլտաբազիտների և գաբրոների լվացված մակերեսի վրա տեղադրված դիարազներն օտար են օֆիոլիտներին և ունեն կղզաղեղային պատկանելիութուն:

Գաբրոային հորիզոնի տարբեր խորութուններում տիրող ջերմա-ճնշումային և ֆլյուիդալ պայմանները բազալտային հալոցքի զարգացման գործում ունեցել են որոշիչ դեր: Մտորին ենթահորիզոնում «չոր» օլիվին-տոլեիտային հալոցքը զարգացել է Օլ-Օպի-Կպի-Պլ տետրաէդրի սահմաններում ֆեներյան ուղիով: Վերին ենթահորիզոնում Օպի-Կպի-Քվ տետրաէդրում սահմանափակված հալոցքը, ջրազուրկ միներալների անջատումից հետո, ջրի պարցիալ ճնշման հարաճուն բարձրացման պայմաններում, զարգացել է կրա-ալկալային ուղիով, առաջացնելով հակադիր գաբրո-պլագիոգրանիտային ապարների շարքը:

## Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> P. G. Kodman, Офиолиты, Мир, М., 1979. <sup>2</sup> Д. Малпас, Р. К. Стевенс. Геотектоника, № 6, с. 83—102, 1977. <sup>3</sup> Э. М. Мурс, Д. Дж. Вайн в кн.: Петрология изверженных в метаморфических пород дна океана, Мир, М., с. 50—74, 1973. <sup>4</sup> А. В. Пейве. Геотектоника, № 6, с. 6—23, 1964. <sup>5</sup> А. С. Перфилев, Н. Н. Херасков в кн.: Тектоническая расслоенность литосферы, Наука, М., с. 64—192, 1980. <sup>6</sup> А. В. Пущин. Природа, № 9, с. 25—27, 1983. <sup>7</sup> В. С. Рождественский, А. Н. Речкин, Тихоокеаническая геология, № 2, с. 40—44, 1982. <sup>8</sup> F. Mosseley, S. L. Abbotts, *Ovovescas Geology and Mineral Resources*, № 62, p. 1—5 (1984). <sup>9</sup> A. Rassios, L. Beccaluve, V. Bortoletti, e. a., *Olioliti*, v. 8, № 3, p. 275—291 (1983). <sup>10</sup> Г. А. Казарян, Изв. НАН РА. Науки о Земле, т. 45, № 4, с. 3—13 (1992). <sup>11</sup> S. A. Pearce, *Jorn. of Petrology*, v. 17, № 1, p. 15—43 (1976). <sup>12</sup> E. E. Osborn, *Amer. Journ. Sci.*, № 275, p. 609—647 (1959):

СЕЙСМОЛОГИЯ

УДК 550.343.6

Р. А. Пашаян

Исследование режима подземных вод для выделения гидрогеодинамических эффектов, предшествующих землетрясениям

(Представлено чл.-корр. НАН Армении А. И. Карапетяном 2/IV 1994)

С целью выделения вариации уровня подземных вод, предшествующих землетрясениям, в работе обсуждается режим трех из шести гидрогеодинамических скважин, расположенных в северной зоне Армении—скважины № 1, пробуренной в осадочных и вулканогенно-осадочных породах мезозойского и палеогенового возрастов, и скважин № 9 и 10, пробуренных в тех же породах, но покрытых мощным плащом неоген-четвертичных сильно водоносных вулканических образований (табл. 1).

Таблица 1

№ скважины	Глубина фильтра, м	Водовмещающие породы и их возраст	Установившийся уровень подземных вод, м
1	132—150	Туфобрекчия, трещиноватые, скварцевания (Pg, Mz)	7,0—11,0
9	140—150	Крупные обломки изверженных пород (Ng, Q)	61,4—62,0
10	101—110	Андезит-базальты (Ng, Q)	5,8—6,4

Наблюдения за уровнем вод в скважине № 1 (Ноемберян) проводятся с 1987 г. В годовом ходе изменения уровня вод заметен четко выраженный сезонный ход. Максимальные значения уровня отмечаются в августе-сентябре и коррелируются с количеством выпадающих осадков, максимумы которых приурочены к апрелю—маю. Пики уровней вод запаздывают по сравнению с максимумами осадков на 2—3 месяца, что, очевидно, указывает на существенную глубинность водоносной зоны. Периодичность изменения сезонного хода уровня составляет один год. Изменения в сторону увеличения и уменьшения периода связаны с конкретными гидрометеорологическими условиями. Диапазон изменения амплитуд (табл. 2) показывает, что различие в значениях амплитуд колебания уровня вод в скважине от года к году является следствием вариации количества годовых осадков (от 607 мм в 1988 г. до 277 мм в 1993 г.), взаимоотношений количества твердых и жидких атмосферных осадков. На уровень подземных вод влияют колебания атмосферного давления, которые изменяются в пределах 1100—970 мб. Замеры атмосферного давления на скважине № 1, проведенные в течение трех лет (1988, 1989, 1990) на устье скважины прибором ГД-2, позволили зафиксировать колебания от 1020 до

1040 гПа, в последующие 3 года согласно данным гидрометцентра колебания были в пределах от 950 до 970 мб.

Несмотря на схожесть геологического разреза, вследствие влияния напорного горизонта уровень воды в скважине № 10 установился на глубине 6 м, в скважине № 9—60 м. Наблюдения за уровнем вод в этих скважинах проводятся с 1990 г. По скважине № 9 (Амасия) в 1990 и 1991 гг. уровень воды колебался в пределах  $62 \pm 0,25$  м. Во второй половине 1992 г. уровень воды в скважине резко упал до 64,5 м и оставался неизменным в течение всего 1993 г., что, вероятно, вызвано неполадками в фильтрационной части скважины, приведшими к отсутствию фиксации гидрогеодинамических процессов. В годовом колебании уровня воды в скважине отмечается отсутствие сезонного хода. Уровень воды в скважине в 1990 г. колебался в пределах 61—62,1 м, без видимых максимумов. В 1991 г. диапазон колебаний несколько меньше (от 61,6 до 62,4 м), также без четко выраженных максимумов и минимумов.

Изменение количества осадков за отмеченные годы более контрастно, чем изменение уровня вод, т. е. атмосферные осадки не влияют на колебания уровня вод.

По скважине № 10 (Гукасян) сезонный ход выражен слабо и носит нерегулярный характер. В 1990 г. уровень воды в скважине № 10 имеет минимум в январе (6,7 м) и максимум в июле-августе (5,5 м); в 1991 г.—минимум в марте (6,6 м), максимум в августе-сентябре (5,6 м), т. е. по сравнению с 1990 г. сдвинут на 2 месяца; в 1992 г.—минимум в феврале (6,6 м), максимум—в июле (5,7 м), в 1993 г.—минимум в январе (6,4 м), максимум—в июне (5,7 м). Периодичность колебания уровня выражена слабо и равна примерно одному году.

Диапазон изменений амплитуды для всех трех скважин от уровней стояния подземных вод приведен в табл. 2.

Таблица 2

№ скважины	Изменение амплитуды уровня вод в скважинах по годам.						
	м						
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
1	4,3	3,0	3,5	3,5	4,0	2,0	2,8
9	—	—	—	1,0	0,8	1,9	0,15
10	—	—	—	1,2	1,0	0,8	0,7

В скважинах № 9 и 10 отмечается прямая корреляция между количеством выпадающих осадков и амплитудой изменения уровня стояния подземных вод. Так, амплитуда для скважины № 10 при годовом количестве осадков 645 мм в 1990 г. составила 1,2 м, в 1991 г. при 534 мм достигла 1,0 м, в 1992 г. при 530 мм—0,8 м, в 1993 г. при 504 мм—0,7 м, что может свидетельствовать о прямой связи подземных вод в N—Q вулканических породах с климатическими факторами.

Периодические колебания уровня воды в скважинах, вероятно, связанные с воздействием приливообразующих сил, приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ скважины	Амплитуда приливных вариаций уровня, мм	Параметры пилообразных вариаций	
		период, ч	амплитуда, мм
1	20—80	2—18	10—12
9	не обнаружено	4—14	10—40
10	не обнаружено	2—7	10—20

Полусуточные вариации уровня воды наблюдаются на скважине № 1 начиная с 1989 года. Пилообразные колебания уровня вод в скважине № 9 имеют большую амплитуду, чем в скважине № 10, а в скважине № 1 они происходят на фоне повышения.

В 1991 г. были зафиксированы аномальные изменения уровня воды в скважинах, которые, по-видимому, можно рассматривать как предвестники Рачинского землетрясения ( $M=6,3$ ), происшедшего 29. 04. 1991 г. в Грузии.

На скважине № 1 на фоне установившегося уровня воды 11,88 м было отмечено его резкое повышение на 2,5 м в период между 15 и 30 марта 1991 г. Затем, до конца апреля, продолжалось постепенное повышение уровня. За 1,5 месяца до землетрясения аномальное повышение уровня составило 165 см.

На скважине № 9 8 апреля 1991 г. за сутки уровень воды повысился на 15 см, затем, до конца апреля, он постепенно понижался. В итоге перед землетрясением уровень воды в скважине снизился на 21 см.

На скважине № 10 25 марта 1991 г. имело место ступенчатое повышение уровня на 13 см, которое достигло 35 см. Затем в течение последующего месяца уровень воды остается неизменным на глубине 6,40 м.

Таким образом, по сравнению со скважиной № 1 гидрогеодинамические скважины № 9 и № 10 на Рачинское землетрясение среагировали слабее скважины № 1, что, по-видимому, обусловлено различиями геологического разреза.

В результате выделены аномалии колебаний уровня подземных вод в гидрогеодинамических скважинах, предшествовавшие землетрясению 29. 04. 91 г., имеющие следующие характеристики:

Таблица 4

№ скважины	Время аномалии, сутки	Амплитуда, изменений уровня, см	Тип изменения	Эпицентрально-ное расстояние, км
1	45	165	Бухтообразное повышение	181
9	30	21	Ступенчатое понижение	161
10	30	23	Ступенчатое повышение	145

Гарнийская геофизическая обсерватория  
НАН Армении

Ռ. Ա. ՓԱՇԱՅԱՆ

Ստորերկրյա ջրերի ուսումնասիրությունները երկրաշարժերին նախորդող հիդրոգեոդինամիկ էֆեկտներ հայտնաբերելու նպատակով

Հողվածում ներկայացված է հիդրոգեոդինամիկ էֆեկտների ուսումնասիրությունը՝ կապված հորատանցքերում ստորերկրյա ջրերի մակարդակի տատանման հետ:

Հայաստանի հյուսիսային տարածքի ստորերկրյա ջրերի ուսումնասիրությունը թույլ է տալիս անջատել էֆեկտները, որոնք անմիջականորեն կապված են երկրաշարժերի հետ:

УДК 624. 131. 37

Член-корреспондент НАН Армении Г. И. Тер-Степанян, Л. Л. Матевосова

### Структурообразование глины при циклической сдвигающей нагрузке

(Представлено 23/XII 1993)

Структура грунта в реологическом смысле определяется взаимным пространственным расположением частиц грунта, контактов между ними и величиной и направлением элементарных сил, действующих в точках контакта и обеспечивающих устойчивые связи между частицами. Ранее было показано, что в процессе деформирования возникают, развиваются и разрушаются последовательные структуры грунта; переход от одной структуры грунта к другой совершается скачкообразно<sup>(1,2)</sup>. В настоящей статье исследуется поведение грунта при циклически изменяющейся нагрузке.

Как известно, при реологических испытаниях грунтов опыты необходимо проводить над свежими образцами<sup>(3)</sup>, т. е. над образцами, которые до того не подвергались нагружению или деформированию. Строго говоря, это требование выполнимо лишь частично, в случае реологических испытаний грунтов, в частности оползневых, и невыполнимо при осуществлении циклического нагружения; изложенное ниже должно быть оценено с указанным ограничением.

Для исследований был взят глинистый грунт с глубины 14,5 м из скважины, пробуренной на Ацаванском оползне в Армении. Испытания проводили над образцом с перемятой структурой на кольцевом приборе Тер-Степаняна (описание схемы прибора см. в<sup>(1)</sup>). Испытуемый образец представляет собой грунтовое кольцо высотой  $h = 15$  мм, с внешним диаметром  $2\Gamma_2 = 125$  мм и внутренним  $2\Gamma_1 = 85$  мм. Образец укладывали на опорный диск; для предотвращения бокового выдавливания его заключали между внутренними и внешними ограничительными кольцами. С верхней и нижней сторон грунт соприкасался с фильтрами, обеспечивающими дренажное. Для устранения капиллярного давления грунт заливали водой. Вертикальную нагрузку прилагали постепенно, начиная с 18 кг (18+22+30+33 кг). Процесс консолидации продолжался 18 дней. Затем сразу была приложена горизонтальная нагрузка и начато наблюдение за ползучестью. Принимается, что возникшие напряжения равномерно распределены в горизонтальной плоскости, т. е. грунт пластичен.

Величины средних напряжений вычисляются из выражений:  
нормальное

$$\sigma = \frac{P_g}{z(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2)} = 1,5P; \quad (1)$$

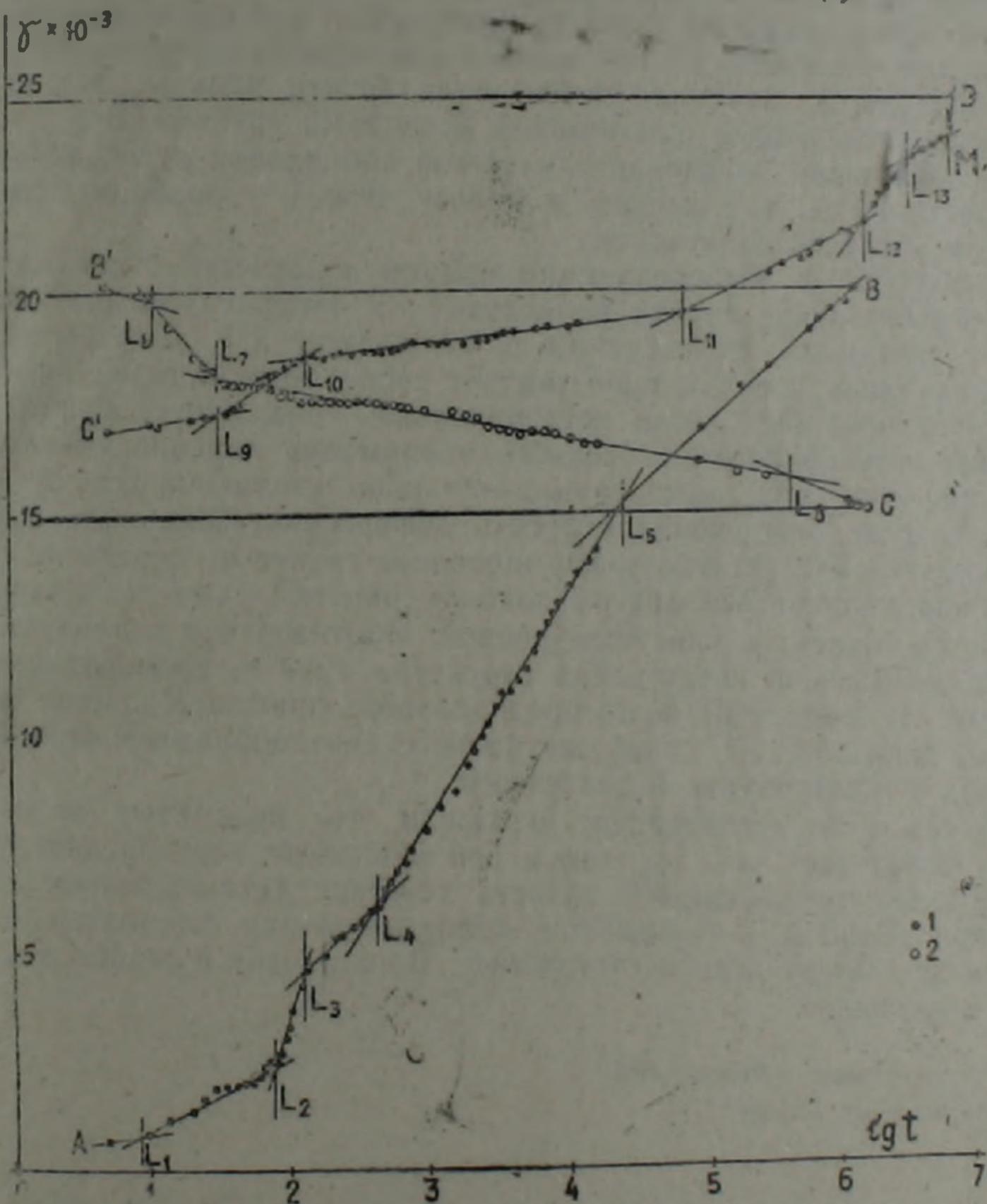
касательное

$$\tau = \frac{3M}{2\pi(\Gamma_2^2 - \Gamma_1^2)} - 2Q. \quad (2)$$

где  $M = Qgd/2$  — момент, вызванный массой горизонтальной нагрузки  $Q$ ,  $d = 145$  мм,  $g = 9,81$  м. с<sup>-2</sup>. Опыт проведен при нормальном напряжении  $\sigma = 100$  кПа и касательном  $\tau = 30$  кПа.

