

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր  
 Д О К Л А Д Ы

LXXXVI, № 4

1988

Խմբագրական կոլեգիա

Գ. Ա. ԱՐՁՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխն. գիտ. բեկնա-  
 ծու (սլատ. fawtounghar), Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ,  
 ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Թ. ԲԱՐԱՅՍՆ,  
 ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Հ. ԳԱՐՐԻՆԷՆՅԱՆ,  
 ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ,  
 ՀՍՍՀ ԳԱ րղր. անդամ, Վ. Հ. ՀԱՍԻԱՐՁՈՒՄ-  
 ՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ  
 ԳԱ ակադեմիկոս (սլատ. խմբագրի տեղա-  
 կալ), Վ. Գ. ՄԽԻԹԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րղր.  
 անդամ, Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակա-  
 դեմիկոս, Գ. Մ. ՍԵԴՐԱԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րղր.  
 անդամ (սլատ. խմբագիր), ՈՒ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻ-  
 ՔԱՅԵԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Վ. Բ.  
 ՆԱՆԱՐՁՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս:

Редакционная коллегия

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик, Г. А.  
 АРЗУМАНЯН, канд. техн. наук (отв  
 секретарь), Э. Г. АФРИКЯН, академик  
 АН АрмССР, А. Т. БАБАЯН, академик  
 АН АрмССР, А. А. ГАБРИЕЛЯН, ака-  
 демик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН,  
 академик АН АрмССР (зам. отв. редак-  
 тора), В. Г. МХИТАРЯН, чл.-корр. АН  
 АрмССР, Г. С. СААКЯН, академик АН  
 АрмССР, Д. М. СЕДРАКЯН, чл.-  
 корр. АН АрмССР (отв. редактор),  
 А. А. ТАЛАЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР,  
 М. Л. ТЕР-МИКАЕЛЯН, академик АН  
 АрмССР, В. В. ФАНАРДЖЯН, ака-  
 демик АН АрмССР.

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ՀՐԱՏԱՐԱԿՉՈՒԹՅՈՒՆ

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Գ. Ս. Հակոբյան, Ռ. Ա. Ալեքսանդրյան — էլիպսոիդային տիրույթներում դժային դիֆերենցիալ օպերատորների փնջի սեփական վեկտոր-բազմանդամների համակարգի լրիվության վերաբերյալ . . . . . 147

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Կ. Լ. Պետրոսյան, Հ. ԿույաՎյակ — Քուլի առաձգական մոդուլի մասին . . . . . 153  
Վ. Վ. Հակոբյան — Ուղղանկյուն մարմնի և վերադիրների փոխազդեցության մասին . . . . . 157  
Ա. Մ. Սարգսյան, Ա. Ս. Խաչիկյան — Մի քանի ֆիզիկական դաշտերի վարժը բազադրյալ մարմնի միացման մակերևույթի Լգրի շրջակայքում . . . . . 161

ԻՆՏԵՐՈՅԻՉԻԿԱ

Հ. Մ. Այվազյան — Ենթամիլիմետրանոց ալիքների ռադիոլուկացիոն անդրադարձման մեխանիզմի ամպերում հեղուկ կաթիլների սառույցին անցնելու կարկտազոյացման սկզբնական վերջնական հայտնաբերումը . . . . . 166

ՖԻԶԻԿԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

Ռ. Հ. Բախչաթյան, Ի. Ա. Վարդանյան, Ա. Ք. Նալբանդյան — Ալդեհիդների ցածր չերմաստիճանային օքսիդացումը համոզեն շղթաների զարգացման բացառման պայմաններում . . . . . 170

ՄՈՒԿԱԴՐԱԿԱՆ ԿՆՆՈՒՄԱՐԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ռ. Ա. Զախարյան, Կ. Հ. Բակունց, Ն. Ա. Սկորելևա — Եշ-ՌՆԹ-ի առանձնահատուկ ունեցվածքի բջի պլազմատիկ թաղանթի վրա . . . . . 174

ԲԻՈՔԻՄԻԱ

Գ. Լ. Հաբուրյունյան, Ա. Ա. Պողոսյան, Ա. Գ. Մխիթարյան — Խոշոր և զգրավոր ախտաբանների ուղեղի (ԱԳԾ-ոլիոպա) պոլիմերոպայի անջատումը: Հիմնական ֆիզիկա-րիմիական հատկությունները . . . . . 178  
Խ. Ս. Սալադյան, Ա. Վ. Զիլֆյան, Ռ. Ա. Սանակյան, Գ. Կ. Գևորգյան, Մ. Ի. Գեվորգյան — Հարվահանաձև գեղձերի մզվածքների ազդեցությունը ԴՆԹ-ի սինթեզի վրա լարբատոր կենդանիների թիմուսի և փայտաղի լիմֆոցիտներում . . . . . 181  
Ա. Լ. Շալոյան, Ս. Լ. Մկրտչյան, Վ. Գ. Մխիթարյան — Զհագեցած ճարպաթթուները և գերօքսիդացման պրոցեսը առնետների լյարդում . . . . . 187

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

- Г. С. Аюбян, Г. А. Александрян*—О полноте системы собственных вектор-полиномов линейного пучка дифференциальных операторов в эллипсоидальных областях . . . . . 147

### МЕХАНИКА

- Г. Л. Петросян, Г. Куявяк*—О модуле упругости чугуна . . . . . 153  
*В. В. Аюбян*—О взаимодействии прямоугольного тела со струнгером . . . . . 157  
*А. М. Саргсян, А. С. Хачикян*—Поведение некоторых физических полей в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного тела . . . . . 161

### РАДИОФИЗИКА

- Г. М. Айвазян*—Обнаружение начала градообразования—перехода жидких капель в лед в облаках по радиолокационному отражению субмиллиметровых волн . . . . . 166

### ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

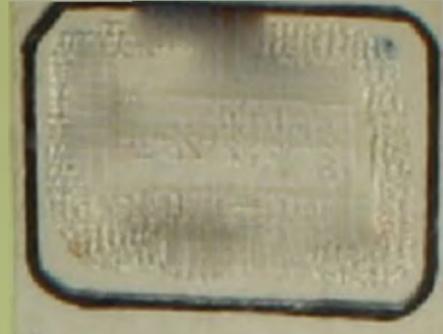
- Р. А. Бахчаджян, И. А. Вирданян, А. Б. Налбандян*—Низкотемпературное окисление альдегидов в условиях, исключающих гомогенное развитие цепей . . . . . 170

### МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- Р. А. Захарян, К. А. Бакунц, И. А. Скобелева*—Специфическая рецепция дс-РНК на плазматической мембране клетки . . . . . 174

### БИОХИМИЯ

- Д. Л. Арутюнян, А. А. Погосян, А. Г. Мхитарян*—Выделение (АДФ-рибоза) полимеразы из мозга крупного рогатого скота. Основные физико-химические свойства . . . . . 178  
*Х. С. Саядян, А. В. Зильфян, Р. А. Саакян, М. И. Геворкян, Г. Г. Геворкян*—Влияние экстракта паразитовидных желез на синтез ДНК в лимфоцитах тимуса и селезенки лабораторных животных . . . . . 181  
*А. Л. Шалджян, С. Л. Мкртчян, В. Г. Мхитарян*—Ненасыщенные жирные кислоты и перекисное окисление в печени крыс . . . . . 187



C O N T E N T S

MATHEMATICS

P.

*G. S. Hakobian, [R. A. Aleksandrian]*—On completeness of the system of eigen-vector polynomials of linear bundle of differential operators in ellipsoid ranges . . . . . 147

MECHANICS

*G. L. Petrossian, G. Kujavlac*—Module of cast iron elasticity . . . . . 153  
*V. V. Hakobian*—On interactions of rectangle bodies with stiffeners . . . . . 157  
*A. M. Sargslan, A. S. Khachikian*—The behaviour of certain physical fields at the vicinity of the edge of contact surface of piecewise-homogeneous body . . . . . 161

RADIOPHYSICS

*H. M. Ayvazian*—Hall-forming initiation discovery—transition of liquid drops into ice in the clouds by backscattering of submillimeter waves. . . . . 166

PHYSICAL CHEMISTRY

*R. H. Bakhchadjan, I. A. Vardanian, [A. B. Nalbandian]*—The low temperature oxidation of the aldehydes in conditions excluding the homogeneous propagation of the chains . . . . . 170

MOLECULAR BIOLOGY

*R. A. Zakharian, K. A. Bakunts, N. A. Skobeleva*—Specific reception of ds-RNA on plasmatic membrane of the cell . . . . . 171

BIOCHEMISTRY

*D. L. Harutjunian, A. A. Pogossian, A. G. Mkhitarian*—Purification of (ADP-ribose) polymerase from bovine brain. Main physico-chemical properties . . . . . 178

*Ch. S. Sayadian, A. V. Zilphian, R. A. Sahakian, M. I. Gevorgian, G. G. Gevorgian*—The parathyroid extract influence on the DNP synthesis in thymocytes and splenocytes of laboratory animals . . . . . 181

*A. L. Shalgian, S. L. Mkrtechian, V. G. Mkhitarian*—Unsaturated fatty acids and peroxidation processes in the rat liver. . . . . 181

Техн. редактор *Азизбекия Л. А.*

Сдано в набор 31.03. 1988 г. Подписано к печати 20.05 1988 г. ВФ 05537  
 Бумага № 2, 70 × 108<sup>1/16</sup>. Высокая печать. Печ. лист 3,0. Усл. печ. л. 4.2.

Учетно-изд. л. 3,36. Тираж 445. Заказ. 541. Издат. 7355.

Адр. ред.: 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24-г., 11 эт., к. 1, т. 27-97-238

Издательство Академии наук Армянской ССР. 375019, Ереван,  
 пр. Маршала Баграмяна, 24-г.

Типография Издательства Академии наук АрмССР, 378310, г. Эчмиадзин

УДК 517.956.2

МАТЕМАТИКА

Г. С. Акопян, академик АН Армянской ССР | Р. А. Александрян |

О полноте системы собственных вектор-полиномов линейного пучка дифференциальных операторов в эллипсоидальных областях

(Представлено 8/II 1988)

Спектральные свойства пучка дифференциальных операторов

$$M(u) + \lambda L(u) = 0, \quad (x, y) \in \Omega \subset \mathbb{R}^2 \quad (1)$$

где  $M = \frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2}$ ,  $L = \Delta$  — оператор Лапласа при нулевых краевых условиях

$$u|_{\Gamma} = 0, \quad \Gamma = \partial\Omega, \quad (2)$$

впервые были рассмотрены в работах Р. А. Александряна <sup>(1,2)</sup> в связи с изучением качественного поведения решений системы С. Л. Соболева <sup>(3)</sup>, описывающей малые колебания вращающейся идеальной жидкости. В них было показано, что эта задача эквивалентна изучению спектральных свойств некоторого ограниченного и самосопряженного оператора, действующего в пространстве  $\dot{W}_2^1(\Omega)$ . При построении спектрального разложения упомянутого оператора фундаментальную роль сыграло исследование свойств введенных в <sup>(1)</sup> специальных диффеоморфизмов  $S_i^{(\pm)}$  границы области, а также привлечение теории Пуанкаре—Данжуа, сохраняющей ориентацию гомеоморфизмов окружности.

Если в (1)  $M$  представляет собой простейший ультрагиперболический оператор, а  $L$  — оператор Лапласа, то основное уравнение (1) принимает вид

$$(1+\lambda) \sum_{l=1}^r \frac{\partial^2 u}{\partial x_l^2} - (1-\lambda) \sum_{l=r+1}^n \frac{\partial^2 u}{\partial x_l^2} = 0 \quad (1')$$

и при  $|\lambda| < 1$  представляет ультрагиперболическое уравнение, содержащее числовой параметр  $\lambda$ . В том случае, когда  $\Omega$  есть  $n$ -мерная сфера с центром в начале и радиуса  $R$ , в работе <sup>(2)</sup> доказывается существование полной системы собственных функций задачи (1')—(2).

В настоящей работе мы рассматриваем аналогичные вопросы для операторов с постоянными коэффициентами, однако уже действующими в пространстве вектор-функций.

Пусть  $\Omega$  — произвольный эллипсоид с уравнением  $1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j =$

$= 0$ . Рассматривается однородная краевая задача для нижеследующего линейного пучка дифференциальных уравнений

$$M(\vec{u}) + \lambda L(\vec{u}) = \vec{0}, \quad x \in \Omega \subset \mathbb{R}^n, \quad (3)$$

$$\vec{u}|_{\Gamma} = 0, \quad \vec{L} = \partial\Omega \quad (4)$$

$$\text{где } M(\vec{u}) = - \sum_{i,j=1}^n A_{ij} \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j}, \quad L(\vec{u}) = - \sum_{i,j=1}^n B_{ij} \frac{\partial^2 u}{\partial x_i \partial x_j},$$

$\vec{u} = (u_1, \dots, u_m)$  искомый  $m$ -мерный столбец. Предполагается, что  $A_{ij} = -A_{ji}$ ,  $B_{ij} = B_{ji}$  ( $i, j = 1, \dots, n$ ) и все они суть постоянные, симметричные матрицы порядка  $n \times n$ ; предполагается также, что квадратичная форма

$$\sum_{i,j=1}^n (B_{ij} \xi^i, \xi^j) \geq c \sum_{i=1}^n |\xi^i|^2 \quad (5)$$

для любых векторов  $\xi^1, \dots, \xi^n \in \mathbb{R}^n$ ,  $c = \text{const} > 0$ .

Обозначим через  $\mathcal{P}$  линейное многообразие вектор-полиномов, т. е. вектор-функция  $\vec{P}(x) = (P_1(x), \dots, P_m(x)) \in \mathcal{P}$ , если для любого  $k$  ( $1 \leq k \leq m$ )  $P_k$  — полином, а через  $\mathcal{P}_l$  — совокупность всех вектор-полиномов степени не выше  $l$ , т. е.  $\vec{P}(x) \in \mathcal{P}_l$ , если  $P_k(x) \in \mathcal{P}$  и  $\max_{1 \leq k \leq m} \deg P_k(x) \leq l$ .

Пусть, наконец,  $\bar{C}_0(\bar{\Omega})$  — банахово пространство непрерывных в  $\bar{\Omega}$ , исчезающих на границе  $\Gamma$  вектор-функций с нормой

$$\|\vec{f}\| = \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} |f_k(x)|, \quad \text{где } \vec{f} = (f_1(x), \dots, f_m(x)). \quad (6)$$

**Лемма 1.** Пусть  $\vec{f} \in \bar{C}_0(\bar{\Omega})$  произвольная вектор-функция, тогда существует последовательность вектор-полиномов  $\{\vec{P}^r(x)\}_{r=1}^{\infty}$ ,  $\vec{P}^r(x) \in \bar{C}_0(\bar{\Omega})$ , которая при  $r \rightarrow \infty$  по норме (6) сходится к  $\vec{f}$ .

**Доказательство.** Пусть  $\epsilon > 0$  задано. По теореме Вейерштрасса существует последовательность многочленов  $q_k^l(x)$  ( $k=1, 2, \dots, m$ ), которая при  $l \rightarrow \infty$  равномерно сходится к  $f_k(x)$  ( $k=1, \dots, m$ ). Следовательно, существует такой номер  $N_0(\epsilon)$ , что при  $l > N_0$

$$\sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} |f_k(x) - q_k^l(x)| < \epsilon. \quad (7)$$

Через  $\Omega_\delta$ ,  $\delta > 0$ , обозначим множество, состоящее из всех точек области  $\Omega$ , расстояние от которых до границы  $\Gamma$  больше  $\delta$ . Тогда ясно, что при достаточно малом  $\delta$  для всех  $k=1, 2, \dots, m$  будем иметь

$$\max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \Omega_\delta} |q_k^l(x)| \leq \max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \Omega_\delta} |q_k^l(x) - f_k(x)| + \max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \Omega_\delta} |f_k(x)| < \frac{2\epsilon}{m}.$$

Следовательно, 
$$\sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \Omega_\delta} |q_k^l(x)| < 2\epsilon. \quad (8)$$

Составим вектор-полином  $\vec{P}^r(x)$  с компонентами  $P_k^r(x)$  по формулам

$$P_k^r(x) = \left(1 - \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r}\right) q_k^l(x) \quad (k=1, 2, \dots, m),$$

который при всяком целом  $r$ , очевидно, принадлежит банахову пространству  $\vec{C}_0(\bar{\Omega})$ . Принимая во внимание, что  $\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j$  в  $\Omega_\delta$  строго меньше единицы, а величины  $\max_{x \in \bar{\Omega}} |q_k^l(x)|$  ( $l=1, 2, \dots$ ), очевидно, ограничены не зависящей от  $l$  константой, найдем  $r_0$ , зависящее от  $\varepsilon$  и  $\delta$ , такое, что при всех  $r \geq r_0$

$$\max_{x \in \bar{\Omega}_\delta} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right| < \frac{\varepsilon}{m}$$

и, следовательно,

$$\sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}_\delta} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right| < \varepsilon. \quad (9)$$

Сопоставляя (7), (8), (9), получим

$$\begin{aligned} \|\vec{f} - \vec{P}^r\| &= \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} |f_k(x) - P_k^r(x)| = \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} |f_k(x) - q_k^l(x) + \\ &+ \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x)| \leq \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} |f_k(x) - q_k^l(x)| + \\ &+ \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right|. \end{aligned} \quad (10)$$

В силу (7) первое слагаемое справа, в (10), меньше  $\varepsilon$ , поэтому остается оценить второе слагаемое. Легко видеть, что

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega}} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right| &\leq \sum_{k=1}^m \left[ \max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \bar{\Omega}_\delta} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right| + \right. \\ &\left. + \max_{x \in \bar{\Omega}_\delta} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right| \right] \end{aligned}$$

и второе слагаемое в силу (9) меньше  $\varepsilon$  независимо от  $l$ . Выбирая  $l > N_0(\varepsilon)$ , будем иметь

$$\begin{aligned} \|\vec{f} - \vec{P}^r\| &\leq \varepsilon + \sum_{k=1}^m \left| \max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \bar{\Omega}_\delta} \left| \left(\sum_{l,j=1}^n a_{lj} x_l x_j\right)^{2r} q_k^l(x) \right| \right| + \varepsilon \leq \varepsilon + \\ &+ \sum_{k=1}^m \max_{x \in \bar{\Omega} \setminus \bar{\Omega}_\delta} |q_k^l(x)| + \varepsilon \leq 4\varepsilon. \end{aligned}$$

Лемма 1 доказана.

Пусть  $N = N(l, n, m)$  максимальное число линейно независимых вектор-полиномов, принадлежащих  $\vec{\mathcal{P}}_l$ . В линейном многообразии  $\vec{\mathcal{P}}_l$  зафиксируем некоторый базис и каждому вектор-полиному  $\vec{P}(x) \in \vec{\mathcal{P}}_l$  сопоставим  $N$ -мерный вектор  $\vec{P} \in \mathbb{R}^N$ , представляющий собой упорядо-

ченную совокупность его коэффициентов. Таким образом, мы получим взаимно однозначное отображение  $\pi: \vec{\mathcal{P}}_1 \rightarrow \mathbb{R}^N$ . Определим в  $\mathbb{R}^N$  новое скалярное произведение следующим образом:

$$\{\vec{p}, \vec{q}\} = \int_{\Omega} \left( \left( 1 - \sum_{k,r=1}^n a_{kr} x_k x_r \right) \pi^{-1} \vec{p}, \pi^{-1} \vec{q} \right) dx, \quad (11)$$

и, чтобы подчеркнуть это различие, будем его обозначать через  $\hat{\mathbb{R}}^N$ .

Скалярное произведение (11) порождает в линейном многообразии скалярное произведение по формуле

$$\langle \vec{P}(x), \vec{Q}(x) \rangle = \{\pi \vec{P}(x), \pi \vec{Q}(x)\}, \quad (12)$$

Из (12) следует, что отображение  $\pi$  является изометрическим изоморфизмом между  $\vec{\mathcal{P}}_1$  и  $\hat{\mathbb{R}}^N$ .