Отсчеты велись первую минуту каждые 5 с, следующие 12 мин — каждые 30 с, дальше в течение двух часов — через каждые 5 мин, далее через 30 мин и через час. В течение 10 дней отсчеты проводили ежедневно и далее 1—2 раза в неделю. Опыт длился 115 дней.

Действие первого нагружения продолжалось 14 дней. Результаты опыта приведены на полулогарифмическом графике зависимости между временем и деформацией сдвига (рисунок). Первое нагружение представлено участком АВ. Затем горизонтальная нагрузка была сня-



Линеаризация кривых ползучести на полулогарифмическом графике. Дренарованное испытание на ползучесть при сдвиге в кольцевом приборе при циклическом приложении сдвигающего напряжения  $\tau = 30$  кПа нормальное напряжение  $\sigma = 100$  кПа действовало непрерывно. Грунт — перемятый суглинок из Ацавапского оползня в Армении. АВ — нагружение, В'С — разгружение, С'Д — повторное нагружение. Абсцисса — логарифм времени в секундах; ордината — деформация сдвига.  $L_1 - L_{13}$  скачкообразные перестройки структуры. 1 — нагружение, 2 — разгружение

та, и в течение 17 дней велись наблюдения за обратной ползучестью (участок В'С). Наконец, была повторно приложена горизонтальная нагрузка  $\tau=30$  кПа и в течение 84 дней велись наблюдения за прямой ползучестью (участок С'Д).. Поскольку на логарифмической шкале  $\lg t$  не может быть показана точка, соответствующая  $t=0$ , и первый отсчет делался через 5 с после приложения нагрузки, то во всех случаях ординаты конечных точек предшествующих этапов опыта (В, С) и начальных точек последующих этапов (В', С') на графике не совпадают.

Структурообразование грунта при снятии касательных напряжений (обратная ползучесть, ветвь В'С) качественно происходит совершенно так же, как и в процессе прямой ползучести, т. е. при приложении нагрузки (ветвь АВ). Однако количественно величина обратной ползучести существенно меньше, что свидетельствует об остаточной деформации.

Сравнение графиков первого (ветвь АВ) и второго (ветвь С'Д) нагружения показывает, что процесс ползучести происходит также скачкообразно, но величина деформации грунта меньше. Это явление характерно для любых циклических испытаний грунтов. Все три кривые обнаруживают чередование участков замедления и ускорения процесса ползучести, что говорит в пользу тезиса о подобии процессов прямой и обратной ползучести.

Предыдущими исследованиями прямой ползучести было показано, что деформирование грунта происходит на четырех уровнях: молекулярном, частичном, структурном и агрегатном (4). Деформирование на нижних двух уровнях представляет собой детерминированный процесс, подчиняющийся четко установленным уравнениям: в фазах мобилизации и стабилизации скорость деформации линейно уменьшается со временем, в фазе акцелерации—линейно увеличивается со временем, а в фазе разрушения скорость деформации сохраняет свое постоянное значение. Однако деформирование грунта на агрегатном уровне должно подчиняться другим закономерностям самоорганизации вещества, выражаемым присущей кривой. Противоречие реализуется путем скачкообразной перестройки структуры грунта, происходящей при большом отклонении от хода, предписанного присущей кривой. Исследования показали, что такой же процесс скачкообразной перестройки происходит и при обратной ползучести.

Проведенное исследование показало, что перемятые оползневые грунты ведут себя так же, как и ненарушенные переконсолидированные грунты, что расширяет область действия установленных закономерностей. Выявлено уменьшение деформации при структурообразовании, свидетельствующее о гистерезисе. Вопрос этот нуждается в дальнейшем изучении.

Институт геофизики и инженерной  
сейсмологии НАН Армении

Հայաստանի ԿԱԱ թղթակից առդամ Գ. Ի. Տեր-Ստեփանյան, Լ. Լ. Մաթևոսովա

Կավերի ստրուկտուրաների առաջացումը ցիկլային տեղաշարժող  
բռնվածքի ժամանակ

Նախորդ հետազոտությունները բացահայտեցին սահմանակա-  
վերում ստրուկտուրաների առաջացման մի շարք օրինաչափություններ:  
Սկզբունքորեն նույն պրոցեսները տեղի են ունենում ցիկլային բռնվածքի  
176

դեպքում բեռնաթափման և կրկնակի բեռնաթափման դեպքում առաջանում. զարգանում և քանդվում են իրար հաջորդող ստրուկտուրաներ (նկար): Ուշագրավ է, որ բեռնաթափման և կրկնակի բեռնաթափման ընթացքում ստրուկտուրաները առաջին բեռնավորման համեմատ ավելի մեղմ են արտահայտվում:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ր Վ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> I. M. Burgers, B. Scott, Report on the principles of rheological nomenclature, Joint Committee on Rheology, Intern. Congress on Rheology, Holland, 1949 <sup>2</sup> Գ. Մ. Եր-Տեպանյան, Проблемы геомеханики, Ереван, вып. 7 (1976). <sup>3</sup> G. Ter-Stepanian, in: Geomechanics and Water Engineering in Environmental Management, Chowdhury R. N. (ed.) Rotterdam, A. A. Balkema, p. 529—558, 1992. <sup>4</sup> Գ. Մ. Եր-Տեպանյան, Инженерная геология, № 3, с. 11—26, 1988.

УДК 658.1.011.44:008

И. Р. Овкнмян

### Принцип функциональной организованности объектов конструкции

(Представлено академиком НАН Армении М. В. Касьяном 19/IV 1992)

В ускорении научно-технического прогресса важная роль принадлежит функционально-стоимостному анализу (ФСА). Будучи методом комплексного технико-экономического исследования и совершенствования функций, конструкции объекта и его составных частей, ФСА способствует максимальной оптимизации проектно-конструкторских и технологических работ, рационализации и повышению эффективности производства, улучшению качества изделий, их функций, значительной экономии затрат материальных средств, энергии, времени, снижению себестоимости изделий, соответствию их лучшим мировым стандартам.

Целью настоящей работы является определение роли принципа функций организованности объекта при ФСА и внесение некоторого усовершенствования в эту методику (на примере применения ФСА автомата раскалибровки).

В основе функциональной организованности объекта лежит определение его комплексной характеристики и степени соответствия основным принципам структуры. Отдельные элементы организованной системы должны рассматриваться со всеми ее остальными элементами с учетом их структурно-функциональных свойств (<sup>1</sup>). На наш взгляд, эта методика нуждается в некотором совершенствовании. Коэффициент функциональной организованности ( $K_{орг}$ ) определяется формулой:

$$K_{орг} = f(K_{сг}, K_{ат}, K_{вт}, K_{упг}) \quad (1)$$

где  $K_{сг}$  — коэффициент совместимости функции;  $K_{ат}$  — коэффициент актуальности функции;  $K_{вт}$  — коэффициент функционального воплощения концентрации функции;  $K_{упг}$  — коэффициент управляемости (гибкости) функции.

Совместимость характеризуется коэффициентом совместимости, показывающим долю элементов согласования в общем числе необходимых элементов изделия. Актуальность функции при проектировании новых изделий выступает как условие прогрессивности создаваемых конструкций, технологических процессов. Для концентрации усилий от-

дельных функций и элементов объекта применяется принцип их сосредоточения (воплощения). Принцип гибкости (управляемости) проявляется обратимо сменяющимися функциями в зависимости от условий, в которые попадают эти системы, и при проектировании, по нашему мнению, обусловлен не только самопроизвольными внутренними преобразованиями объекта, но и воздействиями внешней среды, требованиями сферы потребления.

Как показали наши исследования, выбор вариантов конструкции изделия во многом зависит от усовершенствования формулы определения принципов функциональной организованности. В методику ФСА нами введены принцип многофункциональности ( $K_{mf} \geq 1$ ) и коэффициент оптимальности проектных решений, где  $K_{оп} \rightarrow \min$ .

Показано, что некоторые детали механизма контактирования автомата раскалибровки имеют одновременно множество полезных функций, выполняемых отдельными многофункциональными элементами. Благодаря этому уменьшается число материальных носителей и снижаются их затраты (табл. 1). Например, применяемый в механизме контактирования кронштейн Р4М8.094.401 выполняет ряд функций: закрепляет корпус 5 и планки 8, передает движение от сердечника 4 электромагнита к корпусу 5 с контактами 2; корпус Р4М7.772.007 монтирует, закрепляет и удерживает катушку 1. Исходя из этого мы выделяем принцип многофункциональности (многосторонности). Это можно отразить следующей формулой:

$$\sum_{l=1}^n f_{mfpl} \geq \sum_{l=1}^m N_{mfpl}, \quad (2)$$

где  $l=1, 2, \dots, m, n$ ;

$\sum_{l=1}^n f_{mfpl}$  — сумма полезных функций у многофункциональных элементов;

$\sum_{l=1}^m N_{mfpl}$  — сумма полезных элементов с многочисленными функциями.

Поэтому нами предложено определение  $K_{mf}$  — коэффициента принципа многофункциональности (многосторонности), представляющего собой отношение суммы полезных многосторонних функций к сумме единичных полезных функций:

$$K_{mf} = \frac{\sum_{l=1}^n f_{mfpl}}{\sum_{l=1}^m f_{pl}} \geq 1; \quad \text{где } l=1, 2, \dots, m, n. \quad (3)$$

Можно вывести также коэффициент многофункциональности элементов ( $K_{mfz}$ ) — отношение числа многофункциональных элементов к числу элементов с единичными полезными функциями ( $N_n$ ):

$$K_{mfz} = \frac{\sum_{l=1}^n N_{mfpl}}{\sum_{l=1}^m N_n} \geq 1, \quad (4)$$

где  $l=1, 2, \dots, m, n$ .

Таким образом,

$$K_{орг} = f(K_{cf}, K_{af}, K_{bf}, K_{vnl}, K_{mf}). \quad (5)$$

В целом функциональная организованность рассчитывается по формуле (6):

Состав и степень участия функции механизма контактирования при ФСА

Обозначение функции	Ранг функции	Материальный носитель	Функциональное назначение
F <sub>111</sub>	О	1. Катушка Р4М4.558.035	Создание магнитного поля
f <sub>1111</sub>	В	а. Каркас Р4М8.014.034	Намотка проводов
f <sub>1112</sub>	В	б. Бумага кабельная КВИ-120—012 30 158 ГОСТ 645—79	Изоляция обмотки
f <sub>1113</sub>	В	в. Провод ПЭВ-1,02 ГОСТ 7262—78	Проведение тока
f <sub>1114</sub>	В	г. Трубка 4ДО.502 ГОСТ 22056—78	Изоляция проводов
F <sub>112</sub>	О	2. Контакт Р4М7.732.049	Контактирование с основанием ТПЭ
f <sub>1121-1</sub>	В	3. Корпус Р4М7.772.007	Монтаж катушки
f <sub>1121-2</sub>	В		Закрепление катушки
f <sub>1121-3</sub>	В		Удержание катушки
F <sub>113</sub>	О	4. Сердечник Р4М7.773.007	Создание электромагнитных сил
f <sub>1131-1</sub>	В	5. Корпус Р4М7.800.024	Размещение контактов
f <sub>1131-2</sub>	В		Изоляция контактов друг от друга
f <sub>1134</sub>	В	6. Планка Р4М7.834.025	Закрепление корпуса 5 лепестков
f <sub>1135-1</sub>	В	7. Кронштейн Р4М8.094.401	Закрепление корпуса 5
f <sub>1135-2</sub>	В		Закрепление планки 8
f <sub>1135-3</sub>	В		Передача движения от сердечника электромагнита к корпусу 5 с контактами 2
f <sub>11312</sub>	В	8. Планка Р4М8.601.744	Ограничивание движения

$$K_{оргj} = \sum_{i=1}^n a_i \times K_{ij} \quad (9)$$

где  $a_i$  — значимость изменений коэффициента  $i$ -го принципа;  $K_{ij}$  — коэффициент, который удовлетворяет  $i$ -му принципу данного  $j$ -го варианта.

В табл. 2 показана функциональная организованность вариантов для механизма «ориентации и подачи» автомата раскалибровки.

Таблица 2

Уровень  $K_{орг}$  механизма ориентации и подачи

Принципы	Весомость принципов	Варианты		
		I	II	III
$K_{с1}$	0,5	1	1	1
$K_{в1}$	0,5	1	1	1
$K_{вон1}$	0,4	3	1,5	2
$K_{иф1}$	0,5	1	1	1
$K_{орг}$	—	2,7	2,1	2,3

Примечание.  $K_{упр1} = 0$ , так как управляемость механизма ориентации и подачи жесткая.  $K_{орг}$  рассчитывается по формуле (6):

$$K_{оргI} = 0,5 \times 1 + 0,5 \times 1 + 0,4 \times 3 + 0,5 \times 1 = 2,7;$$

$$K_{оргII} = 0,5 \times 1 + 0,5 \times 1 + 0,4 \times 1,5 + 0,5 \times 1 = 2,1;$$

$$K_{оргIII} = 0,5 \times 1 + 0,5 \times 1 + 0,4 \times 2 + 0,5 \times 1 = 2,3.$$

Из табл. 2 видно, что из предложенных трех вариантов конструкции функции механизма ориентации и подачи ТПЭ наибольшая организованность функции механизма отмечалась в первом. Но он, как указано в табл. 3, очень материалоемкий и трудоемкий. Первый и второй

Частные показатели функциональной организованности по вариантам

Варианты	Прямые затраты ( $Z_{пр}$ )	$K_{орг}$	$\frac{Z_{пр}}{K_{орг}}$
I	16,02	2,7	5,933
II	9,45	2,1	4,52
III	10,77	2,3	4,68
IV	9,98	2,3	4,339

варианты имеют низкую производительность, так как пластина, которая передвигает ТПЭ, реализует свою функцию не полностью. После выполнения процессов ориентации ТПЭ снова попадают в чашу. В III варианте функциональная организованность ниже, чем в первом, выше, чем во втором, но производительность выше, чем в остальных вариантах, а материало- и трудоемкость ниже (рис. 1).