В пространстве  $\hat{\mathbb{R}}^N$  рассмотрим операторы  $\tilde{M}$  и  $\tilde{L}$ , которые определены по формулам

$$\begin{aligned} \tilde{M}(\vec{p}) = \pi \left( M \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{p} \right) \right), \quad \tilde{L}(\vec{p}) = \pi \left( L \left( \left( 1 - \right. \right. \right. \\ \left. \left. \left. - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{p} \right) \right). \end{aligned} \quad (13)$$

Так как операторы  $M \circ \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)$ ,  $L \circ \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)$  отображают  $\vec{\mathcal{P}}_1$  в  $\vec{\mathcal{P}}_1$ , то формулы (13) действительно определяют отображения  $\hat{\mathbb{R}}^N$  в  $\hat{\mathbb{R}}^N$ .

*Лемма 2. Операторы  $\tilde{M}$  и  $\tilde{L}$  симметричны в скалярном произведении (11), причем оператор  $\tilde{L}$  положительно определенный.*

*Доказательство.* Пусть  $\vec{p}, \vec{q}$  произвольные элементы из  $\hat{\mathbb{R}}^N$ , тогда

$$\begin{aligned} \{\tilde{M}\vec{p}, \vec{q}\} &= \int_{\Omega} \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \tilde{M}\vec{p}, \pi^{-1} \vec{q} \right) dx = \\ &= - \int_{\Omega} \left( \sum_{k,r=1}^n A_{kr} \frac{\partial^2 \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{p} \right)}{\partial x_k \partial x_r}, \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{q} \right) dx. \end{aligned}$$

Интегрируя по частям, получим

$$\begin{aligned} \{\tilde{M}\vec{p}, \vec{q}\} &= \int_{\Omega} \sum_{k,r=1}^n \left( A_{kr} \frac{\partial \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{p} \right)}{\partial x_k}, \right. \\ &\left. \frac{\partial \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{q} \right)}{\partial x_r} \right) dx = - \int_{\Omega} \sum_{k,r=1}^n \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \pi^{-1} \vec{p}, \right. \end{aligned}$$

$$A_{kr} \frac{\partial \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{q}} \right)}{\partial x_k \partial x_r} dx = \{ \vec{p}, \vec{M} \vec{q} \}.$$

Совершенно аналогично убеждаемся, что  $\{ \vec{L} \vec{p}, \vec{q} \} = \{ \vec{p}, \vec{L} \vec{q} \}$ . Кроме того,

$$\{ \vec{L} \vec{p}, \vec{p} \} = \int \sum_{k,r=1}^n \left( B_{kr} \frac{\partial \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{p}} \right)}{\partial x_k} \frac{\partial \left( \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{p}} \right)}{\partial x_r} \right) dx;$$

применяя неравенство (5), получим, что  $\{ \vec{L} \vec{p}, \vec{p} \} > 0$ .

**Определение.** Отличный от тождественного нуля вектор-полином  $P_0(x)$  называется собственным вектор-полиномом, соответствующим собственному значению  $\lambda_0$ , если он является решением задачи (3), (4) при  $\lambda = \lambda_0$ .

Имеет место следующая

**Теорема.** Система собственных вектор-полиномов задачи (3), (4) полна в банаховом пространстве  $\vec{C}_0(\bar{\Omega})$ .

**Доказательство.** Пусть ненулевой вектор  $\vec{p}_0 \in \hat{R}^N$  является собственным вектором пучка

$$\vec{M}(\vec{p}) + \lambda \vec{L}(\vec{p}) = \vec{0}, \quad (14)$$

соответствующим собственному значению  $\lambda = \lambda_0$ . Так как оператор  $\pi$  является изоморфизмом между  $\vec{P}_l$  и  $\hat{R}^N$ , то

$$M \left[ \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{p}_0} \right] + \lambda_0 L \left[ \left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{p}_0} \right] = \vec{0},$$

а это означает, что вектор-полином  $\left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{p}_0}$  является собственной функцией задачи (3), (4), соответствующей собственному значению  $\lambda_0$ .

Из леммы 2 следует, что линейный пучок (14) является регулярным пучком, поэтому существует система линейно независимых

векторов  $\vec{p}_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ), таких, что  $\vec{M}(\vec{p}_k) + \lambda_k \vec{L}(\vec{p}_k) = \vec{0}$  ( $k = 1, 2, \dots, N$ ), где среди  $\lambda_k$  могут быть и кратные. Таким образом, доказано, что вектор-полиномы  $\left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right)^{\pi^{-1} \vec{p}_k}$  являются собственными функциями задачи (3), (4). Теперь заметим, что всякий вектор-полином степени  $(l+2)$ , исчезающий на границе, представим в

виде  $\left( 1 - \sum_{i,j=1}^n a_{ij} x_i x_j \right) \vec{P}_l(x)$ , где  $\deg \vec{P}_l(x) \leq l$ , поэтому легко понять,

что число линейно независимых вектор-полиномов степени не выше  $(l+2)$  и исчезающих на границе равно  $N = N(l, n, m)$ . С другой стороны, число построенных нами линейно независимых собственных вектор-полиномов степени не выше  $(l+2)$  в точности равно  $N$ . Из сказанного и из леммы 1 легко заключить, что построенная система собственных вектор-полиномов действительно полна в  $\overline{C}_0(\Omega)$ .

Ереванский государственный университет

Գ. Ս. ՀԱԿՈՐՅԱՆ, Հայկական ՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս Ի. Ա. ԱԼԵՔՍԱՆԴՐՅԱՆ

էլիպսոիդալ տիրույթներում գծային դիֆերենցիալ օպերատորների փնջի սեփական վեկտոր-բազմանդամների համակարգի լրիվության վերաբերյալ

Վեկտոր-ֆունկցիաների տարածությունում դիտարկվում է դիֆերենցիալ օպերատորների փնջով ծնված Դիրիխլեի հետևյալ խնդիրը

$$\begin{cases} M(\vec{u}) + L(\vec{u}) = \vec{0}, & x \in \Omega \subset \mathbb{R}^N \\ \vec{u}|_{\Gamma} = \vec{0} \end{cases} \quad (*)$$

որտեղ  $M, L$  — 2-րդ կարգի, հաստատուն գործակիցներով դիֆերենցիալ օպերատորներ են, ընդ որում ենթադրվում է, որ  $L$ -ը էլիպտիկ օպերատոր է,  $\vec{u} = (u_1, \dots, u_m)$  — որոնելի վեկտոր-ֆունկցիան է,  $\Omega \subset \mathbb{R}^N$  էլիպսոիդալ տիրույթ է,  $\Gamma = \partial\Omega$ :

Կառուցվում է  $\pi$  իզոմետրիկ-իզոմորֆիզմը մինչև  $l$ -րդ կարգի  $\mathcal{P}_l$  վեկտոր-բազմանդամների և  $N = N(n, m, l)$  չափանի վեկտորական  $\mathbb{R}^N$  տարածության միջև և օգտագործելով  $\pi$  արտապատկերման հատկությունները ապացուցվում է, որ (\*) խնդրի սեփական վեկտոր-բազմանդամների համակարգը լրիվ է  $\overline{\Omega}$ -ում անընդհատ և  $\partial\Omega$ -ում զրո դարձող վեկտոր-ֆունկցիաների  $\overline{C}_0(\Omega)$  բանախյան տարածությունում:

#### ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> Р. А. Александрян, ДАН СССР, т. 43, № 5 (1950). <sup>2</sup> Р. А. Александрян, Тр. Моск. мат. о-ва, т. 9 (1960). <sup>3</sup> С. Л. Соколов, ПМФТ, № 3 (1960).

УДК 620.10

МЕХАНИКА

Г. Л. Петросян, Г. Куявяк

### О модуле упругости чугуна

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном | 3/VII 1987)

Известно что чугун является пористым материалом, в котором пористость  $v_n$ , связанная с пустотами в чугуне, колеблется в зависимости от содержания углерода (<sup>1</sup>). Если считать, что графит также создает пористость определенного значения  $v_r$  и ее можно учитывать только при растяжении образца, то для величины начальной пористости  $v_0$  чугуна будем иметь:

$$\text{при растяжении} \quad v^+ = v_n + v_r, \quad (1)$$

$$\text{при сжатии} \quad v^- = v_n.$$

Анализ известных работ показывает, что эти и другие специфические особенности чугуна, связанные с его упругопластическим деформированием, изучены мало. Поэтому представляет большой интерес дальнейшее исследование физико-механических свойств чугуна с позиции современных представлений механики пористых спеченных материалов.

Целью настоящей работы является экспериментально-теоретическое обоснование возможности применения для чугуна методики исследования упругого деформирования реальных пористых материалов.

Сначала обсудим вопрос определения пористости чугуна  $v_r$ , создающейся графитом. Зная удельные веса графита  $\gamma_r$  и железа  $\gamma_{ж}$ , их веса  $G_r$  и  $G_{ж}$ , определяем соответствующие объемы

$$V_r = G_r / \gamma_r, \quad V_{ж} = G_{ж} / \gamma_{ж}. \quad (2)$$

Объем вещества чугуна будет равняться

$$V_{ч} = V_r + V_{ж}, \quad (3)$$

а его удельный вес

$$\gamma_{ч} = (G_r + G_{ж}) / V_{ч}. \quad (4)$$

Записав закон сохранения массы и учитывая выражения (2) — (4), определяем величину отношения объема железа к объему чугуна

$$V_{ж} / V_{ч} = (\gamma_{ч} - \gamma_r) / (\gamma_{ж} - \gamma_r).$$

Эта зависимость позволяет определить пористость материала  $v_r$  как отношение объема графита к объему чугуна:

$$v_r = (\gamma_{ж} - \gamma_{ч}) / (\gamma_{ж} - \gamma_r). \quad (5)$$

Исследования показали, что пористость  $v_n$  можно с большой точностью найти и по формуле определения относительной площади графита (2).

Пористость  $v_n$  определяется как отношение объема пор  $V_n$  к объему образца  $V_{об}$ :  $v_n = V_n / V_{об}$ , где  $V_{об}$  определяется в зависимости от размеров образца, а  $V_n = V_{об} - V_{ч}$ .

Теперь обсудим вопрос связи модуля упругости первого рода  $E$  с пористостью  $v_0$  чугуна. Для этого используем диаграмму связи модуля упругости с величиной массы графита, содержащегося в чугуне (1).

Используя формулы (2)–(5) и данные работы (1), строим диаграмму  $E_v - v_r$  (сплошная линия 1–4–5 на рис. 1). Что касается

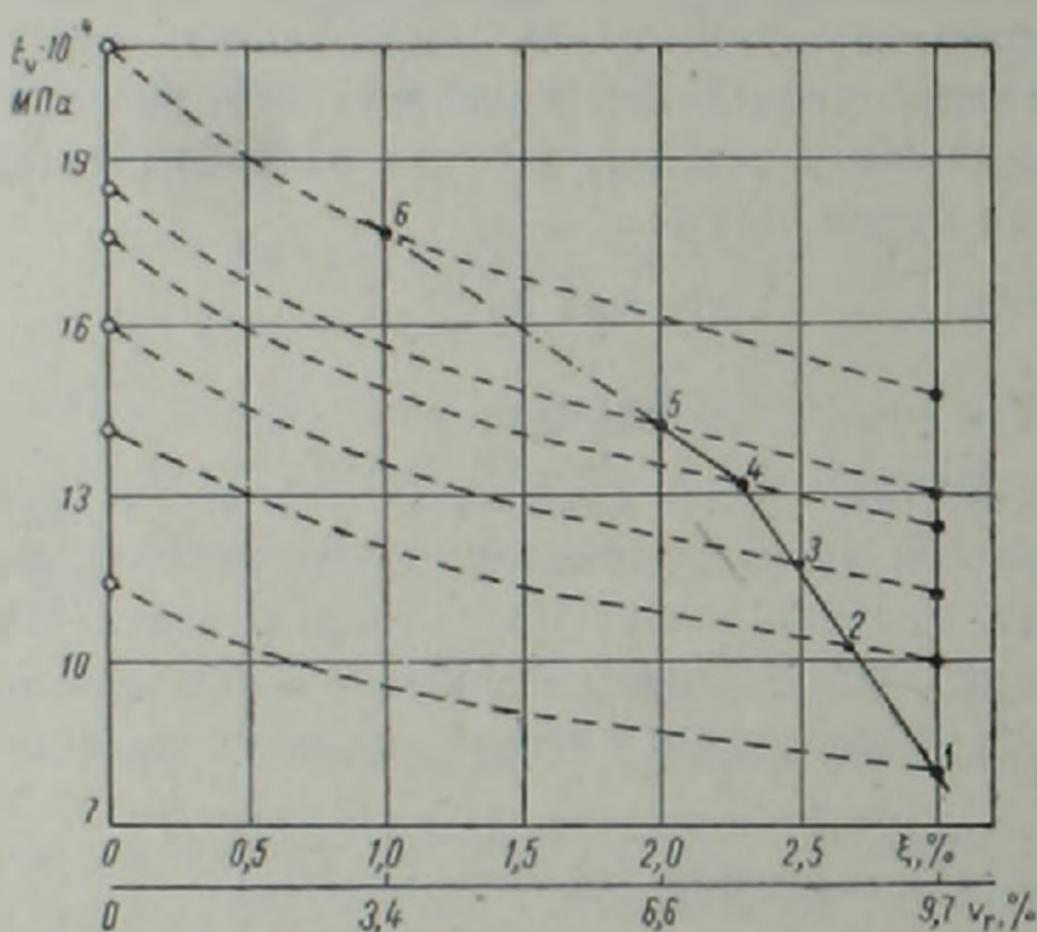


Рис. 1. Диаграмма модуля упругости чугуна в зависимости от пористости, создаваемой графитом

штрихпунктирной линии 5–6, то она является продолжением линии 4–5.

Для пористых порошковых материалов связь между модулем упругости пористого материала  $E_r$  и его пористостью  $v_0$  выражается следующей зависимостью (3):

$$E_r = E(1 - v_0)^{2.6}, \quad (6)$$

где  $E$  — модуль упругости сплошной части материала.

Формула (6) позволяет определить модуль упругости вещества чугуна  $E$ . Для чугуна с различным содержанием графита на основании данных рис. 1 (точки 1–6) определяются величины модуля упругости вещества чугуна  $E$  при  $v_n = 0,03$  и  $v_0 = v^* = v_n + v_r$ . Здесь предполагается, что кривая 1–4–5 (рис. 1) получена испытаниями образцов чугуна на растяжение. Полученные результаты показаны на оси  $E_v$  рис. 1 кружочками.

По формуле (6) были подсчитаны также значения модуля упру-

гости  $E_0$  для различных величин содержания графита в чугуна, и по ним были построены кривые  $E_0 - v^*$  (штриховые линии на рис. 1). Сопоставление этих кривых показывает, что с уменьшением содержания графита в чугуна интенсивность изменения модуля упругости чугуна  $E_0$  уменьшается.

Большой практический интерес представляет установление связи между модулем упругости вещества чугуна  $E$  и величиной массы графита  $\xi$  (%), содержащегося в чугуна (кружочки на рис. 2). Эти

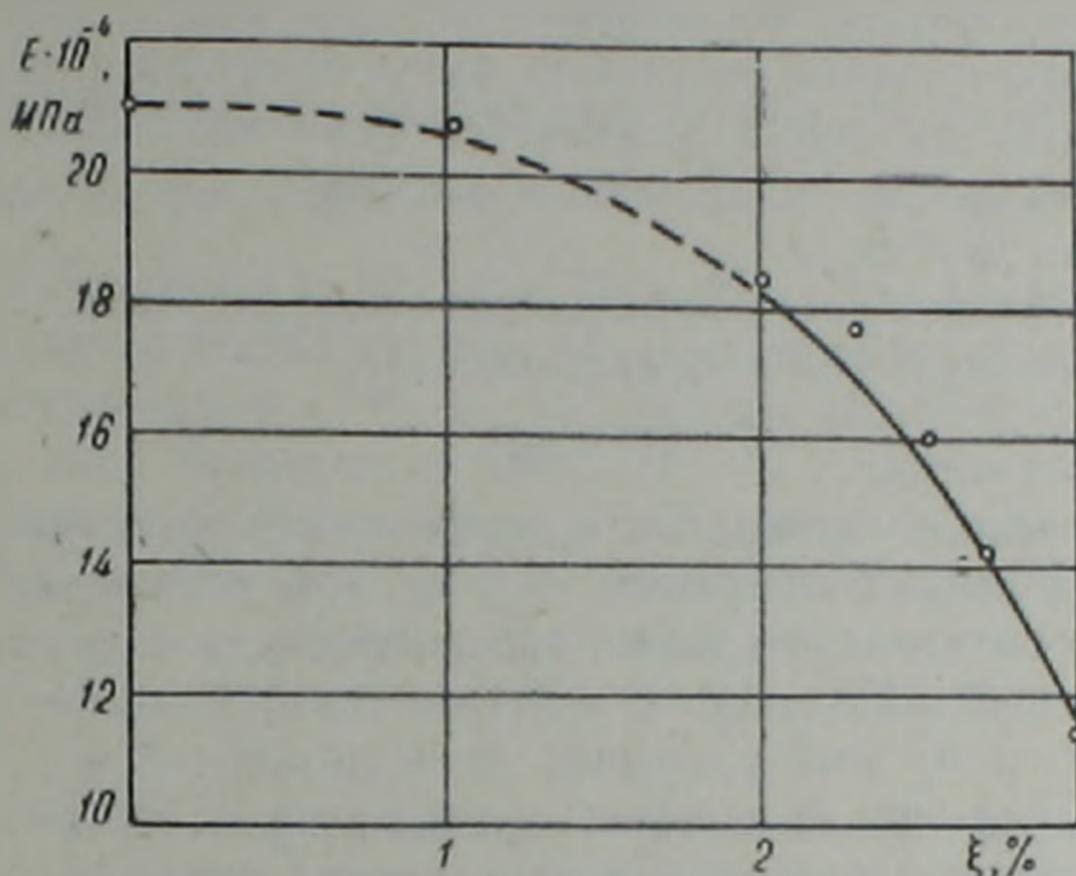


Рис. 2. График модуля упругости вещества чугуна в зависимости от величины массы графита, содержащегося в нем

данные хорошо аппроксимируются степенной зависимостью вида  $E = a - b\xi^c$ , где  $a$ ,  $b$  и  $c$  коэффициенты аппроксимации. Достаточно хорошие результаты получаются при следующих значениях коэффициентов:  $a = 21 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ ,  $b = 34,5 \cdot 10^2 \text{ МПа}$ ,  $c = 3$ . Тогда имеем

$$E = (21 - 0,345\xi^3) \cdot 10^4 \text{ МПа.} \quad (7)$$

Результаты вычислений  $E$  по формуле (7) на рис. 2 показаны точками и сплошной линией при  $2 \leq \xi \leq 3$  и штриховой при  $0 \leq \xi \leq 2$ . Следует отметить, что, так как первый участок кривой (сплошная линия) соответствует экспериментальным данным (1), формулу (7) можно использовать для чугуна, содержащего от 2 до 3% графита.

Подставляя выражение (7) в формулу (6), окончательно имеем

$$E_0 = (21 - 0,345\xi^3)(1 - v_0)^{0,6} \cdot 10^4 \text{ МПа.} \quad (8)$$

Полученная формула для модуля упругости чугуна является универсальной и учитывает в пределах  $2 \leq \xi \leq 3$  влияние как графита, так и пористости чугуна.

Выражения (1)–(5) и (8) позволяют при заданных значениях величин массы графита, содержащегося в чугуна  $\xi$ , пористостей  $v_a$  и  $v_r$  определить начальные пористости  $v_0$  чугуна при растяжении ( $v^+$ ) и сжатии ( $v^-$ ) и по ним установить модули упругости чугуна при растяжении  $E^+$  и сжатии  $E^-$ .