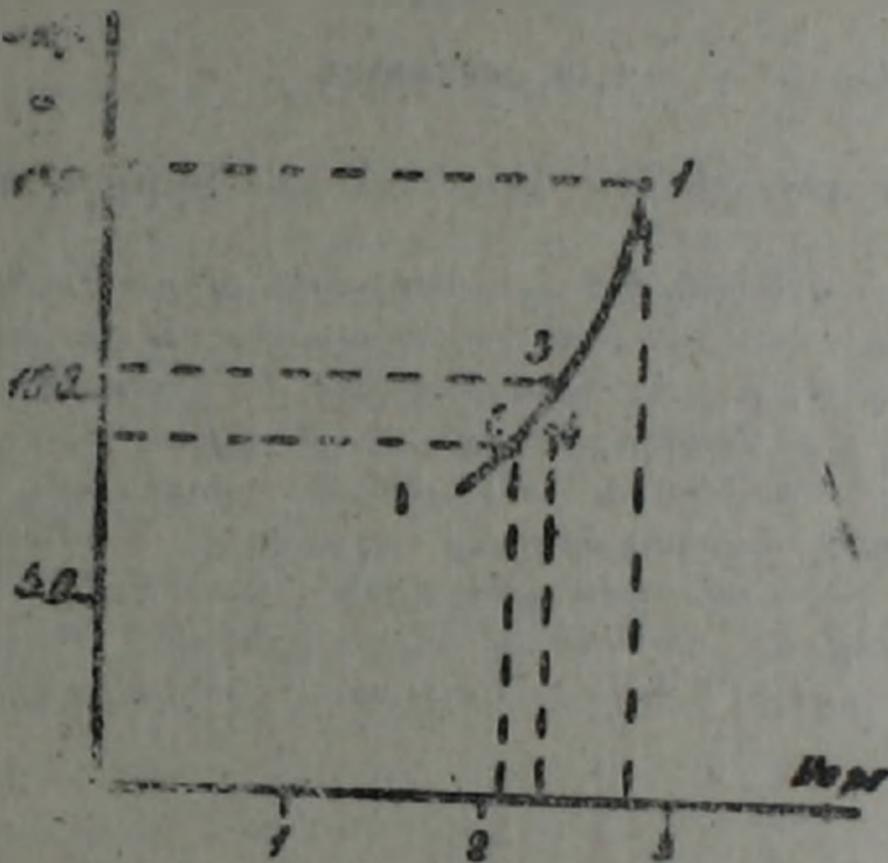
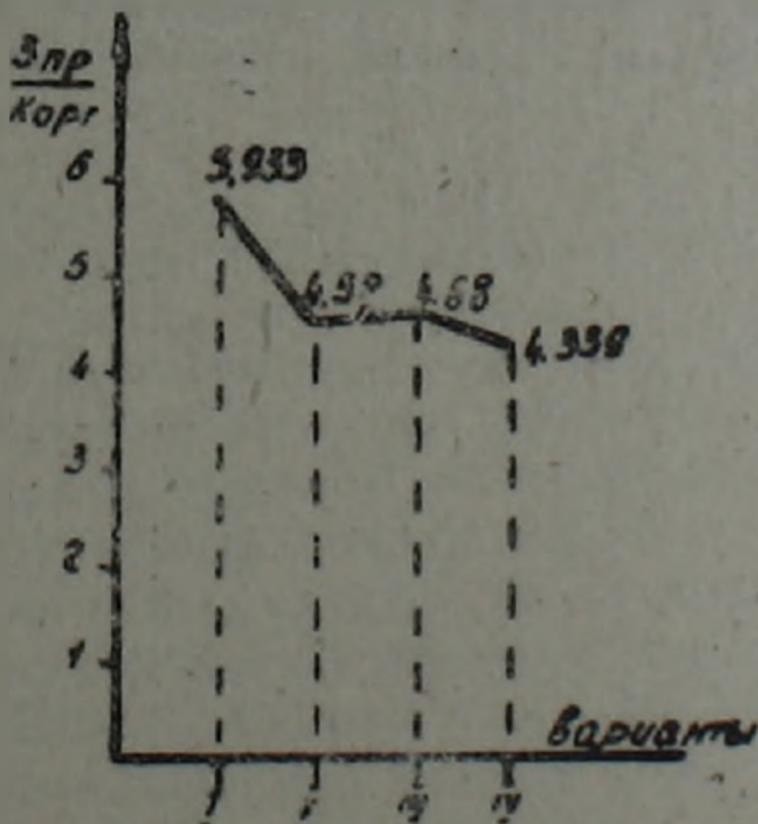


Рис. 1. Изменение прямых затрат в зависимости от коэффициента организованности

Рис. 2. Изменение  $\frac{Z_{пр}}{K_{орг}}$  в зависимости от вариантов решения

На рис. 2 показана зависимость отношения прямых затрат от функциональной организованности ( $Z_{\text{пр}}/K_{\text{орг}} = K_{\text{оп}}$ ) при трех вариантах конструкции узла ориентации и подачи. При изменении материалов детали чаш III варианта конструкции (замена материала Д16 на полистироль ПС-1—70) мы получаем IV вариант (рис. 1, 2, табл. 3) производительность которого намного выше. Поэтому последний вариант и был выбран нами в настоящем исследовании.

Таким образом, ФСА—фактически технико-экономический анализ позволяющий уделять внимание не только снижению затрат, но и повышению качества и производительности работы конструкции. Теория функциональной организованности является важным звеном в раскрытии процессов формирования качества конструкции и стоимости функций изделий.

Центральное КБ технологии и оборудования  
«Нейтрон»

Ի. Ռ. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ

### Առարկայի ֆունկցիոնալ կազմակերպվածության սկզբունքները

Ցույց է տրված ֆունկցիոնալ արժեքային վերլուծության օգտագործումը հասանքահաղորդիչ էլեմենտների տրամաշափարկման ավտոմատի նախագծման վաղ փուլում, ինչպես նաև մտցված են շտկումներ այդ մեթոդում:

Ֆունկցիոնալ կազմակերպվածության թեորիան հանդիսանում է կարևոր օղակ որակի ձևավորման բացարկման պրոցեսում: Ֆունկցիոնալ կազմակերպվածության հասկացությունը առարկայի համալիր քննթագիրն է որոշում է նրա համապատասխանության աստիճանը ըստ ֆունկցիոնալ կազմակերպվածության հիմնական սկզբունքների: Բազմաֆունկցիոնալության սկզբունքը ավելի է կատարելագործում կոնստրուկցիայի կազմակերպվածությունը:

### ЛИТЕРАТУРА — ՉՐԱՇԱԿՆՈՒՄՆԵՐ

Ю. П. Анискин, Н. К. Моисеева, А. В. Проскуряков, Новая техника: повышение эффективности создания и освоения. Машиностроение, М., с. 33—42, 1980

УДК 577.152.24

Л. В. Карабашян, Д. Л. Арутюнян, А. Г. Мхитарян

### Активация (АДФ-рибоза) полимеразы олигодезоксинуклеотидными комплексами

((Представлено чл.-корр. НАН Армении К. Г. Карагезяном 8/IV 1994)

(АДФ-рибоза) полимеразы (КФ 2.4.99) — ядерный фермент, катализирующий посттрансляционную модификацию ядерных белков, используя НАД в качестве донора модифицирующей группы (1). Данный фермент вовлечен в ряд биологических процессов, сопровождающихся разрывом и восстановлением цепей ДНК, таких как структурные перестройки хроматина, репарация и репликация ДНК, клеточная пролиферация и дифференциация (2).

(АДФ-рибоза) полимеразы проявляет каталитическую активность при взаимодействии с ДНК, содержащей разрывы одной или обеих цепей (3). Несмотря на ряд исследований, посвященных изучению взаимодействия (АДФ-рибоза) полимеразы с различными типами ДНК (3,4), механизм активации этого фермента остается невыясненным. Отчасти это связано со сложностями при интерпретации и обобщении результатов исследований, ввиду того, что в этих работах использовалась ДНК различного происхождения, состава, структуры и химического строения концевых участков. Для удобства интерпретации полученных данных представляется целесообразным использование в качестве активаторов (АДФ-рибоза) полимеразы синтетических ДНК известного состава и строения.

В настоящем сообщении приведены результаты исследования особенностей активации (АДФ-рибоза) полимеразы синтетическими дуплексами, сформированными из гомологичных олигомеров дезоксиаденозинфосфата и дезокситимидинфосфата —  $d(pA)_{530}$ ,  $d(pA)_{16}$ ,  $d(pT)_{16}$ .

В работе использовали НАД, гистон Н1, ДНК тимуса теленка производства «Sigma», [аденин- $U-^{14}C$ ] НАД — «Amersham», нуклеазу S 1 — «Serva», олигодезоксинуклеотиды  $d(pA)_{16}$ ,  $d(pT)_{16}$ , а также  $d(pA)_{530}$  длиной  $530 \pm 50$  нуклеотидных остатков, которые были предоставлены Е. А. Невинским (Новосибирский институт биоорганической химии).

(АДФ-рибоза) полимеразу из семенников быка получали по методу, описанному в работе (5). Активность фермента определяли по реакции автоАДФ-рибозилирования (5). Олигодезоксинуклеотидные дуплексы получали смешиванием соответствующих компонентов в 5 мМ

трис-НСI буфере (рН 8,0), содержащем 5 мМ MgCl<sub>2</sub>, 0,05 М NaCl, и 0,5 мМ дитиотрейтол. Смесь прогревали на водяной бане до 50°С, инкубировали в течение 3—5 мин, затем выдерживали в течение 1 ч. при 25°С. При получении дуплексов типа d(pA)<sub>530</sub>:[d(pT)<sub>16</sub>]<sub>n</sub> концентрация d(pA)<sub>530</sub> составляла 10<sup>-5</sup> М, концентрация d(pT)<sub>16</sub> — n×10<sup>-5</sup>М, где 0 < n < 30. При получении остальных дуплексов компоненты смешивали в эквимольной пропорции в концентрациях 10<sup>-6</sup>—10<sup>-5</sup> М. Гидролиз дуплексов нуклеазой S1 проводили в 50 мМ натрий-ацетатном буфере (рН 4,5), содержащем 0,2 М NaCl, 1 мМ ZnCl<sub>2</sub>, 0,5% глицерин при 25°С. Концентрация d(pA)<sub>530</sub>:[d(pT)<sub>16</sub>]<sub>10</sub> в реакционной смеси составляла 10<sup>-5</sup> М. Содержание нуклеазы S1 составляло 3—5 ед. на 1 мкг олигодезоксинуклеотида. Уровень гидролиза дуплексов контролировался методом электрофореза в ПААГ.

Исследования показали, что ни один из испытанных олигодезоксинуклеидов d(pA)<sub>530</sub>, d(pA)<sub>16</sub>, d(pT)<sub>16</sub> в концентрациях до 10<sup>-5</sup> М вне комплекса не активирует (АДФ-рибоза) полимеразу. Указанные нуклеотиды в тех же концентрациях не оказывают влияния на реакции, катализируемые ферментом в присутствии высокомолекулярной тимусной ДНК. Эти данные свидетельствуют о том, что однонитевые олигодезоксинуклеотиды не взаимодействуют с (АДФ-рибоза) полимеразой и не конкурируют с ДНК за место связывания. Вместе с тем эквимольные смеси комплементарных олигодезоксинуклеотидов [d(pA)<sub>530</sub>:d(pA)<sub>16</sub>]; [d(pA)<sub>16</sub>:d(pT)<sub>16</sub>] при концентрациях в интервале 10<sup>-8</sup>—10<sup>-6</sup>М, обработанные описанным выше методом, являются эффективными активаторами (АДФ-рибоза) полимеразы в реакции автоАДФ-ряболизирования. Эти данные свидетельствуют об образовании из комплементарных олигодезоксинуклеотидов дуплексов, являющихся активаторами фермента.

Анализ зависимостей скоростей ферментативной реакции от концентрации дуплексов d(pA)<sub>530</sub>:[d(pA)<sub>16</sub>]<sub>n</sub> в координатах Лайнуивера—Берка при различных n показал, что повышение n до 30 не отражается на V<sub>max</sub> реакции, составляющей 1200 нмоль/мин на 1 мг белка. В то же время увеличение n сопровождается понижением K<sub>m</sub> дуплекса. На рис. 1а представлена зависимость K<sub>m</sub> дуплексов d(pA)<sub>530</sub>:[d(pA)<sub>16</sub>]<sub>n</sub> от n, из которой следует, что при повышении n до 15 понижение происходит по обратнопорциональной зависимости. Дальнейшее увеличение n не отражается на значении K<sub>m</sub>. Поскольку дуплексы указанного типа моделируют ДНК с однонитевыми разрывами, а параметр n представляет собой количество d(pT)<sub>16</sub>, связанных с комплементарными d(pA)<sub>530</sub>, и соответствует числу этих разрывов, следует предположить, что наблюдаемое понижение K<sub>m</sub> дуплексов обусловлено фактическим увеличением количества активирующих участков дуплексов.

На рис. 1,б показана зависимость K<sub>m</sub> активирующих участков дуплекса от n, представленная в виде K<sub>m</sub> d(pT)<sub>16</sub>. Видно, что K<sub>m</sub> активирующих участков не зависит от n при n < 15. Дальнейшее повышение n до 30 сопровождается линейным ростом K<sub>m</sub> d(pT)<sub>16</sub>. Неизменность V<sub>max</sub> и K<sub>m</sub> от n (для K<sub>m</sub> в интервале 0 < n < 15) позволяет заключить, что разрывосодержащие участки дуплексов d(pA)<sub>530</sub>:[d(pT)<sub>16</sub>]<sub>n</sub> обладают как одинаковой активирующей эффективностью, так и одинаковым сродством к (АДФ-рибоза)полимеразе. При этом активирующая эффективность не зависит от размера однонитевого фрагмента дуплекса во всем исследованном интервале n, а сродство к ферменту—только в

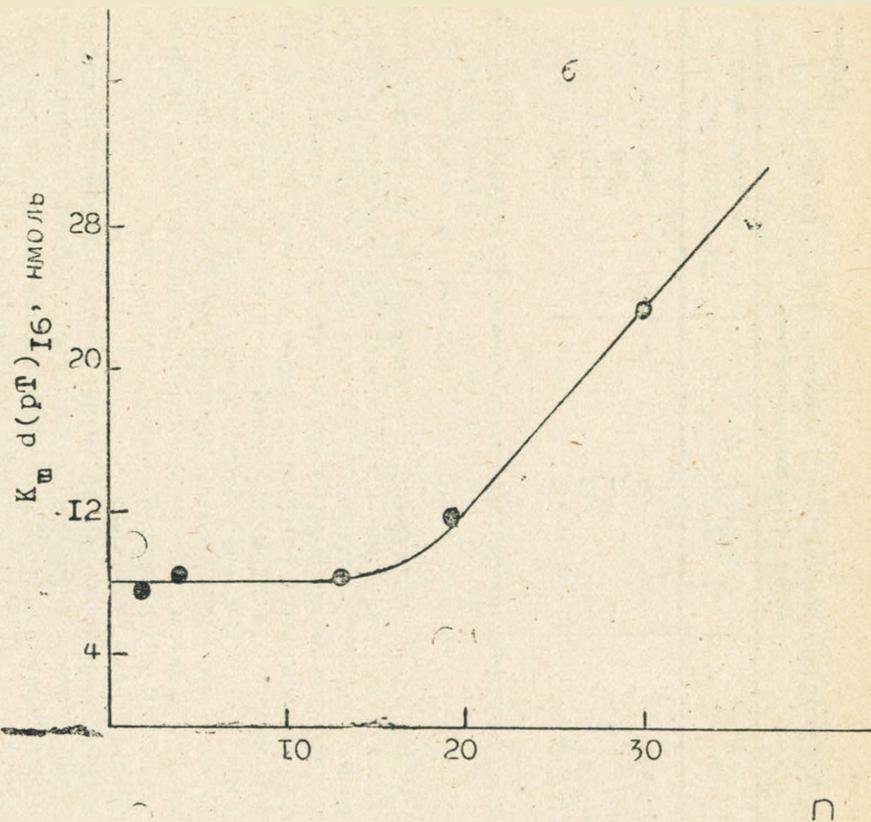
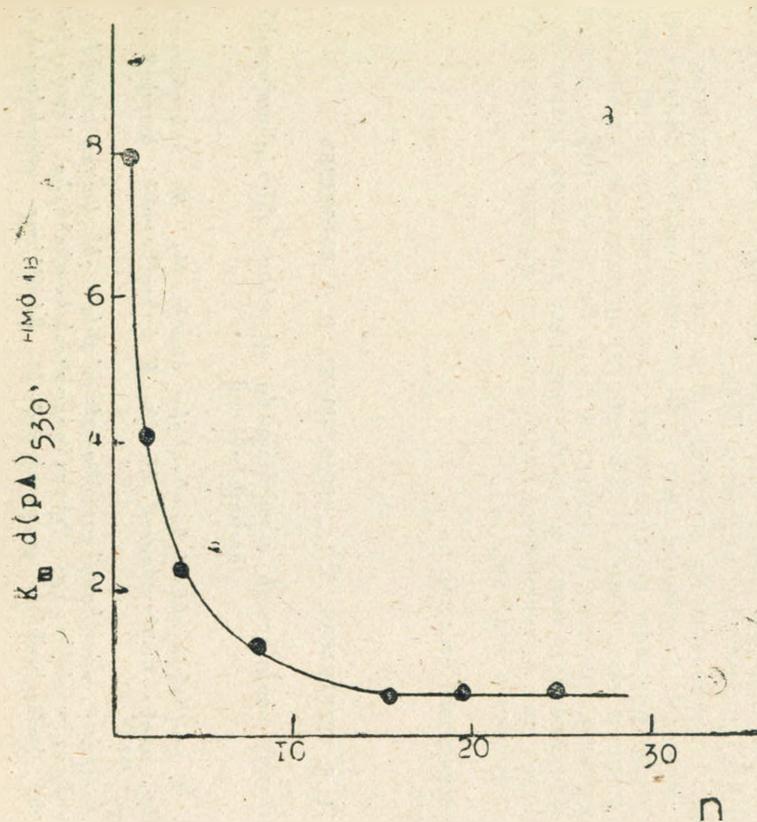


Рис. 1. Зависимость  $K_m$  дуплексов  $d(pA)_{530}:[d(pT)_{16}]_n$  от значения  $n$ . а— $K_m$ , рассчитанная по концентрации  $d(pA)_{530}$ ; б— $K_m$ , рассчитанная по концентрации  $d(pT)_{16}$ .