Так, например, при  $\xi=2\%$ ;  $\nu_r=0,066$ ;  $\nu_n=0,03$  имеем  $\nu^+=0,096$ ;  $\nu^-=0,03$ ;  $E^+=1,4 \cdot 10^5$  МПа;  $E^-=1,69 \cdot 10^5$  МПа.

Полученные различные значения модуля упругости  $E$  при растяжении ( $E^+$ ) и сжатии ( $E^-$ ) позволяют заключить, что: 1) чугун является разномодульным материалом; 2) разномодульными могут являться те пористые материалы, в которых имеются твердые неметаллические включения (например, абразивно-металлические спеченные пористые материалы).

Следует отметить, что формула (6) для чугуна является приближенной. Более точные результаты будут получаться, если для чугуна в формуле (6) вместо степени 2,6 будет использоваться реальный коэффициент  $k$ , учитывающий специфические особенности деформирования чугуна.

Приведем методику определения коэффициента  $k$ . Сначала представим формулу (6) в следующем виде:

$$E_v = E(1 - \nu_0)^k. \quad (9)$$

Неизвестные величины  $E$  и  $k$  определяются на основании экспериментальных данных диаграммы  $E_v - \nu_0$  при растяжении и сжатии. Для данного содержания графита при растяжении и сжатии соответственно имеем  $E^+ = E(1 - \nu^+)^k$ ;  $E^- = E(1 - \nu^-)^k$ .

Решая систему этих уравнений относительно  $E$  и  $k$ , получаем  $E = E^- / (1 - \nu^-)^k$ ,  $k = \log_b A$ , где  $b = (1 - \nu^-) / (1 - \nu^+)$ ,  $A = E^- / E^+$ .

Таким образом, показано, что пористость оказывает существенное влияние на физико-механические свойства чугуна как естественно-пористого материала. Учетом же наличия свободного графита в чугуне доказывается, что он является разномодульным материалом.

Ереванский политехнический  
институт им. К. Маркса  
Лодзинский политехнический институт

Գ. Լ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ, Հ. ԿՈՒՅԱԿՅԱԿ

Թուջի առածգալանության մոդուլի մասին

Սգտագործելով թուջի, որպես ծակոտկեն նյութի առանձնահատկությունները, դուրս է բերված նրա առածգալանության մոդուլի որոշման բանաձևը արտահայտված թուջի ծակոտկենությունից և նրանում գրաֆիտի պարունակության դանգվածի մեծությունից: Յույց է արված, որ թուջը տարամոդուլ նյութ է:

#### ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

<sup>1</sup> Cz. Podrzucki, Cz. Kalama, Metalurgia i odlewnictwo zeliwa, Wydawnictwo „Slask” Katowice, 1976. <sup>2</sup> H. Kujawlak, Cz. Podrzucki, Wpływ podstawowych czynników metalurgiczno-odlewniczych oraz obróbki cieplnej na strukturę żeliwnych pierścieni i:okowych do silników z zapłonem samoczynnym. Krystalizacja i własności stopów odlewniczych w Krakowie, Krakow, 1979, s. 67–89. <sup>3</sup> K. Osakada, S. Shima, Analytical methods for plastic working of sintered metals.—G. Int. Pulvermetal Tag. der DDR, 1977, Bd. 1.

УДК 539.3

МЕХАНИКА

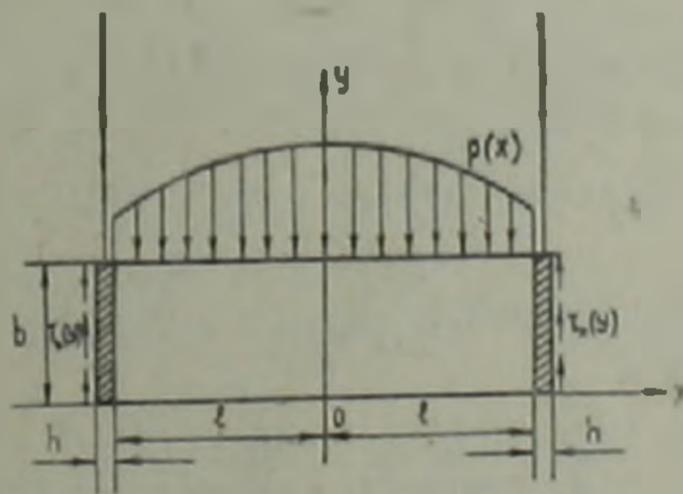
В. В. Акопян

О взаимодействии прямоугольного тела со струнгерами

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Б. Л. Абрамяном 14/ХІІ 1987)

Результаты работ по исследованию обширного класса задач контактного взаимодействия струнгеров с массивными деформируемыми телами подытожены в (1,2). В этих задачах массивные тела обычно берутся в виде бесконечных областей, что существенно упрощает структуру определяющего уравнения. Однако в практически важных случаях массивные деформируемые тела имеют конечные размеры, которые значительно осложняют изучение таких задач. Задачи контактного взаимодействия струнгеров с прямоугольниками рассмотрены в (3-5).

В настоящей статье рассматривается плоская задача теории упругости для прямоугольника, усиленного двумя симметрично расположенными струнгерами длины  $b$  и малой толщины  $h$ . На концах струнгеров действуют вертикальные сосредоточенные силы, уравновешивающие силы тяжести, и распределенные нагрузки  $p(x)$  и  $\tau_0(y)$  (рисунок).



Как обычно (6), будем предполагать, что жесткость струнгера на изгиб пренебрежимо мала и его модуль упругости намного больше модуля упругости прямоугольника, что позволяет считать струнгер находящимся в одноосном напряженном состоянии. Поэтому на линии соединения струнгера с прямоугольником будут действовать только тангенциальные контактные напряжения.

Граничные условия для прямоугольника имеют вид:

$$\sigma_x^{(1)}(\pm l, y) = \tau_{xy}(x, 0) = \tau_{xy}(x, b) = 0, \quad (1)$$

$$\sigma_y^{(1)}(x, b) = -p(x), \quad (2)$$

$$\tau_{xy}^{(1)}(\pm l, y) = \tau_0(y). \quad (3)$$

где  $-l \leq x \leq l$ ,  $0 \leq y \leq b$ , а  $\tau(y)$  — неизвестное контактное напряжение.

Далее представим бигармоническую функцию  $\Phi(x, y)$  в виде (1)

$$\Phi(x, y) = \sum_{k=1}^{\infty} \cos \alpha_k x \{ A_k^{(1)} \operatorname{ch} \alpha_k y + B_k^{(1)} \operatorname{sh} \alpha_k y + a_k y [ C_k^{(1)} \operatorname{ch} \alpha_k y + D_k^{(1)} \operatorname{sh} \alpha_k y ] + \\ + \sum_{k=1}^{\infty} \sin \beta_k y \{ A_k^{(2)} \operatorname{ch} \beta_k x + D_k^{(2)} \beta_k x \operatorname{sh} \beta_k x \} \quad (4)$$

$$\alpha_k = \frac{2k-1}{2l} \pi, \quad \beta_k = \frac{k\pi}{b} \quad (k=1, 2, \dots).$$

Здесь коэффициенты  $A_k^{(1)}$ ,  $B_k^{(1)}$ ,  $C_k^{(1)}$ ,  $D_k^{(1)}$ ,  $A_k^{(2)}$ ,  $D_k^{(2)}$  ( $k=1, 2, \dots$ ) неизвестны и подлежат определению.

Представим функцию  $p(x)$ ,  $\tau(y)$ ,  $\tau_0(y)$  и  $P_0(x)$  в виде следующих рядов Фурье:

$$p(x) = - \sum_{k=1}^{\infty} a_k^{(1)} \cos \alpha_k x, \quad (0 < x < l); \\ \tau(y) = X_0 + \sum_{k=1}^{\infty} X_k \cos \beta_k y \quad (0 < y < b); \quad (5)$$

$$\tau_0(y) = b_0 + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \cos \beta_k y \quad (0 < y < b);$$

$$P_0(x) = \rho_1 g b = \sum_{k=1}^{\infty} a_k^{(0)} \cos \alpha_k x \quad (0 < x < l);$$

где  $X_k$  — неизвестные коэффициенты, подлежащие определению,  $\rho_1$  — плотность материала прямоугольника,  $g$  — ускорение свободного падения.

Учитывая, что  $\sigma_x^{(1)}(x, y) = \partial^2 \Phi / \partial y^2$ ,  $\sigma_y^{(1)} = \partial^2 \Phi / \partial x^2 + \rho_1 g y$ ,  $\tau_{xy}(x, y) = -\partial^2 \Phi / \partial x \partial y$  и удовлетворяя условиям (1), (2) и (5), после некоторых преобразований получим

$$A_k^{(1)} = 0, \quad A_k^{(2)} = -\mu_k \operatorname{th} \mu_k D_k^{(2)};$$

$$B_k^{(1)} = \frac{a_k}{\alpha_k^2 \operatorname{sh} \nu_k} - \nu_k \operatorname{cth} \nu_k C_k^{(1)}, \quad a_k = a_k^{(1)} + a_k^{(0)}; \quad (6)$$

$$C_k^{(1)} = \frac{4(-1)^{k+1}}{l} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n^3 \operatorname{ch} \mu_n [\varphi_k^{(5)} + (-1)^n \varphi_k^{(4)}]}{(\alpha_k^2 + \beta_k^2)^2} D_k^{(2)} - \frac{\Psi_n^{(1)} a_k}{\alpha_k^2};$$

$$D_k^{(1)} = \frac{4}{l} (-1)^{k+1} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n^3 \operatorname{ch} \mu_n [(-1)^n \varphi_k^{(3)} - \varphi_k^{(2)}]}{(\alpha_k^2 + \beta_k^2)^2} D_k^{(2)} - \frac{\varphi_n^{(4)} a_b}{\alpha_k^2}.$$