$K_m$  олигодезоксинуклеотидных дуплексов и  $V_{max}$  реакции автоАДФ-рибозилирования

Дуплексы	$K_m d(pT)_{16}$ , нМ	$V_{max}$ , нмоль · мин <sup>-1</sup> на 1 мг белка
$d(pA)_{530}:d(pT)_{16}$	8	1200
$d(pA)_{530}:[d(pT)_{16}]_{10}$	8	1200
$d(pA)_{16}:d(pT)_{16}$	12	1100
$d(pA)_{16}:d(pT)_{16}^*$	16	1100

\* Дуплексы, полученные путем гидролиза дуплексов  $[d(pA)_{530}]:[d(pT)_{16}]_{10}$  нуклеазой S1.

интервале  $0 < n < 15$ . Не исключено, что уменьшение размера однонитового фрагмента дуплекса при  $n > 15$  может отразиться на значении  $K_m$ . Однако наблюдаемое повышение  $K_m$  при  $n > 15$  скорее всего связано со стерическими факторами. Очевидно, что дуплекс ограниченного размера может связывать ограниченное число молекул фермента. Пренебрегая возможным влиянием однонитового фрагмента на  $K_m$ , можно заключить, что исследованный дуплекс может связывать одновременно не более 15 молекул (АДФ-рибоза) полимеразы. Это заключение подтверждается тем фактом, что аналогичные закономерности наблюдались при исследовании зависимости  $K_m$  активирующих центров от  $n$  для дуплексов  $d(pA)_{530}:[d(pT)_{10}]_n$ .

Для получения информации об активирующей эффективности концевых двухцепочечных разрывов в качестве моделей активирующей ДНК были использованы дуплексы, сформированные из эквимольных количеств  $d(pA)_{16}$  и  $d(pT)_{16}$ , а также гидролизаты дуплекса  $d(pA)_{530}:[d(pT)_{16}]_{10}$ , полученного путем его обработки нуклеазой S1, строго специфичной к однонитовым участкам ДНК.

В табл. 1 приведены  $K_m$  активирующих участков различных дуплексов, а также  $V_{max}$  реакции автоАДФ-рибозилирования. Видно, что двухцепочечные разрывы по сравнению с одноцепочечными обладают несколько худшим сродством к (АДФ-рибоза) полимеразе. Однако, судя по незначительной разнице в значениях  $V_{max}$  (не более 10%), активирующая эффективность одно- и двухцепочечных разрывов практически не различается при неизменности нуклеотидного состава и химической структуры концевой участка.

Институт молекулярной биологии  
НАН Армении

Լ. Վ. ԿԱՐԱՔԱՇՅԱՆ, Գ. Լ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Գ. ՄԵՒԹԱՐՅԱՆ

(ԱՒՖ-ի ռիբոզ) պոլիմերազի ակտիվացումը օլիգոդեզօսինուկլեոտիդային կոմպլեքսներով

Օլիգո- և պոլիդեզօսինուկլեոտիդներից ձևավորվել են երկշղթայանի կոմպլեքսներ, որոնք մոդելավորում են մի- և երկշղթայանի կարավածքներ պարունակող ԴՆԹ:

Ցույց է տրված, որ օլիգոդեզօսինուկլեոտիդները շեն կարող ակտիվացնել (ԱՒՖ-ռիբոզ)պոլիմերազը: Օլիգոդեզօսինուկլեոտիդներից ձևավորված երկշղթայանի կոմպլեքսները ցուցաբերում են ֆերմենտը ակտիվացնելու

բարձր ունակություն ավտո ԱԴՑ-ուրեղիացման ռեակցիայում:  $d(pA)_{630} : [d(pT)_{10}]^n$  տիպի կոմպլեքսների կտրվածք պարունակող հատվածները օժտրված են ֆերմենտի ակտիվացման նույն էֆեկտիվությամբ և ֆերմենտի նկատմամբ նույն խնամակցությամբ: Ֆերմենտն ակտիվացնելու էֆեկտիվությամբ էականորեն չեն տարբերվում նաև մի- և երկշղթայանի կտրվածքները, նուկլեոտիդային վազմի և ծայրային հատվածի քիմիական կառուցվածքի անփոփոխությունը դեպքում:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Դ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ ՈՒ Ն

- <sup>1</sup> K. Ueda, O. Hayaishi, *Ann. Rev. Biochem.*, v. 54, p. 73—100 (1985). <sup>2</sup> G. de Murcia, A. Huletzky, G. G. Poirier, *Biochem. Cell Biol.*, v. 66, № 6, p. 626—635 (1988). <sup>3</sup> U. Ohgushi, K. Yoshihara, T. Kamiya, *J. Biol. Chem.*, v. 255, № 13, p. 6205—6211 (1980). <sup>4</sup> R. C. Benjamin, D. M. Gill, *J. Biol. Chem.*, v. 255, № 21, p. 10502—10508 (1980). <sup>5</sup> Л. В. Карабашян, Д. Л. Арутюнян, А. А. Погосян и др., *Биохимия*, т. 53, № 4, с. 580—585 (1988).

УДК 577.151.05+577.175.82

А. А. Симомян, Р. А. Симомян

### Гормональное регулирование активности лактат- и изоцитрат-дегидрогеназ в печени крыс при гипотермии

(Представлено чл.-корр. НАН Армении К. Г. Карагесяном 24/XII 1993)

Ранее нами (1) было показано значительное активирование НАД- и НАДН-зависимых лактатдегидрогеназ (ЛДГ) в субклеточных образованиях ткани головного мозга в условиях глубокого ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) охлаждения месячных белых крыс. При этом в мозгу обнаруживалась направленность обмена углеводов в сторону образования фосфорилированных форм глюкозы, вовлекающихся в метаболизм по основным и шунтовым путям по принципу качественной и количественной перестройки их взаимоотношений (2,3). В этой связи особый интерес представляет гормональный принцип регуляции, одним из основных проявлений которого является соответствующее воздействие на ферментные системы, в частности, на тиреоидные гормоны, контролирующие активность реакций, осуществляющих тканевое дыхание, и связанный с ним процесс аккумуляции энергии в форме АТФ.

В работе преследуется цель изучить особенности сдвигов активности НАД- и НАДН-зависимых ЛДГ, а также НАДФ-зависимой изоцитратдегидрогеназы (ИЦДГ) в субклеточных образованиях печени беспородных месячных крыс-самцов при тиреотоксикозе в условиях глубокого охлаждения ( $-20^{\circ}\text{C}$ ) в течение 30 мин непосредственно перед декапитацией. Опыты ставили на 32 животных. Гипертиреоз экспериментальных животных вызывали ежедневным внутрибрюшинным введением тироксина (Т4, Реанал, Венгрия), растворенного в 0,002 н. NaOH в количестве 250 и 50 мкг/100 г массы тела в течение 2 и 9 дней соответственно. Контрольной группе животных по той же схеме вводили 0,002 н. NaOH. Цитоплазматическую и митохондриальную (МХ) фракции печени выделяли по ранее описанному методу (4), активность НАДФ—ИЦДГ определяли по методу Геббеля и сотр. (5), ЛДГ—по подробно описанному нами ранее способу (6), а количество МХ и цитоплазматического белка—биуретовым методом (7).

Согласно полученным результатам (табл. 1) активность НАД-ЛДГ в цитоплазме печени контрольных крыс более чем в два раза выше таковой в МХ фракции. На фоне тиреотоксикоза обнаруживается

Влияние тироксина на активность НАД-ЛДГ (мкмоль пиридиннуклеотида/мг белка/мин) в печени крыс при гипотермии ( $M \pm m$ )

Источник фермента	Контроль	Введение Т4	Охлаждение	Охлаждение и введение Т4
Цитоплазма	0,656±0,017*	1,212±0,019 p<0,001	1,179±0,029 p<0,001	1,142±0,008
Митохондрии	0,317±0,010	0,234±0,009 p<0,001	0,433±0,006 p<0,001	0,518±0,006

\* В табл. 1—3 n=10.

примерно двукратное повышение индуцирования фермента в цитоплазме по сравнению с контрольными опытами, что отмечается и при охлаждении животных. Сочетанное же воздействие охлаждения и тироксина не демонстрирует суммирование их эффектов в отдельно взятом виде на каталитическую активность фермента. В МХ фракции тиреотоксикоз вызывает статистически достоверное ( $p < 0,001$ ) ингибирование, а охлаждение — активирование НАД-ЛДГ. При сочетанном воздействии охлаждения и тиреотоксикоза имеет место суммирование эффектов этих двух факторов.

Как явствует из результатов, приведенных в табл. 2, общий уровень НАДН-ЛДГ реакции в субклеточных образованиях печени как у контрольных, так и подопытных крыс оказывается намного ниже по сравнению с НАД-ЛДГ. Вместе с тем эффект индуцирования ферментативной активности в цитоплазме по сравнению с МХ фракцией проявляется намного нагляднее. Полученные данные свидетельствуют о статистически достоверном повышении активности фермента под влиянием как тироксина, так и холодового фактора. При совместном же воздействии этих агентов проявляется ее частичное подавление по сравнению с картиной, отмеченной на фоне охлаждения и тиреотоксикоза в отдельно взятом виде. Аналогичные сдвиги ферментной активности констатируются и в исследованиях с МХ печени, за исключением серии, проведенной с тиреотоксикозом.

Таблица 2

Влияние тироксина на активность НАДН-ЛДГ (мкмоль пиридиннуклеотида/мг белка/мин) в печени крыс при гипотермии ( $M \pm m$ )

Источник фермента	Контроль	Введение Т4	Охлаждение	Охлаждение и введение Т4
Цитоплазма	0,384±0,010	0,521±0,007 p<0,001	0,539±0,008 p<0,001	0,458±0,008
Митохондрии	0,106±0,003	0,064±0,003 p<0,001	0,166±0,005 p<0,001	0,128±0,007

Результаты отдельной серии опытов, посвященной изучению эффектов охлаждения на фоне тиреотоксикоза на состояние НАДФ-зависимой ИЦДГ (табл. 3), показали двукратное повышение активности фермента по сравнению с контролем в цитоплазме печени крыс при тиреотоксикозе. Примечательно также статистически достоверное активирование изученного фермента и при охлаждении животных, что хорошо согласуется с литературными данными (<sup>8-10</sup>). Однако и в дан-

ном случае сочетание воздействий охлаждения и тиреотоксикоза не достигает суммы эффектов активирования этих двух факторов, взятых в отдельности. В отличие от результатов, полученных на уровне цитоплазмы, под влиянием Т4 активность НАДФ-ИЦДГ в МХ фракции оказывается значительно ингибированной.

Таблица 3

Влияние тироксина на активность НАДФ-ИЦДГ (мкмоль/НАДФН/мг белка/мин) в печени крыс при гипотермии (M±m)

Источник фермента	Контроль	Введение Т4	Охлаждение	Охлаждение и введение Т4
Цитоплазма	0,104±0,004	0,218±0,004 p<0,001	0,137±0,004 p<0,001	0,165±0,006
Митохондрии	0,080±0,003	0,042±0,002 p<0,001	0,100±0,003 p<0,001	0,066±0,003

Таким образом, исходя из полученного нами фактического материала, тиреотоксикозная патология и холодовой стресс характеризуются разнотипностью в картине регулирования активностей двух форм ЛДГ и НАДФ-зависимой ИЦДГ в МХ и цитоплазме печени крыс, обусловленной, по-видимому, различиями механизмов ее формирования. При гипотермии усиленно действуют системы компенсаторно-приспособительных реакций организма, теснейшим образом связанных с функциональными и метаболическими сдвигами отдельных органов, в том числе и печени. Следует подчеркнуть, что при глубокой гипотермии заметное активирование ЛДГ и ферментов цикла трикарбоновых кислот является одним из естественных проявлений одного из важнейших звеньев общего компенсаторного механизма, обеспечивающего дальнейший выход организма из преследующего его стрессового состояния.

Институт биохимия им. Г. Х. Бунятыана  
НАН Армении

Ա. Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ, Ռ. Ա. ՍԻՄՈՆՅԱՆ

Լակտատ- և իզոցիտրատդեհիդրոգենազների ակտիվության հոմոնալյին կարգավորումը աղետների դյաբոլում երկրորդմիայի դեպքում

Մեկ ամսական սպիտակ առնետների լյարդի ենթաբջջային գոյացություններում՝ ցիտոպլազմայում և միտոքոնդրիումներում ուսումնասիրվել է ՆԱԴ- և ՆԱԴԻ-կախյալ լակտատդեհիդրոգենազների (ԼԴՀ) և ՆԱԴՖ-կախյալ իզոցիտրատդեհիդրոգենազի (ԻՅԴՀ) ակտիվության փոփոխությունները խորը (-20°) սառեցման և թիրեոտոքսիկոզի դեպքում: Յույց է տրվել, որ սառեցիչ փորձում ՆԱԴ-ԼԴՀ ակտիվությունը ցիտոպլազմայում երկու անգամ գերազանցում է միտոքոնդրիումներին: Թիրեոտոքսիկոզի դեպքում ստուգիչի համեմատությամբ ֆերմենտի ակտիվությունն աճում է երկու անգամ: Նման փոփոխություն դիտվում է նաև առնետներին սառեցնելիս: Սակայն այդ երկու գործոնների համատեղ ազդեցության դեպքում ֆերմենտի ակտիվության ցուցանիշը անհամեմատ փոքր է, քան դրանց կողմից ինդուկցված ակտիվությունների գումարը: Համանման տվյալներ թիրեոտոքսիկոզի և խորը սառեցման ազդեցությամբ ստացվել են նաև ՆԱԴԻ-ԼԴՀ-ի և ՆԱԴՖ-ԻՅԴՀ-ի ակտիվությունների վերաբերյալ:

## Л И Т Е Р А Т У Р А — Ч И Т А Ь П Р Е З И Ъ

<sup>1</sup> А. А. Симонян, Р. А. Симонян, *Нейрохимия*, № 2 (1993). <sup>2</sup> Н. Г. Волжина-Атабегова, *Укр. биохим. журн.*, т. 50, № 2 с. 188—192 (1978). <sup>3</sup> Н. Г. Волжина-Атабегова, *Научн. докл. высшей школы*, № 5, с. 32—36 (1978). <sup>4</sup> А. А. Симонян, Р. А. Степанян, Р. А. Симонян и др., *Биол. журн. Армении*, т. 41, № 1, с. 64—67 (1988). <sup>5</sup> Г. Г. Вольский в кн.: *Методы биохимических исследований*, Л., с. 212, 1982. <sup>6</sup> Г. Г. Батикян, А. А. Симонян, *Биол. журн. Армении*, т. 38, № 7, с. 577—582 (1985). <sup>7</sup> R. F. Itzhaki, D. M. Gill, *Analyt. Biochem.*, v. 9, № 4, p. 401—410 (1964). <sup>8</sup> F. Depocas, W. A. Behrens, D. O. Foster, *Canad. J. Physiol. a. Pharmacol.*, v. 56, p. 168—174 (1970). <sup>9</sup> L. Jansky, *Biol. Rev. Cambridge Phil. Soc.*, v. 48, p. 85—132 (1973). <sup>10</sup> D. G. Nichollas, R. M. Locke, *Physiol. Rev.*, v. 64, p. 1—64 (1984).

УДК 576.2+572.7

Т. А. Карагезян, Э. И. Гаспарян, академик НАН Армении К. Г. Карагезян

**Морфологическая характеристика состояния тканей парадонта  
при использовании фитопрепарата Переступня  
белого в эксперименте**

(Представлено 3/III 1995)

Ставилась задача выработки экспериментальной модели парадонтоза, определения роли и места развивающихся при этом структурных нарушений с выявлением на этом фоне особенностей терапевтической эффективности фитопрепарата Переступня белого.

Модель хронического парадонтоза вырабатывали в течение двух лет на 175 белых крысах-самцах (линии «Вистар») 3-месячного возраста массой 180—200 г.

В контрольной серии исследований использовали животных, содержащихся на обычном пищевом рационе вивария. Во второй серии опытов в качестве карнесогенно-парадонтогенного средства использовали диету А. С. Шарпенака (<sup>1</sup>), регулярное определение активности которой проводили ежемесячно с начала эксперимента. Животных содержали на диете, включавшей экстракт Переступня белого. Макро- и микроскопические исследования проводили на зубо-челюстных блоках (первые на скелетированных препаратах) по истечении двух лет от начала экспериментирования. Степень атрофии альвеолярного отростка оценивали по методу В. Р. Окушко (<sup>2</sup>).

Макро- и микроскопические исследования в контроле принимали за возрастную норму с наличием некоторого расширения и углубления десневой бороздки, а также слабым утолщением покровного эпителия. При этом в тканях парадонта четко проявлялись поперечные (несколько косо расположенные) пучки волокон связывающего аппарата зуба, проникающие в цемент и костные ткани альвеол с сохранением круговой связки зуба в области шейки, прикрепленной к цементу и собственной оболочке десны. Обнаруживались также густая, слегка расширенная сеть сосудов и гаверсовых канальцев костной лунки зубов и макроскопически проявлявшиеся у части крыс явления резорбции первой степени ( $IP=0,8\pm 0,07$ ).

Добавление фитопрепарата к виварийному корму на протяжении всего периода экспериментирования оказывало тормозящее действие на процесс возрастного расширения гаверсовых канальцев костной лунки зубов. Под влиянием Переступня белого обнаруживалось также сдерживающее влияние препарата на развитие возрастных структурных изменений в тканях парадонта, микроскопическое проявление которых у исследованных животных характеризовалось значительной

убылью в них процессов резорбции межзубных перегородок к концу эксперимента, подтверждавшейся одновременно нормализацией гистологических структур этих тканей ( $IP=0,33\pm 0,07$ ;  $P<0,001$ ).

Применение кариезогенно-парадонтогенной диеты характеризовалось развитием воспалительных изменений в области десневого края и расширением кармана, значительными расстройствами трофики твердых тканей зуба, резким расширением сосудов и переполнением их в пульпе и тканях парадонта, разрушением цемента и дентина, вызванным вымыванием кальциевых солей. Последние оказывались в растворенном состоянии и в изредка обнаруживавшихся подушечнообразных утолщениях цемента, появлявшихся вокруг расширенных сосудов, сопровождались одновременными расстройствами функциональной ориентации волокнистых структур связочного аппарата зуба, костная ткань лунки которого представлялась в виде небольших изолированных островков, располагавшихся в расширенном парадонтальном пространстве. Обнаруживавшиеся при микроскопическом исследовании резко расширенные сосуды гаверсовых систем являлись свидетельством имевшего место полного разрушения тканей парадонта. В случаях же потери отдельных зубов бросались в глаза отчетливо проявлявшиеся резорбции и снижение высоты межзубных перегородок, обнажение бифуркаций корней зубов, образование костных карманов, достигающих нередко до вершины ( $IP=2,33\pm 0,15$ ;  $P<0,001$ ).

Результаты проведенных исследований показали, что дача фито-препарата животным, находящимся на кариезогенно-парадонтогенной диете, не оказывала заметного тормозящего действия на развитие кариеса. Примечательно, что при этом препараты Переступня белого существенно образом смягчали тяжесть проявления этой патологии, в связи с чем ни в одном случае не было констатировано наличие глубокого кариеса с приобщением воспаления пульпы.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать заключение о высокой эффективности изученного нами фитопрепарата — Переступня белого как лечебного фактора, наделенного кариезостатическим действием. Они сообщают также новую информацию о результативности примененного терапевтического средства в предотвращении значительных изменений в тканях парадонта, сохранении связочным аппаратом четкой функциональной ориентации по всему периметру костно-связочного аппарата с проявлением лишь небольших микроскопически выявляемых костных карманов и явлений резорбции межзубных перегородок ( $IP=1,4\pm 0,15$ ;  $P<0,002$ ), а также едва заметных сосудистых изменений. Становится очевидным ослабляющее действие Переступня белого на нарушения кровообращения в тканях парадонта, дистрофические изменения связочного аппарата корня зуба и его твердых тканей даже на фоне длительного применения кариезогенно-парадонтогенной диеты.

Армянский медицинский институт  
Институт молекулярной биологии НАН Армении

Տ. Ա. ՂԱՐԱԴՅՈՋՅԱՆ, Է. Ի. ԳԱՍՊԱՐՅԱՆ, Հայաստանի ԳԱԱ ակադեմիկոս  
Կ. Գ. ՂԱՐԱԴՅՈՋՅԱՆ

Ֆիտոպրեպարատ Բրիոնիա այրայի ազդեցությունը պարագոնտի հյուսվածքների մորֆոլոգիական առանձնահատկությունների վրա փորձարարական պայմաններում

Փորձարարական առնետների վրա ցույց է տրված Բրիոնիա այրայի բա-  
սարիկ էֆեկտիվությունը պարագոնտի հյուսվածքների, արյան շրջանառու-

թյան, խանգարումների, հյուսվածքների դիստրոֆիկ փոփոխությունների, ատամի արմատի կապիչ ապարատի և արմատի կարծր հյուսվածքների մորֆոլոգիական հատկությունների տարբեր աստիճանի խախտումների կանոնադրման գործում, անգամ կարիեսագենա-պարադոնտագենա դիետայի ևրկարատն օգտագործման պայմաններում:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

<sup>1</sup> А. Э. Шарпенак, Стоматология, № 1, с. 3—13, 1949. <sup>2</sup> В. Р. Окушко, Стоматология, № 3, с. 19—23, 1963.

УДК 595.12:599.4

Э. Б. Бадави

Новые виды трематод рода *Plagiorchis* Luhe, 1899 (*Plagiorchiidae* Luhe, 1901) от летучих мышей Армении и Египта

(Представлено академиком НАН Армении С. О. Мовсесяном 16/X 1993)

Описаны *Plagiorchis rhinolophi aegypticus* nov. sub. sp. и *P. scharpiloï* nov. sp. (Trematoda: Plagiorchiidae) от летучих мышей Армении и Египта.

Для проведения гельминтологических вскрытий летучие мыши были отловлены автором настоящей статьи из Египта и проф. Э. Г. Явруяном из Армении (Ереванский государственный университет).

Извлеченные из брюшной полости летучих мышей кишечники были фиксированы в жидкости Карнуа и доставлены в лабораторию. Затем кишечник помещали в 45%-ный раствор уксусной кислоты на 2 ч. После этого кишечники вымывали в 70%-ном растворе этилового спирта. Для окрашивания трематод использовался уксуснокислый кармин.

1. *Plagiorchis rhinolophi aegypticus* nov. sub. sp. Badawy (рис. 1).

Хозяин: *Rhinopoma hardwickei* cytops.

Вскрыто 38 рукокрылых.

Экстенсивность инвазии: 5,3%.

Интенсивность инвазии: 2—3 экз.

Место обнаружения: Абу-Раваш (Египет).

Описание вида. Тело удлинено-овальное, длиной от 1,44 до 1,74 мм, максимальная ширина 0,46—0,52 мм в средней части тела. Кутикула покрыта мелкими шипиками в передней части тела. Ротовая присоска имеет размер 0,14—0,14×0,12—0,15 мм, всегда больше брюшной, достигающей 0,09—0,12×0,08—0,11 мм и лежащей на расстоянии 0,25—0,42 мм от ротовой присоски. Префаринкс достигает 0,013—0,027 мм. Фаринкс шириной 0,05—0,08 мм. Пищевод всегда четко выражен, его длина 0,07—0,10 мм. Кишечные стволы простираются от заднего конца тела, как и желточники, и оканчиваются на расстоянии 0,15 мм от заднего края тела.

Семенники овальные, довольно крупные, лежат по диагонали за яичником. Размеры первого семенника 0,20—0,23×0,20—0,1 мм, а заднего — 0,25—0,27×0,22—0,23 мм. Задний семенник больше переднего. Половая бурса удлинённая, 0,36—0,41 мм при ширине основания 0,06—0,08 мм. Проксимальная часть бурсы лежит на середине расстояния между яичником и передним семенником. Половая бурса содержит семенной пузырек и заканчивается невооруженным циррусом.

Яичник почти округлый, относительно крупный, размерами 0,12—

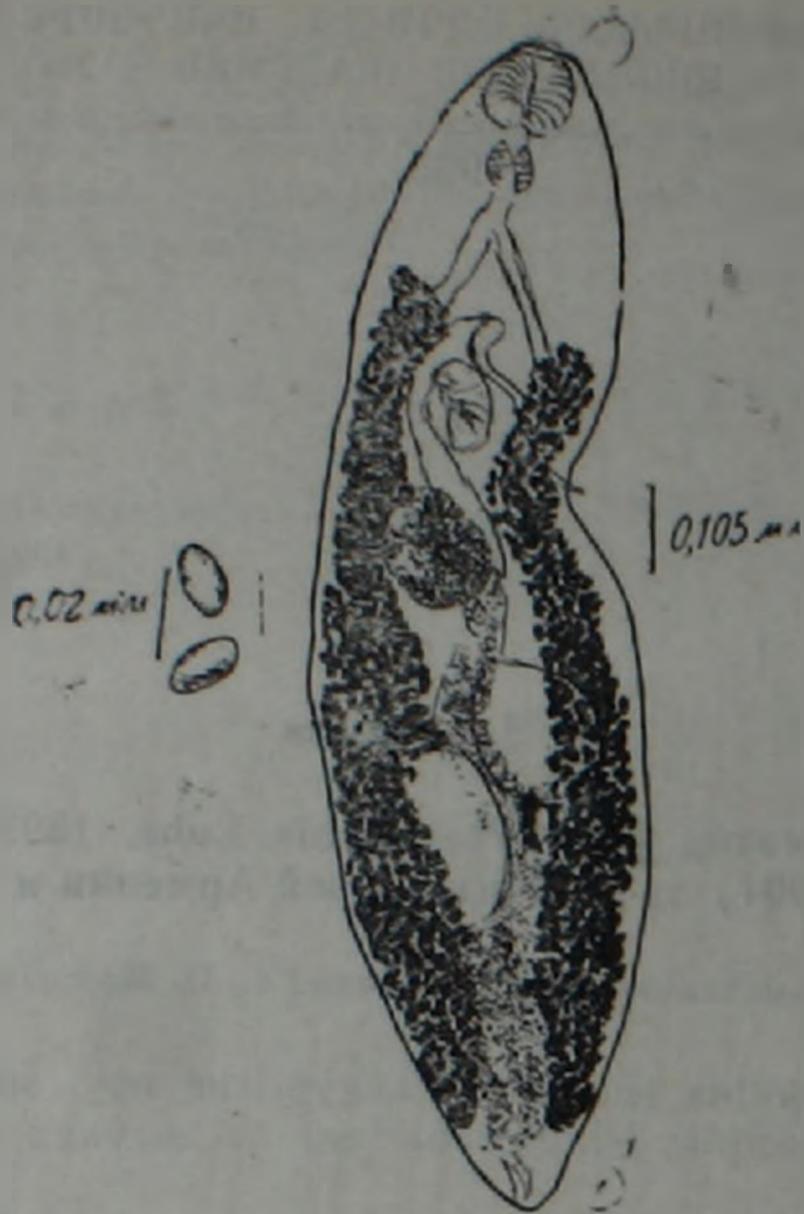


Рис. 1. *Plagiorchis rhinolophi aegypticus* nov. sub. sp. Badawy от *Rhinopoma hardwickei* Cytops (оригинал).

—0,15×0,12—0,16 мм, равен или слегка больше ротовой присоски, лежит слегка субмедиально между брюшной присоской и передним семенником. Желточники состоят из многочисленных округлых, яйцевидных, эллипсоидных или неправильной формы фолликулов и располагаются латеральными полями вдоль обеих сторон тела преимущественно кнаружи от кишечных стволов. Передняя граница желточников на уровне или несколько впереди уровня дистального конца бursy. Стволы матки, проходя между семенниками, образуют s-образный изгиб. Размеры яиц 0,023—0,033×0,017—0,020 мм.

Дифференциальный диагноз. Этот подвиd отличается от близких видов, таких, как *P. rhinolophi*, размерами тела и органов; от *P. koeganus* и *P. minutofollicularis* — расположением желточника в передней части тела и меньшими размерами тела и органов; от *P. minutofollicularis* отличается размерами желточника, особенно его передней части. Он отличается также от *P. vespertilionis* размерами и формой тела, разными размерами обеих присосок и расположением желточника. Все это дает нам основание считать, что изученные нами экземпляры трематод являются новым подвиdom.

В то же время это новая находка рода *Plagiorchis* Luhe, 1901, паразитирующих у летучих мышей Египта.

2. *Plagiorchis scharpiloï* nov. sp. Badawy (рис. 2).

Хозяин: *Rhinolophus ferrumequinum*.

Вскрыто: 49 рукокрылых.

Экстенсивность инвазии: 4%.

Интенсивность инвазии: 1—4 экз.

Место обнаружения: Магел (Ехегнадзор, Армения).



Рис. 2. *P. scharpiloï nov. sp.* Badawy от *Rhinolophus ferrumequinum* (оригинал).

Описание вида. Тело удлинено-овальное, длина достигает 3,12—3,38 мм при максимальной ширине в средней части тела 0,83—1,14 мм. Кутикула вооружена шипиками, постепенно редееющими кзади. Ротовая присоска субтерминальная, 0,15—0,21×0,18—0,21 мм, почти равна или слегка меньше брюшной, достигающей 0,17—0,21×0,15—0,23 мм, расположенной на расстоянии 0,46—0,59 мм от ротовой присоски. Префаринкс отсутствует. Фаринкс диаметром 0,11—0,12 мм. Пищевод очень короткий, 0,033 мм или отсутствует. Кишечные стволы, как и желточники, простираются до заднего конца тела и оканчиваются на расстоянии 0,25—0,33 мм от него.

Семенники овальные, 0,34—0,35×0,30—0,38 мм, задний семенник обычно слегка больше переднего. Семенники находятся по диагонали постэкваториально. Половая бурса размером 0,90—0,98×0,09—0,13 мм, расположена на уровне брюшной присоски и яичника, ее проксимальная часть лежит между яичником и брюшной присоской. Половая бурса содержит семенной пузырек, разделенный перетяжкой на удлиненную переднюю и округлую заднюю части. Бурса оканчивается иногда выступающим невооруженным циррусом.

Яичник округлый, 0,19—0,25×0,18—0,21 мм, почти равен брюшной присоске, лежит слегка субмедially, преэкваториально, между брюшной присоской и передним семенником. Желточники состоят из округлых каплевидных или неправильной формы фолликулов и простираются вдоль обеих сторон тела. Их передняя граница на уровне брюшной присоски, но не заходит за уровень ее переднего края. Стволы матки

проходят между семенниками и образуют s-образный изгиб. Конечный отдел матки с четко выраженным метратермом. Яйца размером 0,033—0,040×0,020—0,025 мм.

Дифференциальный диагноз. Настоящий вид впервые был описан Шарпило и Исковой (1) от *Eptesicus serotinus* как *Plagiorchis* sp.

Этот вид сходен со следующими видами плагиорхисов: *Plagiorchis vespertilionis* (Muller, 1784), *P. rhinolophi* (2), *P. koreanus* (3) и *P. minutofollicularis* (4). Однако он отличается от *P. vespertilionis* расположением желточника, который достигает середины или переднего края ротовой присоски. С другой стороны, *P. scharpilo* отличается от других видов плагиорхисов разными размерами обеих присосок. Настоящий вид назван именем известного гельминтолога В. П. Шарпило, впервые обнаружившего этот вид.

Выражаю свою благодарность проф. Г. Мадкур из Университета г. Танга (Египет) за определение видов летучих мышей; проф. Э. Г. Явруяну (Ереванский госуниверситет) за внимание и определение видового состава хозяев паразитов. Автор весьма благодарен и признателен академику С. О. Мовсисяну за подтверждение видовых диагнозов гельминтов, а также оказание помощи в подготовке рукописи настоящей статьи.