Здесь введены обозначения:

$$\Psi_n^{(1)} = \frac{\operatorname{sh} \nu_n - \nu_n \operatorname{ch} \nu_n}{\operatorname{sh}^2 \nu_n - \nu_n^2}, \quad \varphi_n^{(4)} = \frac{\nu_n \operatorname{sh} \nu_n}{\operatorname{sh}^2 \nu_n - \nu_n^2}, \\ \varphi_n^{(2)} = \frac{\operatorname{sh} \nu_n \operatorname{ch} \nu_n - \nu_n}{\operatorname{sh}^2 \nu_n - \nu_n^2}, \quad \varphi_n^{(3)} = \frac{\operatorname{sh} \nu_n - \nu_n \operatorname{ch} \nu_n}{\operatorname{sh}^2 \nu_n - \nu_n^2}, \\ \varphi_n^{(5)} = \frac{\operatorname{sh}^2 \nu_n}{\operatorname{sh}^2 \nu_n - \nu_n^2}, \quad \varphi_n^{(1)} = (1 - \mu_n \operatorname{th} \mu_n) \operatorname{th} \mu_n + \mu_n. \quad (7)$$

$$(\nu_n = \alpha_n b, \mu_n = \beta_n l, n = 1, 2, \dots).$$

Из условия (3) с учетом (6) получим

$$\beta_p^2 \varphi_p^{(1)} \operatorname{ch} \mu_p D_p^{(2)} =$$

$$= \frac{16}{lb} \beta_p^2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k^2}{(\alpha_k^2 + \beta_p^2)} \left\{ \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\beta_n^2 \operatorname{ch} \mu_n}{(\alpha_k^2 + \beta_n^2)^2} [(-1)^n \varphi_k^{(2)} - \varphi_k^{(3)}] [(-1)^n + (-1)^p] D_n^{(2)} + \right. \\ \left. + \frac{(-1)^{k+1} [(-1)^{p+1} \varphi_k^{(5)} - \varphi_k^{(4)}] a_k}{4\alpha_k^2 l^{-1}} \right\} + \frac{2}{h} (-1)^p \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \alpha_k a_k}{\alpha_k^2 + \beta_p^2} - X_p. \quad (8)$$

Далее, обозначив  $Y_p = \beta_p^2 \operatorname{ch} \mu_p D_p^{(2)}$  ( $p = 1, 2, \dots$ ), получим следующую бесконечную систему линейных алгебраических уравнений:

$$Y_p = \sum_{n=1}^{\infty} A_{p,n} Y_n + N_p - X_p;$$

$$A_{p,n} = \frac{16\beta_p^2}{lb\varphi_n^{(1)}} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\alpha_k^2 \beta_n [(-1)^n + (-1)^p]}{(\alpha_k^2 + \beta_p^2)^2 (\alpha_k^2 + \beta_n^2)^2} [(-1)^n \varphi_k^{(2)} - \varphi_k^{(3)}]; \quad (9)$$

$$N_p = \frac{4\beta_p^2}{b} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \alpha_k a_k}{(\alpha_k^2 + \beta_p^2)^2} [(-1)^p \varphi_k^{(5)} + \varphi_k^{(4)}] + \frac{2}{h} (-1)^p \sum_{k=1}^{\infty} \frac{(-1)^k \alpha_k a_k}{\alpha_k^2 + \beta_p^2}.$$

В конечном итоге для деформации граничных точек ( $x = \pm l$ ) прямоугольника получим

$$\varepsilon_y^{(1)} = \frac{\partial \tau}{\partial y} \Big|_{x=\pm l} = \frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Y_k}{\varphi_k^{(1)}} \sin \beta_k y + \frac{(1-\nu_1^2) \rho_1 g y}{E_1}, \quad (10)$$

где  $E_1$  — модуль Юнга материала прямоугольника, а  $\nu_1$  — коэффициент Пуассона.

Из условия равновесия любой части  $[0, y]$  стрингера будем иметь

$$\varepsilon_y^{(2)} = \frac{1-\nu_2^2}{hE_2} \int_0^y |\tau(s) - \tau_0(s)| ds, \quad (11)$$

где  $\nu_2$  и  $E_2$  — упругие постоянные стрингера.

Теперь условие контакта  $\varepsilon_y^{(1)} = \varepsilon_y^{(2)}$  ( $0 < y < b$ ) приводит к уравнению

$$\frac{1-\nu_2^2}{hE_2} \int_0^y |\tau(s) - \tau_0(s)| ds = \\ = \frac{2(1-\nu_1^2)}{E_1} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{Y_k}{\varphi_k^{(1)}} \sin \beta_k y + \frac{1-\nu_1^2}{E_1} \rho_1 g y \quad (0 < y < b). \quad (12)$$

Далее, подставив в (12) выражения  $p(x)$ ,  $\tau(y)$  и  $\tau_0(y)$  из (5), после некоторых преобразований получим

$$\lambda \frac{X_k}{\beta_k} = \frac{Y_k}{\varphi_k^{(1)}} - l_k \quad (k = 1, 2, \dots), \quad (13)$$

$$\text{где } \lambda = \frac{(1-\nu_2^2)E_1}{2hE_2(1-\nu_1^2)}.$$

$$l_k = 2 \left[ \lambda (h_0 - X_0) + \frac{r_1 g}{2} \right] \frac{(-1)^k h}{k\pi} - \lambda \frac{b}{\beta_k}$$

Из условия равновесия сразу находим

$$X_0 = r_1 g l + \frac{1}{b} \int_0^l p(s) ds. \quad (14)$$

Наконец, подставив выражение  $Y_k$  из (13) в (9), относительно коэффициента  $X_k$  получим следующую бесконечную систему линейных алгебраических уравнений:

$$X_p \left( 1 - \frac{\lambda \varphi_p^{(1)}}{\beta_p} \right) = \sum_{n=1}^{\infty} A_{p,n} \frac{\lambda \varphi_n^{(1)}}{\beta_n} X_n - \sum_{n=1}^{\infty} (A_{p,n} - \delta_p^{(n)}) \varphi_n^{(1)} l_n + N_p. \quad (15)$$

Отметим, что после определения коэффициентов  $X_n$  по второй формуле (5) определяются неизвестные контактные напряжения  $\tau(y)$ . В общем случае полученную систему можно представить в виде

$$X_p = \sum_{n=1}^{\infty} K_{pn} X_n + N_p^{(0)}. \quad (16)$$

Следуя изложенной в (2,7) методике, показывается, что

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^{\infty} |K_{m,n}| = 0,$$

а свободные члены системы (16) ограничены сверху и для больших  $m$  имеют, по крайней мере, порядок  $m^{-1}$ . Отсюда вытекает, что бесконечная система (16) квазивполне регулярна.

Институт механики

Академии наук Армянской ССР

Վ. Վ. ՀԱՎՈՐՅԱՆ

Ուղղանկյուն մաքմնի և վերադիրների փոխազդեցության մասին

Դիտարկված է առաձգականության տեսության հարթ խնդիր ուղղանկյան համար, որը ուժեղացված է երկու սիմետրիկ դասավորված վերադիրներով: Կոնտակտային լարումների Ֆուրյեի գործակիցների համար ստացված են հանրահաշվական դժային անվերջ սիստեմներ և ցույց է տրված նրանց քվադրիտիվին ռեզուլյարությունը:

#### ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 Развитие теории контактных задач в СССР, Наука, М., 1976. 2 В. М. Александров, С. М. Мхитарян, Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками, Наука, М., 1983. 3 P. S. Theocaris, K. Dazermos, J. Appl. Mech., ser. E, v. 31, № 4 (1964) (рус. пер.: Прикл. механика, Труды амер. о-ва инж.-мех., сер. E, т. 31, № 4, с. 159—162 (1964)). 4 В. В. Микаелян, ДАН АрмССР, т. 68, № 1, с. 21—27 (1974). 5 В. В. Микаелян, Изв. АН АрмССР, Механика, т. 28, № 2, с. 3—14 (1975). 6 E. Melan, Ein Ing. Arch., Bd. 3, № 2, s. 193—129 (1932). 7 Б. Л. Абрамян, Прикл. математика и механика, т. 21 № 1, с. 98—100 (1957).

УДК 539.3

МЕХАНИКА

А. М. Саргсян, А. С. Хачикян

### Поведение некоторых физических полей в окрестности края поверхности контакта кусочно-однородного тела

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Б. Л. Абрамяном 2/II 1988)

Хорошо известно, что потенциалы многих плоских стационарных полей различной физической природы (поле упругих напряжений и деформаций, тепловое поле, поле концентрации стационарного процесса диффузии, электростатическое и магнитостатическое поля, электрическое поле постоянного тока и т. д.) удовлетворяют уравнениям Пуассона или Лапласа, для которых ставится та или иная краевая задача (1-3).

В работе (4) при изучении полей упругих напряжений в окрестности угловой точки поперечного сечения скручиваемого составного стержня впервые было обнаружено, что существует область изменения упругих и геометрических характеристик материалов составного стержня, при которых в малой окрестности входящего угла поперечного сечения упругие напряжения стремятся к нулю, что невозможно для однородного стержня. Полученные в работе (4) результаты существенно изменяют представление о влиянии края поверхности контакта на характер напряженного состояния и указывают на необходимость внесения коррективов в расчеты на прочность.

Исследованию характера распределения тепловых потоков в некоторой окрестности вершины плоского составного клина, когда на его границах заданы условия первого или второго родов или условия смешанного типа, посвящены работы (5-7). В работах (5-6) для каждого неоднородного граничного условия на плоскости  $(\theta_1, \theta_2)$ , где  $\theta_1$  и  $\theta_2$ —углы растворов однородных клиньев, определены области изменения этих углов, при которых на крае поверхности контакта составного клина тепловые потоки независимо от отношения коэффициентов теплопроводности  $\lambda$  стремятся к нулю или бесконечности. Определены также предельные кривые, разделяющие области, в которых стремление тепловых потоков к нулю или бесконечности зависит от  $\lambda$ .