Университет г. Танга (Египет)

**Plagiorchis luhe, 1899 (Plagiorchiidae luhe, 1901) սեռի նոր տեսակի տրեմատոդներ՝ Հայաստանի և Եգիպտոսի շղջիկներից**

Նկարագրված է Հայաստանի և Եգիպտոսի շղջիկների հերմինթներից երկու տեսակի տրեմատոդ՝ *Plagiorchis rhinolophi aegypticus* nov. sub. sp. *P. scharpilo* nov. sp. (Trematoda: Plagiorchiidae): Մարմնի և օրգանների շափերը առաջին տեսակի մոտ փոքր են, իսկ երկրորդի բնութագրական առանձնահատկություններից է բերանային ծծիչը փորային ծծիչի հետ համեմատած փոքր է կամ հավասար: *P. rhinolophi aegypticus* nov. sub. sp. հայտնաբերված է Եգիպտոսում *Rhinopogma hardwizkei* cytops տեսակի շղջիկների մոտ, իսկ *P. scharpilo* nov. sp.՝ Հայաստանում — *Rhinolophus ferrumequinum* մոտ:

#### ЛИТЕРАТУРА — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

- 1 В. П. Шарпило, Н. М. Искова, Трематоды плагиорхидеи. Фауна Украины Т. 34, вып. 3. Наукова думка, Киев 1989. 2 J. T. Park, cit. in (4) 3 T. Ogata, cit. in (4) 4 T. Kifune, I. Sawada, XXI Med. Bull. Fukuoka Univ, v. 6 (3), p. 291—301 (1979)

МЕДИЦИНА

УДК 616—018; 616.45. 615.083—085

Л. А. Авакян, Г. Г. Арцруши

Изменения ультраструктуры пучковой зоны коры надпочечников  
после воздействия электростатического поля

(Представлено академиком НАН Армении О. Г. Баклаваджяном 6/IV 1993)

Электростатическое поле (ЭСП) является физическим фактором внешней среды, во взаимодействии с которым эволюционировала вся живая природа. В результате повсеместного применения синтетических материалов, использования ЭСП в технических процессах, эксплуатации линий передач постоянного тока человек все чаще оказывается в сфере действия ЭСП, во много раз превышающего естественный фон. Имеющиеся данные о влиянии ЭСП на биообъекты свидетельствуют о его высокой биологической активности (1,2). Работ о влиянии ЭСП на субклеточное строение надпочечников, играющих важную роль в сохранении гомеостаза и развитии адаптационных реакций организма, мы не встречали. В настоящем сообщении рассмотрено воздействие ЭСП на ультраструктуру пучковой зоны коры надпочечников.

Опыты проводились на 25 белых беспородных крысах-самцах массой 130—160 г. ЭСП напряженностью 2000 в/см создавали при помощи установки конденсаторного типа с контролируемыми параметрами поля (3). Исследовали влияние часового, суточного, фракционированного (6 суток по 6 ч ежедневно) воздействия ЭСП. Сразу после пребывания в ЭСП животных забивали декапитацией. Во избежание влияния циркадных ритмов контрольную и опытную группы забивали в одно и то же время суток. Кусочки коры надпочечников фиксировали растворами 5%-ного глутаральдегида, 1%-ной осмиевой кислоты по Миллонику (4), заливали в смесь аралдита и эпон. Готовые блоки резали на австрийском ультрамикротоме фирмы «Reichert-Yung» с учетом необходимой зоны. Срезы на сетках контрастировали 1—2%-ным водным раствором уранилацетата и солями свинца. Просмотр и съемку проводили при помощи электронного микроскопа BS—613 фирмы «Tesla».

Полученные нами данные по ультраструктурной организации пучковой зоны коры надпочечников контрольных крыс идентичны с описанными, представленными в литературе (5,6). После часового воздействия ЭСП обращает внимание изменение сосудов и межклеточных пространств. Просвет сосудов заполнен осмифильными хлопьевидными образованиями, обрывками мембран, эритроцитами. Сосудистая стенка местами обрывается. Эндотелий содержит микропузыри. Субэндотелиальное и перикапиллярное пространства расширены (рис. 1). Четко



Рис. 1. Расширенное межклеточное пространство между темной и светлой клетками, сливающееся с широкими перикапиллярными пространствами (одночасовое воздействие ЭСП); ув. 24500.

вырисовывается неклеточный компонент базального слоя. Межклеточные промежутки резко расширены, содержат много микроворсинок и сливаются с широкими перикапиллярными пространствами, где адреннокортициты также образуют множественные выросты. В клетках изменяются липосомы, которые в основном имеют среднюю осмиофильность, однако в некоторых светлых клетках они резко осмиофильные, а в темных — деструктивные: содержат светлые очаги разных размеров и филаменты. В отдельных клетках липосомы, осмиофильные гранулы скапливаются вблизи капилляра. В поле зрения часто встречаются темные адреннокортициты. После 24-часовой экспозиции воздействия ЭСП у опытных животных в исследуемой зоне надпочечников также встречаются как светлые, так и темные клетки. Ядра светлых клеток овальной формы, расположены эксцентрически. В немногих клетках наблюдается активация ядерного аппарата. В них ядерный хроматин концентрирован у ядерной мембраны, образуя очаговые скопления в кариоплазме. Перинуклеарное пространство четко вырисовывается. Ядрышко осмиофильное, расположено ближе к периферии. Иногда ядра содержат 2 ядрышка. Цитоплазма этих клеток (рис. 2) содержит многочисленные, округлые митохондрии, наполненные характерными везикулярными кристами. Матрикс этих органондов имеет умеренную осмиофильность. В некоторых клетках митохондрии плотно расположены и содержат внутримитохондриальные кристаллоиды. Липосомы крупные, характеризуются умеренной осмиофильностью, содержат светлые очаги разных размеров как в центре, так и по периферии, иногда окружены осмиофильной грубой мембраной. Между митохондриями и липосомами видны пузырьки эндоплазматического ретикулума, мелкие осмиофильные гранулы и полисомы. Аппарат Гольджи без изме-

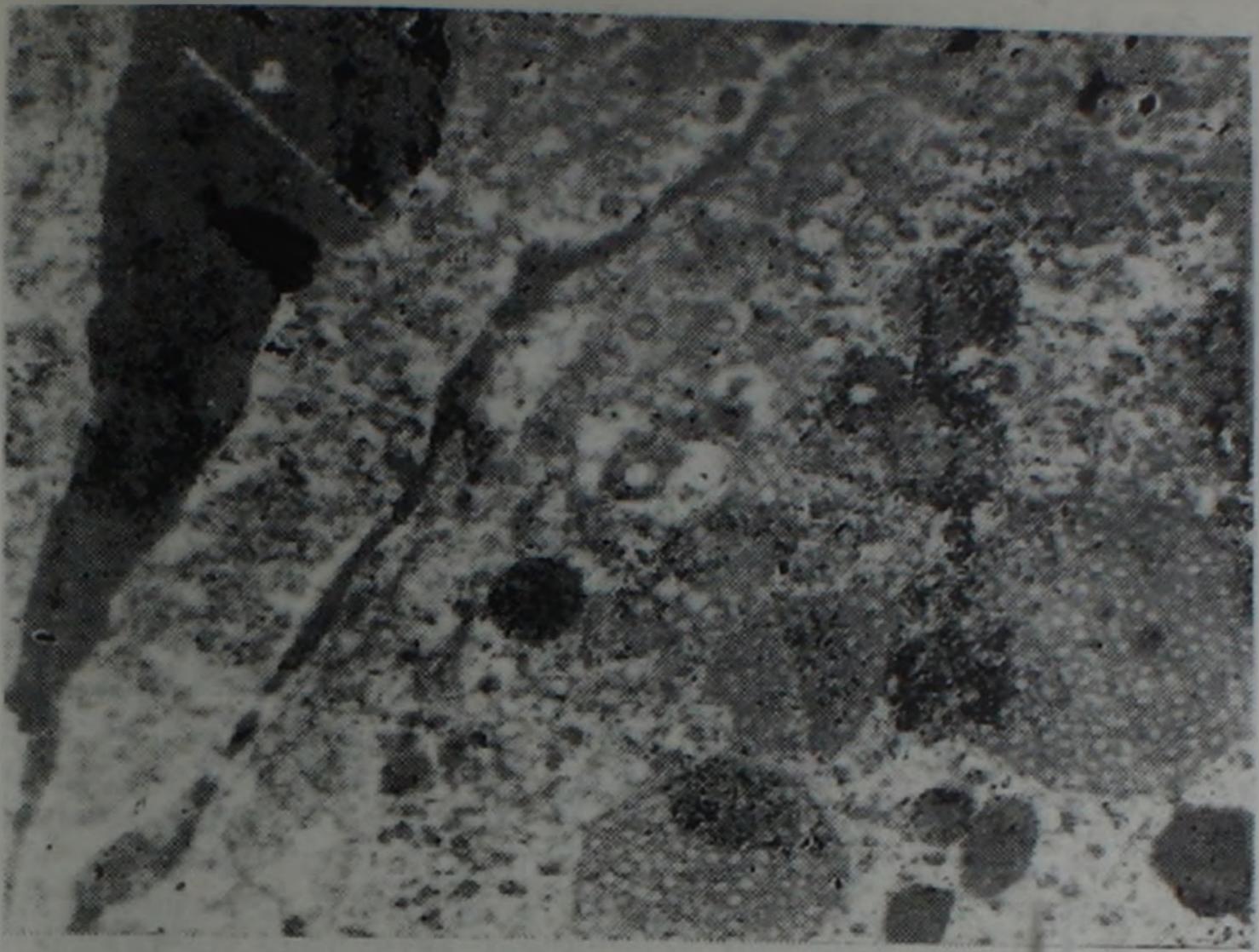


Рис. 2. Строение органоидов клетки пучковой зоны надпочечников в после суточного воздействия ЭСП; ув. 24500.

ний. В клетках встречаются осмиофильные тельца и миелиноподобные образования. В темных клетках размеры ядер по сравнению со светлыми уменьшены, контуры их извилисты, гиалоплазма темная. Липосомы в них чаще светлые, в некоторых клетках деструктивные, содержат филаментозные образования. Аденокортикоциты образуют длинные микроворсинки, число которых заметно увеличено и в межклеточных промежутках, и, особенно, в перикапиллярных пространствах. Наблюдается расширение перикапиллярного пространства. Образуются также многочисленные удлиненные выросты эндотелиальных клеток в сторону просвета капилляров.

Недельная экспозиция воздействия ЭСП приводит к значительным изменениям аденокортикоцитов. В большинстве этих клеток ядра бедны хроматином. Митохондрии расположены менее компактно, матрикс просветлен. Внутримитохондриальные кристаллоиды в оргanelлах не выявляются. Липосомы изменены, в основном осмиофильны, содержат светлые очаги. Цистерны эндоплазматического ретикулума по сравнению с предыдущей экспозицией несколько уплощены. Иногда встречаются резко осмиофильные, с неровными краями клетки в состоянии пикноза. В них с трудом вырисовывается внутреннее строение.

Полученные данные показали, что при однократном воздействии ЭСП резко меняется микроциркуляторное русло лучковой зоны коры надпочечников, расширяются межклеточные промежутки и увеличивается количество микроворсинок паренхиматозных клеток. Образование оплошной дренажной системы слиянием широких межклеточных промежутков с расширенными перикапиллярными пространствами, увеличение поверхностных контактов аденокортикоцитов и эндотелиальных клеток указывает на усиленное выведение в кровеносное русло кортикостероидов, что отмечалось и другими авторами (7).

свидетельствует об острой неспецифической стрессорной реакции надпочечников в ответ на воздействие ЭСП.

Суточное воздействие ЭСП активизирует часть клеток пучковой зоны коры надпочечников. В них наблюдается увеличение числа микроворсинок, активация ядерного аппарата и органоидов стероидогенеза — гипертрофия митохондрий, эндоплазматического ретикулула. Отмеченные морфологические проявления усиления синтеза кортикостероидов в коре надпочечников<sup>(5)</sup> выявляются наряду с изменениями микроциркуляторного русла, что наблюдалось и при одночасовой экспозиции в ЭСП. Резкие изменения строения сосудов коры надпочечников после воздействия ЭСП отмечались и другими авторами<sup>(8)</sup> на уровне световой микроскопии. Недельная экспозиция ЭСП приводит к значительным изменениям вплоть до некроза некоторых клеток и, следовательно, к угнетению секреторных процессов в пучковой зоне надпочечников. Вышеизложенное полностью коррелирует с полученными нами ранее биохимическими показателями секреции кортикостероидов в надпочечниках и содержания этого гормона в плазме крови. Итак, воздействие ЭСП приводит как к функциональным, так и резким структурным изменениям клеток и микроциркуляторного русла пучковой зоны надпочечников. Степень этих изменений прямо зависит от длительности воздействия ЭСП. Причем одночасовое воздействие не приводит к существенным структурным изменениям клеток, однако усиливает выброс стероидных гормонов в кровеносное русло. Суточная экспозиция выявляет тенденцию активации части клеток, а недельное влияние оказывается губительным для адренокортикоцитов.

Полученные данные показывают, что электростатическое поле, являющееся физическим фактором, влияет на ультраструктуру надпочечников, в связи с чем наступают выраженные субмикроскопические изменения в паренхиме и микроциркуляторном русле органа.

Ереванский медицинский институт  
им. Мхитара Гераци

#### Լ. Լ. ԱՎԱԳՅԱՆ, Գ. Գ. ԱՐՇՐՈՒՆԻ

Մակերիկամների կեղևի փնջային շերտի անդրկառուցվածքի փոփոխությունները էլեկտրաստատիկ դաշտի ազդեցությունից հետո

Հետազոտվել է սպիտակ առնետների մակերիկամների կեղևի փնջային շերտի անդրկառուցվածքի վրա արտաքին էլեկտրաստատիկ դաշտի (էՄԴ), ազդեցությունը:

Ցույց է տրված, որ 2000 վ/սմ շարվածությամբ էՄԴ հանդիսանում է ֆիզիկական ֆակտոր մակերիկամների համար և նրա ազդեցությունը բերում է կեղևի փնջային շերտի բջիջների և միկրոշրջանառության հունի ինչպես ֆունկցիոնալ, այնպես էլ արտահայտված կառուցվածքային փոփոխությունների: Այդ փոփոխությունների աստիճանը կախված է էՄԴ-ի ազդեցության տևողությունից:

Այսպես, էՄԴ-ի մեկ ժամյա ազդեցությունը չի առաջացնում բջիջների էական կառուցվածքային փոփոխություններ, սակայն ուժեղացնում է ստերոիդ հորմոնների դուրս բերումը արյան հոմեի մեջ: 24 ժամյա ազդեցությունը ի հայտ է բերում բջիջների մի մասի ակտիվացման հակումը, իսկ երկարատև տևողության դեպքում (6-ական ժամ ամեն օր շարաթվա ընթացքում) նկատվում են նեկրոտիկ պրոցեսներ որոշ ադրենոկորտիկոցիտներում:

## ЛИТЕРАТУРА — Ҷ Р Ц Ч Ц Ъ П Р Р У П Р Ъ

- <sup>1</sup> Ф. Г. Портнов, Проблемы клинической биофизики, Гига, с. 185, 1978. <sup>2</sup> J. R. Möse, S. Shuy, G. Fischer, Biomed. Techn., Bd. 17, № 2, p. 60—65 (1972). <sup>3</sup> Г. Г. Арцруни, Материалы конф. молодых ученых, посвященной XXV съезду КПСС, Ереван, с. 32, 1975. <sup>4</sup> G. J. Millonig, Appl. Physics, v. 32, № 8, p. 1637 (1961). <sup>5</sup> В. М. Гордиенко, В. Г. Козырицкий, Ультраструктура желез эндокринной системы, Киев, с. 64—82, 1978. <sup>6</sup> Д. Х. Хамидов, К. А. Зуфаров, Нейроэндокринная система, Ташкент, с. 97—170, 1971. <sup>7</sup> В. М. Гордиенко, Т. И. Богданова, Морфология. Патология сердечно-сосудистой системы, Киев, Здоровье, с. 13—18, 1976. <sup>8</sup> Р. А. Довлатян и др., Журн. эксп. и клинич. медицины, т. 27, № 6, с. 550—554 (1987).

УДК 616.45—001.1/3:616.447—003.725

А. В. Зильфян, Г. Г. Бакунц, Р. С. Овсепян, С. А. Авакян,  
Р. А. Довлатян, К. Г. Киракосян, Л. Г. Хачатрян

Действие продуктов жизнедеятельности лимфоцитов тимуса  
на активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой  
системы в условиях иммобилизационного стресса

(Представлено чл.-корр. НАН Армении Ю. Т. Александряном 24/1 1994)

В настоящее время считается доказанным, что серотонин, высвобожденный в гипоталамической области мозга, активирует систему гипоталамус—гипофиз—кора надпочечников, что осуществляется через стимуляцию нейронов, связанных с образованием кортиколиберина. Серотонин принимает также участие в регуляции секреции  $\beta$ -эндорфина передней и промежуточной долей гипофиза, повышающего секрецию кортикостероидов корой надпочечников (<sup>1</sup>). В поисках стресс-протективных веществ эндогенной природы, а также исходя из полученных нами данных о стимулирующем действии продуктов жизнедеятельности лимфоцитов (ПЖЛ) на активность симпато-адреналовой системы, представляло интерес исследовать на модели иммобилизационного стресса влияние ПЖЛ на функциональную активность гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы (ГГНС). В этой связи нами изучено действие введенных в организм лимфоцитарных медиаторов на активность серотонинергических структур гипоталамуса, принимающих непосредственное участие в механизмах запуска и развития стресс-реакции,—на содержание серотонина в гипоталамической области мозга крыс, а также адренокортикотропного гормона (АКТГ) в крови и кортикостерона в крови и надпочечниках.