В данной работе эти результаты обобщены для неоднородных краевых задач, возникающих при рассмотрении других плоских стационарных полей. Определены потенциалы  $U_k(r, \theta)$  ( $k=1, 2$ ) этих полей в кусочно-однородном клине (рис. 1) и с помощью соотношения  $\bar{H}_k = \chi_k \cdot \text{grad} U_k(r, \theta)$  ( $\chi_k$ —постоянные, характеризующие физические свойства кусочно-однородной среды: модуль сдвига, коэффициенты теплопроводности и диффузии, диэлектрическая и магнитная прони-

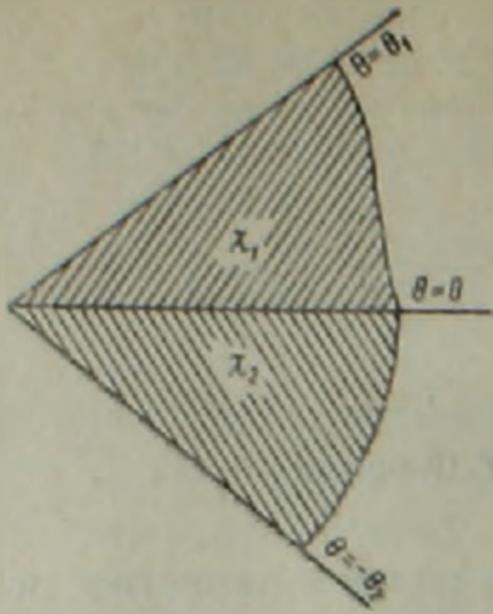


Рис. 1.

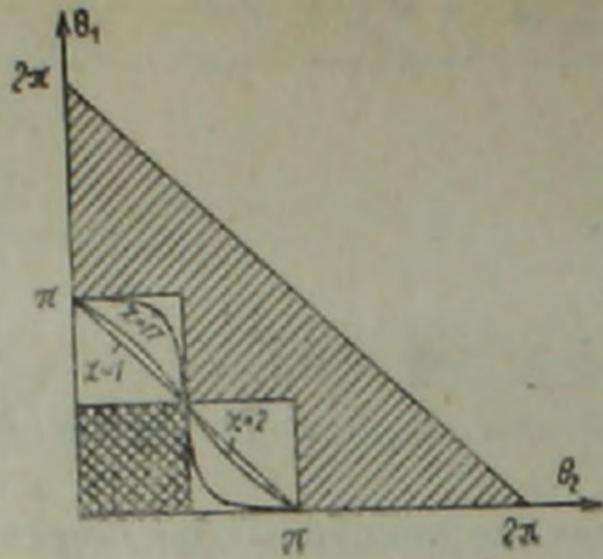


Рис.2.

цаемости, коэффициенты электропроводности и т. д.) исследуется поведение характеристик  $\chi_k \partial U_k / \partial r$  и  $(\chi_k / r) \partial U_k / \partial \theta$  соответствующего поля в некоторой окрестности вершины составного клина (упругие напряжения или деформации при кручении или продольном сдвиге, потоки тепла или вещества, напряженность электрического и магнитного полей, плотность тока и т. д.).

При отсутствии источников потенциал стационарного поля удовлетворяет уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 U_k}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_k}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U_k}{\partial \theta^2} = 0, \quad (1)$$

$$k=1, 0 < \theta < \theta_1; k=2, -\theta_2 < \theta < 0; 0 < r < \infty, \theta_1 + \theta_2 \leq 2\pi,$$

условиям сопряжения на поверхности разрыва свойств материалов ( $\theta = 0$ )

$$U_1(r, 0) = U_2(r, 0), \quad \partial U_1(r, 0) / \partial \theta = \chi \partial U_2(r, 0) / \partial \theta \quad (2)$$

и граничным условиям, заданным в одном из видов:

$$U_1(r, \theta_1) = f_1(r), \quad U_2(r, -\theta_2) = f_2(r), \quad (3)$$

$$\frac{\chi_1}{r} \frac{\partial U_1(r, \theta_1)}{\partial \theta} = \varphi_1(r), \quad \frac{\chi_2}{r} \frac{\partial U_2(r, -\theta_2)}{\partial \theta} = -\varphi_2(r), \quad (4)$$

$$\frac{\chi_1}{r} \frac{\partial U_1(r, \theta_1)}{\partial \theta} = \varphi_1(r), \quad U_2(r, -\theta_2) = f_2(r). \quad (5)$$

В условиях (2)–(5)  $f_k(r)$  и  $\varphi_k(r)$  – заданные функции,  $\chi = \chi_2 / \chi_1$ .

Применяя к уравнению (1) интегральное преобразование Меллина <sup>(8)</sup>, приходим к обыкновенному дифференциальному уравнению второго порядка. Удовлетворив преобразованным гранично-контактным условиям, вытекающим из (2) – (4) после применения преобразования Меллина, и возвратившись к оригиналу, для потенциала получим

$$U_k^{(m)}(r, \theta) = \frac{1}{2\pi i} \int_L \frac{A_k^{(m)}(p) \cos p\theta + B_k^{(m)}(p) \sin p\theta}{\Delta^{(m)}(p)} r^{-p} dp, \quad (6)$$

где путь интегрирования ( $L$ ) проходит правее мнимой оси комплексной плоскости  $p$ , но левее ближайшей особой точки подынтегральной функции (6), функции  $A_k^{(m)}(p)$  и  $B_k^{(m)}(p)$  определяются из гранично-контактных условий (2)–(5), а  $\Delta^{(m)}(p)$  в случае граничных условий (3)–(5) имеет соответственно вид ( $m=3, 4, 5$ ):

$$\Delta^{(3)}(p) = (\chi + 1) \sin p(\theta_1 + \theta_2) + (\chi - 1) \sin p(\theta_1 - \theta_2); \quad (7)$$

$$\Delta^{(4)}(p) = (\chi + 1) \sin p(\theta_1 + \theta_2) + (\chi - 1) \sin p(\theta_1 - \theta_2); \quad (8)$$

$$\Delta^{(5)}(p) = (\chi + 1) \cos p(\theta_1 + \theta_2) + (\chi - 1) \cos p(\theta_1 - \theta_2). \quad (9)$$

Для исследования характера распределения  $\gamma_k \partial U_k / \partial r$  и  $(\gamma_k / r) \partial U_k / \partial \theta$  в окрестности угловой точки составного клина (при  $r \rightarrow 0$ ) дополним прямую ( $L$ ) влево некоторым полукругом и применим теорему о вычетах. Принимая, что полюсами подынтегральной функции являются только корни уравнения

$$\Delta^{(m)}(p) = 0 \quad (10)$$

и что все они действительны и просты (4–6), будем иметь

$$\gamma_k \frac{\partial U_k^{(m)}}{\partial r} = -\gamma_k \sum_{n=1}^{\infty} r^{p_n-1} \frac{A_k^{(m)}(-p_n) \cos p_n \theta + B_k^{(m)}(-p_n) \sin p_n \theta}{\Delta_1^{(m)}(p_n)} p_n; \quad (11)$$

$$\frac{\gamma_k}{r} \frac{\partial U_k^{(m)}}{\partial \theta} = -\gamma_k \sum_{n=1}^{\infty} r^{p_n-1} \frac{A_k^{(m)}(-p_n) \sin p_n \theta + B_k^{(m)}(-p_n) \cos p_n \theta}{\Delta_1^{(m)}(p_n)} p_n; \quad (12)$$

где  $\Delta_1^{(m)}(p) = \partial \Delta^{(m)}(p) / \partial p$ ,  $p_n > 0$  ( $n=1, 2, \dots$ ) — корни уравнения (10).

Формулы (11) и (12) показывают, что характеристики поля при приближении к вершине составного клина (при  $r \rightarrow 0$ ) стремятся к нулю, если все корни  $p_n > 1$ , и к бесконечности, если среди корней есть хотя бы один  $p_n < 1$ . Если  $p_n = 1$ , то в угловой точке характеристики поля имеют конечные значения.

Исследование корней уравнения (10) при  $m=3$ , проведенное в аналогично работам (4–6), показывает, что: а) характеристики поля в окрестности вершины кусочно-однородного клина стремятся к бесконечности независимо от отношения  $\chi = \chi_2 / \chi_1$ , если углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  меняются в области, заштрихованной на рис. 2 простой штриховкой; б) характеристики поля около угловой точки стремятся к нулю независимо от  $\chi$ , когда углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  лежат в области, заштрихованной на рис. 2 двойной штриховкой; в) стремление характеристик поля к бесконечности или нулю в окрестности угловой точки зависит от  $\chi$ , если углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  меняются в незаштрихованной области на рис. 2.

Каждому значению  $\chi$  соответствует предельная кривая, описываемая уравнением

$$(\chi + 1) \sin(\theta_1 + \theta_2) + (\chi - 1) \sin(\theta_1 - \theta_2) = 0.$$

Эта кривая разделяет в плоскости  $(\theta_1, \theta_2)$  области, где характеристики поля стремятся к нулю или бесконечности. Если точка, имеющая координаты  $\theta_1$  и  $\theta_2$ , и начало координат находятся по одну сторону от предельной кривой, характеристики поля в угловой точке стремятся к нулю, в противном случае — к бесконечности. Когда точка находится

на предельной кривой (кривые  $\chi=1$ ,  $\chi=2$ ,  $\chi=17$ ), то  $\chi r \frac{\partial U_R}{\partial r}$  и  $(\chi r/r) \frac{\partial U_R}{\partial \theta}$  в угловой точке будут конечными.

Для однородного клина ( $\chi=1$ ) предельная кривая имеет вид  $\theta_1 + \theta_2 = \pi$ , а наименьший положительный корень  $-p_1 = \pi/(\theta_1 + \theta_2)$ . Следовательно, в окрестности выступающего угла однородного клина характеристики поля стремятся к нулю, а в окрестности входящего угла — к бесконечности. Эти результаты для полей упругих напряжений и электростатических полей были известны (2,3,7), а для температурных полей отмечены в работах (5,6).

В случае кусочно-однородного клина возможны такие значения параметров  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и  $\chi$  из незаштрихованной области на рис. 2, при которых в некоторой окрестности входящих углов характеристики поля стремятся к нулю. При других значениях этих параметров в окрестности выступающего угла они стремятся к бесконечности, что невозможно для однородного клина.