Опыты ставились на белых крысах-самцах массой 120—150 г в пяти сериях. I серия (контрольная)—интактные крысы; II—крысы, иммобилизованные жесткой фиксацией в течение 5 ч; III—крысы, которым трехкратно с интервалом в 8 ч внутрибрюшинно (в/бр) вводили общий пул ПЖЛ тимуса, выделенный по предложенной нами схеме (<sup>2</sup>) и составляющий по белку 700 мкг на 150г массы животного, после чего животных иммобилизовали в течение 5 ч; IV—крысы, иммобилизованные в течение 24 ч; V—аналогично иммобилизованные крысы, которым предварительно вводили ПЖЛ по вышеприведенной схеме. Животных забивали в одно и то же время суток. Содержание серотонина определяли флюориметрическим методом по флюоресценции нингидринового производного серотонина (<sup>3</sup>) на спектрофлюориметре MPF-4, марки «Hitachi». Определение АКТГ проводили радиоиммунологическим методом с использованием набора реактивов фирмы «Sogin». Измерение радиоактивности проб осуществляли сцинтиляционным счетчиком. Концентрацию АКТГ вычисляли методом Log-Logit. Со-

держание кортикостерона определяли флюориметрическим методом (4) на опектрофлюориметре МРФ-4, марки «Hitachi». Изучено также функционально-морфологическое состояние надпочечников, которые взвешивали и фиксировали в 10%-ном нейтральном формалине и этиловом спирте. Срезы окрашивали общепринятыми гистохимическими методами. В отдельной серии ставились также биологические тесты на выживаемость животных.

Результаты наших исследований, представленные в таблице, показывают, что 5-часовая иммобилизация сопровождается увеличением содержания серотонина в гипоталамусе на 95%. При введении ПЖЛ наблюдается менее выраженное увеличение его содержания, составляющее 36,7% от контроля. Действие ПЖЛ, следовательно, способствует снижению содержания серотонина в гипоталамусе иммобилизованных крыс на 58,3%. Количество серотонина при 24-часовой иммобилизации увеличивается на 50,6%. Предварительное введение ПЖЛ ведет к нормализации его содержания в гипоталамусе иммобилизованных животных. Полученные данные свидетельствуют о модулирующем влиянии ПЖЛ в становлении центральных механизмов общеадаптационного синдрома. Как следует из таблицы, 5-часовая иммобилизация вызывает повышение содержания АКТГ в крови на 289,4% от контроля. При введении ПЖЛ количество гормона увеличивается на 103%. Действие ПЖЛ, таким образом, приводит к снижению содержания АКТГ в крови иммобилизованных крыс на 184,%. Количество кортикостерона в крови и надпочечниках при 5-часовой иммобилизации увеличивается на 46 и 188% соответственно. Введение ПЖЛ вызывает более выраженное увеличение содержания кортикостерона в крови, составляющее 84% от контроля.

Содержание серотонина в гипоталамусе (мкг/г в ткани), АКТГ в крови (пг/мл), кортикостерона в крови (мкг%) и надпочечниках (мкг/г ткани) при в/бр введении ПЖЛ в условиях иммобилизационного стресса

Группа	Серотонин	А К Т Г	Кортикостерон		
			кровь	надпочечники	
Интактная в	0,863±0,033 (6)	59,8±3,6 (8)	15,5±1,5 (8)	42,1±2,0 (8)	
5-ч. иммобилизация п р	1,68±0,14 (6) <0,01	232,9±42,1 (8) <0,01	22,6±1,1 (9) <0,01	34,9±6,7 (9) <0,01	
ПЖЛ+5 ч. иммобилизация п р	1,18±0,078 (7) <0,001	121,8±5,0 (8) <0,001	28,5±2,5 (10) <0,001	47,5±10,0 (5) <0,01	19,7±0,8 (5) >0,05
24-ч. иммобилизация п р	1,30±0,111 (6) <0,01	240,0±38,1 (8) <0,001	21,4±0,6 (10) <0,02	28,4±3,6 (6) <0,01	
ПЖЛ+24-ч. иммобилизация п р	0,839±0,130 (6) >0,05	76,0±6,9 (8) >0,05	28,0±2,5 (12) <0,001	31,4±3,6 (6) <0,001	7,8±0,8 (6) >0,05

В надпочечниках отмечаются неоднозначные изменения: в одной группе животных (50% случаев,  $n=10$ ) количество кортикостерона снижается до нормы, а в другой не обнаружено достоверных сдвигов по сравнению с иммобилизованными животными. Как видно из таблицы, содержание АКТГ при 24-часовой иммобилизации увеличивается на 310%, а количество кортикостерона в крови и надпочечниках—на 38 и 135% соответственно. Предварительное введение ПЖЛ нормализует содержание АКТГ в крови, увеличивая при этом содержание кортикостерона на 81% от контроля. В надпочечниках, как и в предыдущей серии опытов, содержание кортикостерона нормализуется в 50% случаев, у остальных животных не отмечается достоверных сдвигов по отношению к иммобилизованной группе.

В результате морфогистохимических исследований коры надпочечников при 5-часовой иммобилизации выявлены сдвиги, характеризующиеся преобладанием гипертрофированных темных клеток с богатым содержанием РНК в цитоплазме и ядрышках, свидетельствующие о заметном повышении функциональной активности органа. При окраске суданом черным наблюдаются снижение содержания липидов во всех зонах коркового вещества, а также отдельные признаки перераспределения суданофильного материала, проявляющиеся очаговой куммуляцией его в поверхностных участках пучковой зоны. 24-часовая иммобилизация характеризуется резким нарушением цитоангиоархитектоники коры надпочечников с выраженными дистрофическими изменениями адренокортикоцитов всех зон. В отдельных участках пучковой зоны отмечается распад железистой ткани. Содержание липидов снижается. Склепление их зерен обнаруживается преимущественно в темных клетках глубоких участков клубочковой зоны. Значительные изменения выявлены и в системе микрогемоциркуляции, что выражается расширением межтрабекулярных капилляров, стенки которых пропитаны плазменными белками. Гистохимическое изучение коры надпочечников показало, что введение ПМЛ перед 5- и 24-часовыми иммобилизациями способствует нормализации морфофункциональных нарушений, выявленных в изученных фазах развития стресса,—структурному упорядочению компонентов коркового слоя надпочечников, нормализации секреторного процесса в адренокортикоцитах. Таким образом, при действии ПЖЛ выявлена корреляция нейрогормональных процессов на уровне центрального и периферического звеньев ГНС, ответственных за запуск и реализацию неспецифических механизмов адаптации.

Изучение выживаемости животных показало, что из 80 крыс, представляющих контрольную группу, после 24-часовой иммобилизации выжило 36 крыс (45%). При предварительном введении ПЖЛ (опытная группа) из того же количества животных выжило 57 крыс (71%). При статистическом анализе показатель выживаемости у крыс опытной группы в 1,5 раза превышал контрольный уровень. Параллельно ставился другой тест на выживаемость: определялось время, в течение которого подвергнутые иммобилизации крысы контрольной и опытной групп могут продержаться на поверхности воды. При статистическом анализе временных показателей удалось установить, что предварительное введение иммобилизованным крысам ПЖЛ увеличивает сроки пребывания животных на поверхности воды в 2 раза ( $2,5 \pm 0,1$  мин против  $1,2 \pm 0,2$  мин в контроле).

На основании вышеизложенного можно заключить, что в результате действия ПЖЛ на фоне 5-часовой иммобилизации происходит дополнительная активация ГНС, о чем свидетельствует прирост содержания кортикостероидов в крови на 38% от уровня иммобилизованных

крыс. Анализ остальных показателей развития стресс-реакции показывает, что по окончании 5-часовой иммобилизации проявляется тенденция к нормализации системы. На это указывает снижение содержания серотонина в гипоталамусе, АКТГ в крови, кортикостерона в надпочечниках крыс от их уровня у иммобилизованных животных. Действие ПЖЛ на фоне 24-часовой иммобилизации также ведет к добавочной активации ГГНС, о чем говорит прирост содержания кортикостероидов в крови на 43% от их уровня у иммобилизованных крыс. В итоге этого действия имеет место нормализация нейрогормональных сдвигов, ответственных за запуск и развитие стресса: содержания серотонина в гипоталамусе, АКТГ в крови, кортикостерона в надпочечниках, а также структуры и функции надпочечников.

При рассмотрении возможных механизмов действия ПЖЛ на развитие стресса представляют интерес появившиеся в последние годы работы, доказывающие наличие тесной взаимосвязи и взаиморегуляции между АКТГ, глюкокортикоидами и  $\alpha_1$ - и  $\alpha_2$ -адренергическими рецепторами в механизмах развития стресса. Показано, что через модуляцию активности рецепторов, находящихся в структурах, ответственных за запуск стресс-реакции, можно добиться изменения функциональной активности ГГНС и соответственно резистентности организма к экстремальным воздействиям (<sup>5,6</sup>). Активация центральных  $\alpha_2$ -адренорецепторов ведет к торможению секреции глюкокортикоидов, а их блокада, активируя ГГНС, повышает содержание кортикостероидов в крови. Имеется и обратная зависимость между активностью  $\alpha_2$ -адренорецепторов и уровнем глюкокортикоидов в крови, выражающаяся в подавляющем их действии на активность пресинаптических  $\alpha_2$ -адренорецепторов клеток головного мозга.  $\alpha$ -адренорецепторы выявлены в структурах ЦНС, ответственных за запуск стресс-реакции,— в окончаниях норадренергических, а также холинергических и серотонинергических нейронов мозга (<sup>7-9</sup>). Повышение концентрации АКТГ в плазме при стрессе протекает с вовлечением  $\alpha$ -адренорецепторов, при этом в плазме возрастает содержание  $\alpha$ -меланоцитстимулирующего гормона и  $\beta$ -эндорфина (<sup>10</sup>). Показано, что не только АКТГ, но и  $\beta$ -эндорфины, а также  $\alpha$ -меланоцитстимулирующий гормон, образующиеся из общего с АКТГ предшественника, регулируют секрецию глюкокортикоидов корой надпочечников (<sup>11</sup>). Появились интересные сообщения о продукции лимфоцитами и макрофагами АКТГ,  $\beta$ -эндорфина и хоригонадотропина, о наличии взаимосвязей между иммунной и нейроэндокринной системами на гормональном, медиаторном и рецепторном уровнях (<sup>12</sup>). При внутривенном введении АКТГ в надпочечниках увеличивается содержание простагландинов Е и F (<sup>13</sup>). В выделенных нами ПЖЛ методом радиоиммунологического анализа обнаружены простагландины группы Е (<sup>14</sup>), принимающие участие в регуляции секреции кортиколиберина, АКТГ и  $\beta$ -эндорфина.

На основании приведенной литературы можно допустить, что ПЖЛ прямо или опосредованно через глюкокортикоиды воздействуют на центральные  $\alpha_2$ -адренорецепторы, изменяют их активность, что ведет к модуляции высвобождения нейромедиаторов, в частности серотонина, в синапсах ЦНС. В результате происходит модуляция активности гипоталамико-надпочечниковой системы, сдвиг фаз в течение стресс-реакции, сопровождающийся увеличением концентрации глюкокортикоидов в крови, выводящий систему на новый, оптимальный уровень регуляции, повышающий выносливость животных к острым стрессорным воздействиям.

Ա. Վ. ԶՐԼՅԱՆ, Գ. Գ. ԲԱԿՈՒՆՑ, Ի. Ս. ՀՈՎՍԵՓՅԱՆ, Ս. Ա. ԱՎԱԳՅԱՆ,  
Հ. Ա. ԳՈՎԼԱԹՅԱՆ, Կ. Հ. ԿՐԻԱԿՈՍՅԱՆ, Լ. Գ. ԽԱԶԱՏՐՅԱՆ

Լիմֆոցիտների կենսագործունեության արգասիքների ազդեցությունը  
հիպոթալամուս-հիպոֆիզ-մակերիկամային համակարգի վրա  
իմորիլիզացիոն ստրեսի պայմաններում

Իմորիլիզացիոն ստրեսի մոդելի վրա ուսումնասիրվել է 5- և 24-  
ժամյա անշարժացումից առաջ առնետներին ներարկված ուրցազեղծի լիմ-  
ֆոցիտների կենսագործունեության արգասիքների (ԼԿԱ) ազդեցությունը  
ստրես-ոնկոցիայի զարգացման կենտրոնական և ծայրամասային մեխա-  
նիզմների ակտիվության վրա: Ստրեսի զարգացման երկու փուլերում էլ  
հայտնաբերվել է ԼԿԱ-ի ստրես-փոփոխող ազդեցությունը, որն արտա-  
հայտվել է՝ արյան մեջ կորտիկոստերոնի կոնցենտրացիայի լրացուցիչ  
բարձրացմամբ, հիպոթալամուսում սերոտոնինի, արյան մեջ ադենոկորտի-  
կոտրոպ հորմոնի և մակերիկամներում կորտիկոստերոնի պարունակության,  
ինչպես նաև մակերիկամների կառուցվածքի և ֆունկցիայի նորմալացման  
հակումով: Նշված տեղաշարժերը առավել արտահայտված են 24-ժամյա իմո-  
րիլիզացիայի դեպքում և ուղեկցվում են ծայրահեղ (էքստրեմալ) ազդեցու-  
թյունների նկատմամբ օրգանիզմի կայունության բարձրացմամբ:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

- <sup>1</sup> Malcolm D. Sapun, J. M. Farah, G. P. Mueller, Neuroendocrinology v. 42, № 3, p. 191 (1986). <sup>2</sup> А. В. Зильфян, Р. С. Овсепян, В. Г. Хачатрян и др., ДАН АрмССР, т. 85, № 3, с. 142 (1987). <sup>3</sup> S. H., Snyder, J. Axelrod, M. Zweig, Biochem. Pharmacol., v. 14, p. 831 (1965). <sup>4</sup> П. С. Сиваворян, Э. А. Ширинян, М. В. Овсепян, Биол. журн. Армения, т. 36, № 1, с. 50 (1983). <sup>5</sup> О. М. Авакян, Фармакологическая регуляция функции адренорецепторов, М., 1988. <sup>6</sup> Э. А. Ширинян, О. М. Мартиросян, С. А. Арутюнян и др., Физиол. журн. СССР, т. 6, № 9, с. 1137 (1990). <sup>7</sup> M. Raiteri, G. Maura, A. Gemignani c. a., Naunyn-Schmiedeberg's Arch. Pharmacol., v. 322, № 2, p. 180 (1983). <sup>8</sup> P. B. Timmermans, P. A. von Zwielen, J. med. Chem., v. 25, № 12, p. 1389 (1982). <sup>9</sup> E. S. Vizi, In: Adrenoceptors and catecholamine action. Ed. G. Kunos, N.-Y., PlB, 65 (1983). <sup>10</sup> F. Berkenbosch, I. Vermes, R. Binnekade c. a., Life Sci., v. 29, N 22, p. 2249 (1981). <sup>11</sup> H. Raff, S. P. Tzankoff, R. S. Fitzgerald, J. Appl. Physiol., v. 51, № 5, p. 1257 (1981). <sup>12</sup> D. J. Carr, J. E. Blalock, Int. Rev. Immunol., v. 4, № 3, p. 213 (1989). <sup>13</sup> И. А. Юдаев, С. А. Афиногенова, в кн., Циклазная система и ее роль в регуляции клеточного обмена. Тез. докл. II всесоюз. симп., Ташкент, с. 8, 1978. <sup>14</sup> А. В. Зильфян, Х. С. Саядян, А. А. Павосян и др. Матер. научн. конф. ЦНИЛ Ереванского гос. мед. ин-та «Лимфокины в адаптационный синдром», Ереван, с. 9, 1990.

УДК 576.354.46:578.085.23

Г. Х. Акопян, В. И. Погосян

**Формирование функциональных синаптических связей между нейронами мозжечка, коры головного мозга и красного ядра новорожденной крысы в органотипической культуре нервной ткани**

(Представлено академиком НАН Армении В. В. Фанарджяном 3/XII 1993)

Изучение закономерностей формирования синаптических связей мозга в процессе развития и в зрелом периоде—одна из наиболее актуальных проблем экспериментальной нейрофизиологии. Формирование новых синапсов, в частности, было показано на нейронах красного ядра в результате «спраутинга» кортикорубральных волокон при разрушении мозжечкового входа (<sup>1,2</sup>), перекрестной иннервации сгибателей и разгибателей передней конечности кошки (<sup>3</sup>), выработке двигательного условного рефлекса (<sup>4</sup>). Вместе с тем ряд вопросов, связанных с клеточными и молекулярными механизмами инициации роста волокон и синаптогенеза в красном ядре, остаются не выясненными.

Эффективным подходом к решению указанной проблемы может служить анализ формирования межнейронных связей в тканевых и клеточных культурах мозга. Целью настоящей работы явилось изучение возможности формирования функциональных синаптических связей между эксплантатами мозжечка, коры головного мозга и красного ядра новорожденной крысы при совместном культивировании.

Срезы мозжечка из сенсомоторной области коры головного мозга новорожденной крысы толщиной 400—500 мкм помещали на покрытое коллагеном покровное стекло по обе стороны от красного ядра на расстоянии 1 мм. Красное ядро извлекали из фронтальных срезов среднего мозга, заточенной иглой диаметром 750 мкм, что исключало наличие в эксплантатах нейронов соседних с красным ядром образований. Препараты культивировали методом вращающихся пробирок (<sup>5</sup>). Для проведения электрофизиологических экспериментов зрелые 14—21-дневные культуры помещали в проточную камеру, расположенную на столике инвертированного микроскопа. Внеклеточная регистрация потенциалов действия нейронов и электрическое раздражение осуществляли с помощью стеклянных микроэлектродов, заполненных 2 М раствором хлорида натрия сопротивлением 2—5 МОм. Локальные раздражения наносили монополярно катодной электрической стимулирующей импульсами прямоугольного тока силой от 10 до 100 мкА длительностью 0,1—1 мсек. Сразу после проведения электрофизиологических экспериментов культуры фиксировали формалином и импрегнировали серебром по методу Бодяна в модификации Кима (<sup>6</sup>).

После прикрепления препаратов к коллагену, уже в первые сутки культивирования, формировалась зона роста, увеличение которой приво-

шло к распластыванию препаратов. Ко второй неделе культивирования распластывание достигало такой степени, что основные массы эксплантатов перекрывались. В некоторых случаях распластывание тканей мозжечка и коры головного мозга достигало такой степени, что их площадь в несколько раз превышала площадь эксплантируемых срезов, а четкие контуры структуры исчезали. Следует отметить, что распластывание эксплантатов красного ядра происходило в гораздо меньшей степени.

В препаратах, импрегнированных серебром в зоне роста, выявлялись одиночные или собранные в пучки тонкие нервные волокна, соединяющие эксплантаты между собой. В большинстве случаев удавалось проследить ход волокон, соединяющих основные массы эксплантатов. Однако метод серебряной импрегнации не дает возможности установить направленность аксонных связей, так как их концы терялись в более толстой части эксплантатов и были окружены сложными сплетениями волокон.

В центре эксплантатов красного ядра выявлялись группы нейронов с хорошо выраженными дендритами, простирающимися на значительное расстояние от сомы (рис. 1, А, Б). При большем увеличении хорошо видны тела клеток с расположенным в центре округлым ядром и ядрышком (рис. 1, В).

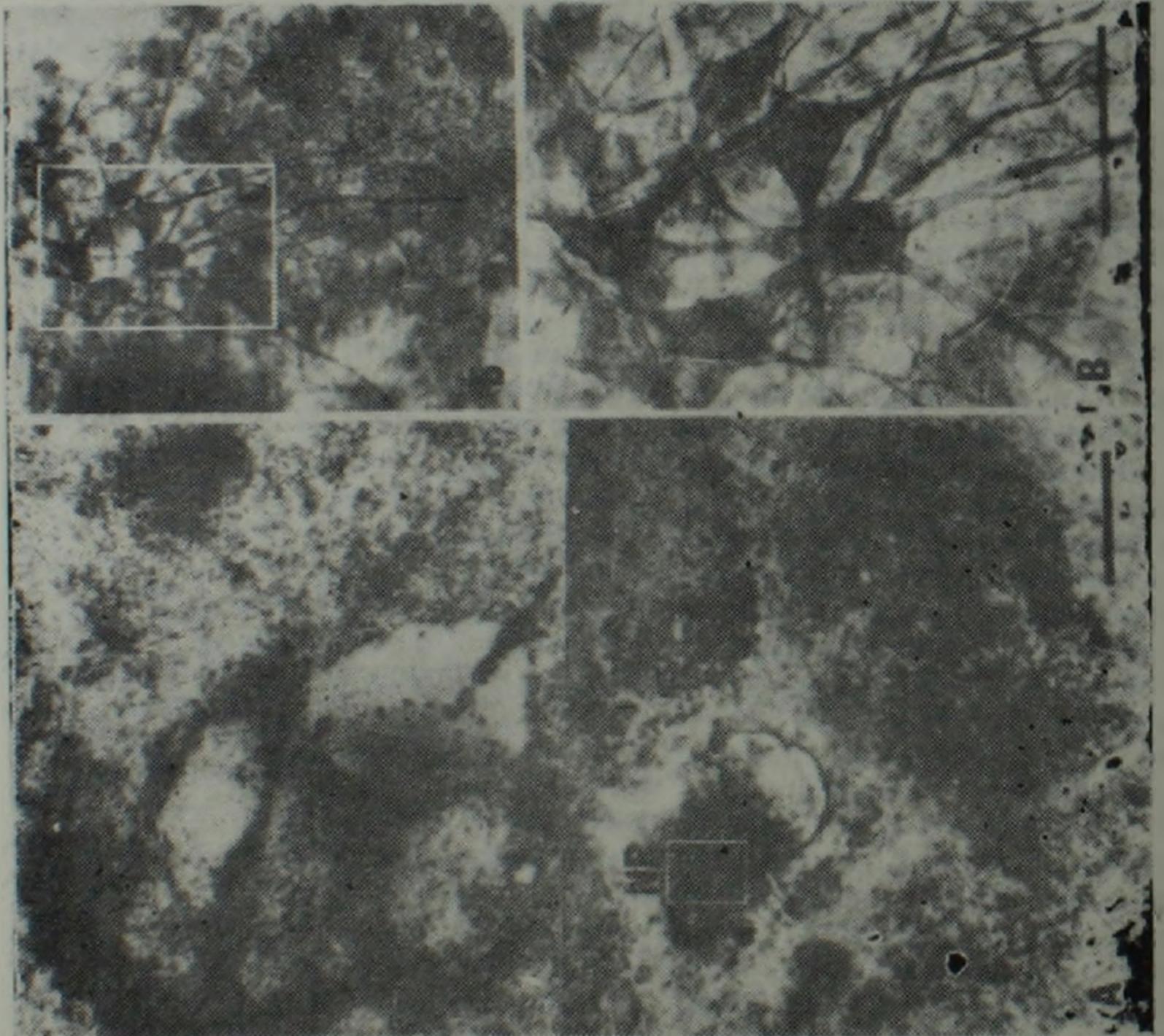


Рис. 1. Микрофотография совместно культивируемых срезов мозжечка (Сb), коры головного мозга (Сх) и эксплантатов красного ядра (NR) поворожденной крысы, импрегнированных серебром. А—общий вид препарата, калибровка 500 мкм; Б, В—нейроны красного ядра, выявленные в области эксплантата, выделенного рамкой на А, 17 дней культивирования, калибровка 50 мкм.

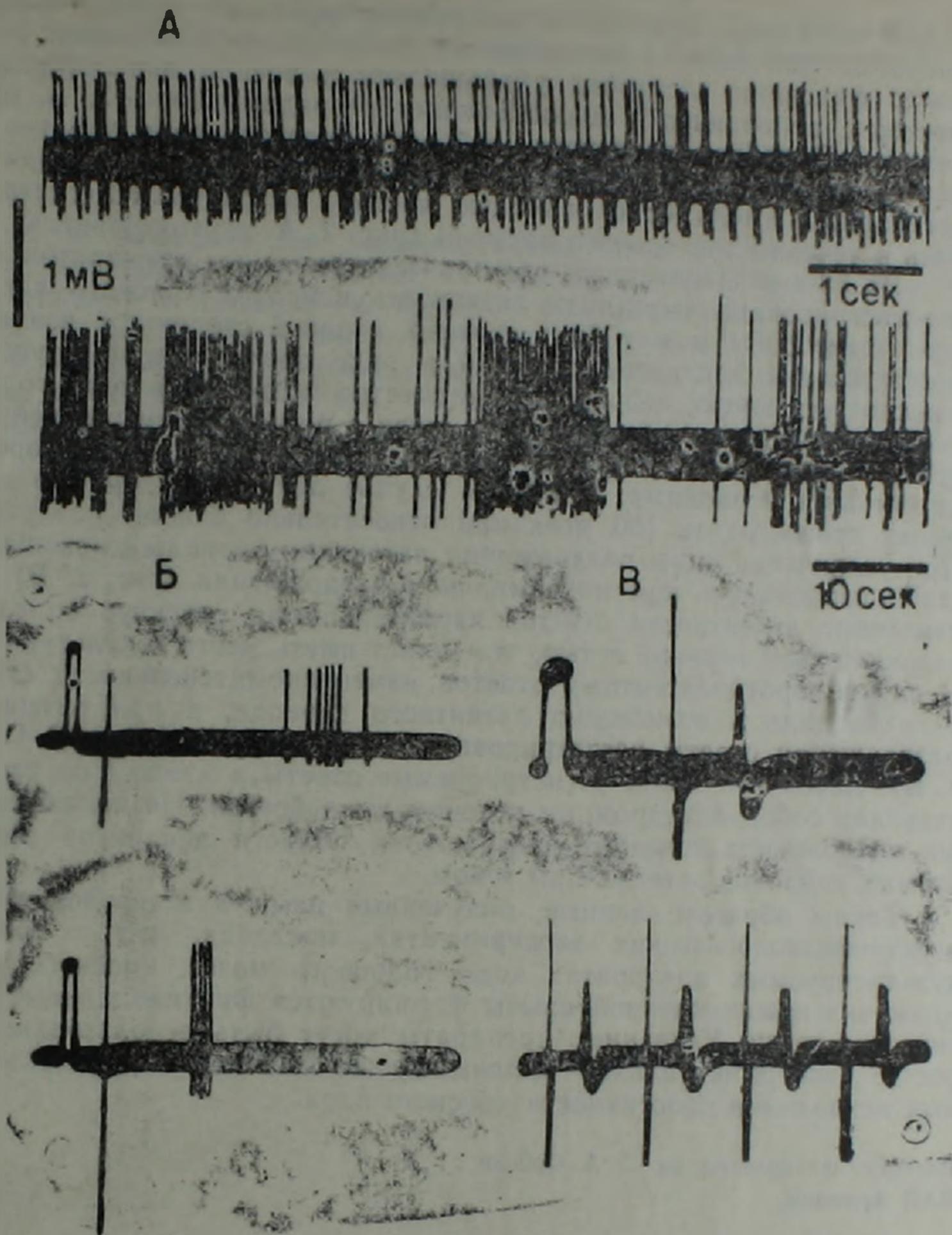


Рис. 2. Потенциалы действия культивируемых нейронов. А, верхняя запись—спонтанная активность нейронов мозжечка, 21 день культивирования; нижняя запись—активность нейронов красного ядра сразу после введения регистрирующего электрода, 17 дней культивирования. Б—вызванная активность нейронов красного ядра в ответ на раздражение различной силы эксплантата коры мозга. Экстрапозиция 7 ответов, верхняя запись—10 мкА, нижняя—50 мкА. Расстояние между электродами 1200 мкм, 21 день культивирования. В—коротколатентный ответ нейронов красного ядра при раздражении эксплантата мозжечка; верхняя запись—экстрапозиция 7 ответов, нижняя—ответы на ритмическое раздражение. Расстояние между электродами 600 мкм, 17 дней культивирования. Калибровка на Б и В 1 мВ, 5 мсек.

Во всех случаях регистрации вызванной внеклеточной электрической активности регистрирующий электрод располагался в области красного ядра, а раздражающий—в области эксплантатов мозжечка или коры головного мозга, соответственно. При введении микроэлек-

трода в область красного ядра регистрировалась электрическая активность, связанная с механическим раздражением нейронов, которая после фиксации электрода уменьшалась и носила нерегулярный характер с периодически возникающими разрядами (рис. 2, А, нижняя запись). Подобная активность нейронов красного ядра заметно отличалась от спонтанной активности нейронов мозжечка, которая была регулярной, имела более высокую частоту разрядов и регистрировалась в течение длительного времени (рис. 2, А, верхняя запись).

Из 32-х исследованных электрически активных препаратов в семи зарегистрирована вызванная активность нейронов красного ядра. Такое соотношение может быть связано, с одной стороны, с возможным отсутствием синаптических связей в ряде препаратов, с другой, — со сложностью поиска нейронов эксплантатов мозжечка и коры головного мозга, образующих синаптические связи с регистрируемыми нейронами красного ядра. Получено два типа ответов: с длинными и короткими латентными периодами. В первом случае латентные периоды ответов могли превосходить 100 мсек при относительно слабом раздражении. При увеличении силы раздражения латентные периоды уменьшались и стабилизировались при максимальном раздражении (рис. 2, Б). Такое изменение латентности ответов характерно для структур со сложной разветвленной нервной сетью, что может иметь место в культуре ткани. В случае коротколатентных ответов изменение интенсивности стимулов не приводило к изменению латентного периода, а при ритмическом раздражении ответы регистрировались при частоте более 50 Гц (рис. 2, В). Вероятнее всего, регистрируемые ответы в данном случае представляли собой антидромные потенциалы действия. Не исключена также возможность прямого раздражения области дендритов регистрируемых нейронов затекающим током.

Таким образом, данные, полученные нами в морфологических и электрофизиологических экспериментах, показали, что в совместно культивируемых препаратах коры головного мозга, красного ядра и мозжечка новорожденной крысы формируются функциональные синаптические связи. Указанные препараты могут быть использованы в качестве экспериментальной модели изучения клеточных и молекулярных механизмов пластичности красного ядра.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели  
НАН Армении

#### Գ. Խ. ՇԱԿՈՐՅԱՆ, Վ. Զ. ՊՈՂՈՍՅԱՆ

Նորածին առնետների հյուսվածքի օրգանատիպիկ կուլտուրայում ուղեղիկի, գլխուղեղի կեղևի և կարմիր կորիզի նեյրոնների միջև ֆունկցիոնալ սինապտիկ կապերի ձևավորումը

Ձևարանական և էլեկտրաֆիզիոլոգիական մեթոդների օգնությամբ հետազոտվել են ուղեղիկի, գլխուղեղի կեղևի և կարմիր կորիզի նեյրոնների միջև սինապտիկ կապերի ձևավորումը նորածին առնետների ներվային հյուսվածքի օրգանատիպիկ կուլտուրայում: Արժաթով իմպրեզնացված պատրաստուկներում կարմիր կորիզի էքսպլանտանտների կենտրոնում հայտնաբերվել են նեյրոններ լավ արտահայտված դենդրիտներով: Աճման տարածքում էքսպլանտանտների միջև հայտնաբերվել են աքսոնների հյուսքերով և առանձին ներվաթելերով կազմավորված կապեր: Ուղեղիկի և գլխուղեղի կեղևի էքսպլանտանտների էլեկտրական գրգռումը հրահրում է կարճատև և երկարատև

գաղտնի շրջան ունեցող գործողութիւնն պոտենցիալներ, որը վկայում է ներ-  
վային հյուսվածքի օրգանատիպիկ կուլտուրայով նշված կառուցների միջև  
ծագած ֆունկցիոնալ սինապտիկ կապերի մասին:

#### Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ ՈՒ Ն

- <sup>1</sup> В. В. Фанарджян, Дж. Саркисян, Физиол. журн. СССР, т. 73, с. 163—172 (1987). <sup>2</sup> N. Tsukahara, H. Hultborn, F. Murakami, J. Neurophysiol, v. 38, p. 1359—1372 (1975). <sup>3</sup> N. Tsukahara, V. Fujito, V. Oda, Exsp. Brain. Res., v. 45, p. 1—12 (1982). <sup>4</sup> V. Oda, M. Ito, H. Kishida, J. Physiol (Paris), v. 83, p. 207—216. (1988—89). <sup>5</sup> И. В. Викторов, В. Е. Шунгская, в кн.: Руководство по культивированию нервной ткани, Наука, М., с. 21—24, 1988. <sup>6</sup> S. U. Kim, Ztschr. Zellforsch, Bd. 107, s. 454—465 (1970).