Так как уравнение  $\Delta^{(1)}(p) = 0$  совпадает с уравнением  $\Delta^{(3)}(p) = 0$  при замене  $\chi$  на  $1/\chi$ , то вышеприведенный анализ относится и к случаю граничных условий (4).

При граничных условиях (5)  $\Delta^{(5)}(p) = (\chi+1)\cos p(\theta_1 + \theta_2) + (\chi-1)\cos(\theta_1 + \theta_2) = 0$ , и, как показывает анализ, в этом случае отсутствует область, где характеристики поля независимо от  $\chi$  стремятся к нулю в окрестности угловой точки, а область стремления характеристик поля к бесконечности сильно увеличивается (рис. 3). Кроме того, предельная кривая симметрична относительно прямой  $\theta_1 = \theta_2$ .

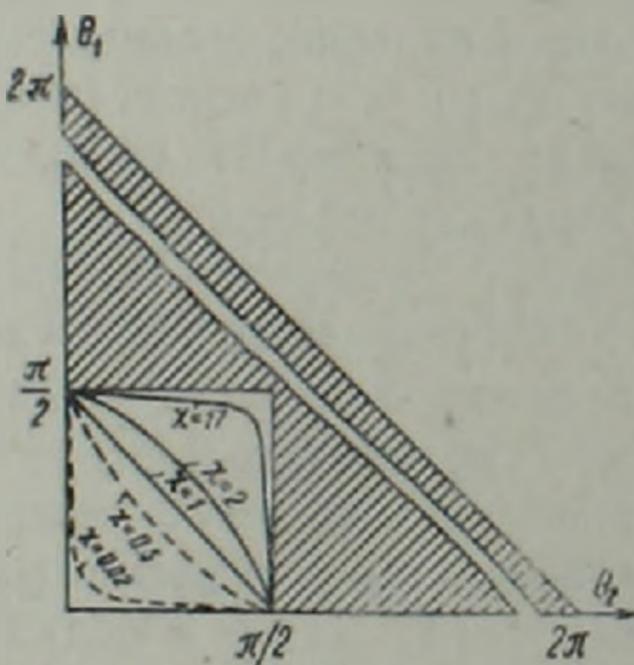


Рис. 3.

Описание физических процессов уравнением Пуассона является следствием известных упрощений и предположений, приводящих к геометрической и физической линеаризации математических задач. Полученные при решении этих задач бесконечные значения характеристик полей, которые невозможны в реальных условиях, означают во всяком случае нарушение первоначальных предположений об условиях протекания этих физических процессов. Например, бесконечные значения упругих напряжений в угловой точке поперечного сечения составного упругого тела означают в действительности появление в окрестности угловых точек пластических деформаций или трещин (4).

Далее, характер распределения тепловых потоков в окрестности угло-

вых точек показывает, что невозможность точного обеспечения таких граничных условий, как совершенная теплоизоляция или бесконечный коэффициент теплоотдачи, приведет в окрестности угловых точек к более или менее существенному отличию действительных тепловых полей от теоретически полученных. Одновременно зависимость характеристик полей от геометрических и тепловых параметров соединяемых материалов делает возможным выбором этих параметров обеспечить требуемое распределение тепловых потоков в смысле их равномерности или концентрации.

Исследование электростатических, магнитостатических и других физических полей показывает существование аналогичного поведения характеристик этих полей и возможность практического управления этими полями для обеспечения требований техники и технологии.

Полученные результаты дают достаточно хорошее представление о характере протекания физических процессов в окрестности края поверхности контакта составного тела, что можно успешно использовать при решении многих практических задач. В то же время они указывают на необходимость исследования рассматриваемых процессов в более точной постановке.

Институт механики  
Академии наук Армянской ССР

Ա. Մ. ՍԱՐԴՍՅԱՆ, Ա. Ս. ԿԱԶԻԿՅԱՆ

### Մի Բանի ֆիզիկական դաշտերի վարքը բաղադրյալ մարմնի միացման մոկերևույթի եզրի շրջակայքում

Ուսումնասիրված է կտոր առ կտոր համասեռ սեպի անկյունային կետի շրջակայքում հարթ ստացիոնար դաշտերի բնութագրիչների վարքը (ուղորման և հակահարթ դեֆորմացիայի առաձգական լարումներ, ջերմային և դիֆուզիոն դաշտերում՝ ջերմութիան և նյութի հոսք, էլեկտրական և մագնիսական դաշտերի լարվածություն և այլն) տարբեր եզրային պայմանների դեպքում:

Ցույց է տրված, որ առաջին և երկրորդ եզրային խնդիրների համար գոյություն ունի համասեռ սեպերի բացվածքի անկյունների փոփոխման տիրույթ, որի դեպքում ստացիոնար դաշտերի բնութագրիչները անկախ բաղադրյալ սեպի ֆիզիկական հատկություններից ձգտում են դրոյի: Խառը եզրային պայմանների դեպքում այդ տիրույթը բացակայում է:

### ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> А. А. Тихонов, А. Н. Самарский, Уравнения математической физики, Изд-во технико-теорет. лит., 1953. <sup>2</sup> Г. А. Гринберг, Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений, Изд-во АН СССР, М.—Л., 1948. <sup>3</sup> К. Бинс, П. Лауренсон, Анализ и расчет электрических и магнитных полей, Энергия, М., 1970. <sup>4</sup> К. С. Чобанян, Напряжения в составных упругих телах, Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1987. <sup>5</sup> А. М. Саргсян, А. С. Хачикян, Изв. АН АрмССР. Серия техн. наук, № 2 (1988). <sup>6</sup> Г. Г. Нерсисян, А. М. Саргсян, Изв. АН АрмССР. Серия техн. наук, 1988, № 3. <sup>7</sup> G. B. Sinclair, Journal of Applied Mechanics, v. 47, № 1, p. 87—92 (1980). <sup>8</sup> Я. С. Уфлянд, Интегральные преобразования в задачах теории упругости, Изд-во АН СССР, М.—Л., 1963.

УДК 551.501.8:551.578.7

РАДИОФИЗИКА

Г. М. Айвазян

### Обнаружение начала градообразования—перехода жидких капель в лед в облаках по радиолокационному отражению субмиллиметровых волн

(Представлено чл-корр. АН Армянской ССР Р. М. Мартirosяном 26/X 1987)

Существующий в настоящее время метод обнаружения града в облаке, основанный на различии радиолокационного отражения от воды и льда (<sup>1</sup>), позволяет обнаружить град, когда размеры градин уже близки к сантиметру, т. е. их размеры уже велики, а само различие в отражаемости не превышает одного порядка. Этого явно недостаточно для обнаружения и успешной борьбы с градом. Очевидно, ее следует начинать в зачаточном состоянии—с началом появления льда в облаке. Но из-за отсутствия полосы поглощения льда в микроволновой области, могущей служить индикатором появления льда в облаке, не было возможности это сделать. В настоящей работе предложено использовать «окно» прозрачности льда в субмиллиметровом диапазоне для этих целей. В ранней работе автора (<sup>2</sup>) показано, что при определенных условиях «окно» прозрачности подобно полосе поглощения и в «окне» можно получить интенсивное радиолокационное отражение, что и послужит индикатором появления льда в облаке. Ниже с помощью расчетов показана возможность использования вышеуказанного «окна» прозрачности льда для раннего обнаружения начала градообразования в облаке.

В последние годы в связи с использованием безымпакторных методов исследования микроструктуры в облаках обнаружены сверхкрупные капли радиусом от 85 до 1500 мкм и более (<sup>3-5</sup>). Как показывают наблюдения, эти капли являются зачатками для образования града и осадков. Сведения об их физическом состоянии можно получить, исследуя распространение миллиметровых и субмиллиметровых волн, поскольку размер сверхкрупных капель становится соизмеримым с длиной волны  $\lambda$  зондирующего излучения, где резонансные свойства капель выявляются наиболее ярко. Таким образом, борьбу с градом необходимо начинать с момента интенсивного роста сверхкрупных капель, перехода этих капель в переохлажденное состояние, покрытия капли ледяной коркой или же при переходе сверхкрупных капель непосредственно в лед—ледяную крупу.

Рассмотрим момент перехода сверхкрупных капель в лед и возможность его четкой фиксации. Как известно, во всем микроволновом диапазоне действительная часть комплексного показателя преломления льда постоянна и равна  $n=1,78$ , а мнимая часть  $x$  в длинновол-

новой части микроволнового диапазона определяется и рассчитывается по известным релаксационным формулам Дебая (1). С переходом в субмиллиметровый диапазон влияние релаксационной или ориентировочной поляризуемости уменьшается и вместе с этим  $\chi$  льда стремится к нулю. Но с переходом в субмиллиметровую область спектра уже начинает играть роль резонансная поляризуемость, т. е. начинают играть роль полосы поглощения льда в ИК-области спектра. Эта часть поляризуемости—максимальная в ИБ области спектра—постепенно уменьшается и стремится также к нулю в субмиллиметровом диапазоне (6). Сложение двух вышеуказанных поляризуемостей приводит к тому, что функция  $\chi(\lambda)$  льда в субмиллиметровом диапазоне в области 0,3—0,8 мм имеет «окно» (6).

Используя методику расчетов (4), мы рассчитали функции  $\chi(\lambda)$  льда для 3 значений температур — 0, —10 и —20°C в диапазоне от 0,1 до 10 мм (для 20 значений  $\lambda$ ). Данные приводятся на рис. 1. Как видно из рисунка, минимальное значение  $\chi$  в «окне» имеет место при  $t = -20^\circ\text{C}$  и равно  $3,678 \cdot 10^{-5}$ . Для  $\lambda = 0,1$  мм величина  $\chi = 1,059 \times 10^{-1}$ , а для  $\lambda = 10$  мм  $\chi = 1,064 \cdot 10^{-3}$ . Таким образом, различие в величинах  $\chi$  при  $\lambda = 0,1$  мм и в «окне» составляет более четырех порядков, а по сравнению с  $\chi$  при  $\lambda = 10$  мм различие около двух порядков. Такое изменение  $\chi(t)$  может сказаться существенным образом

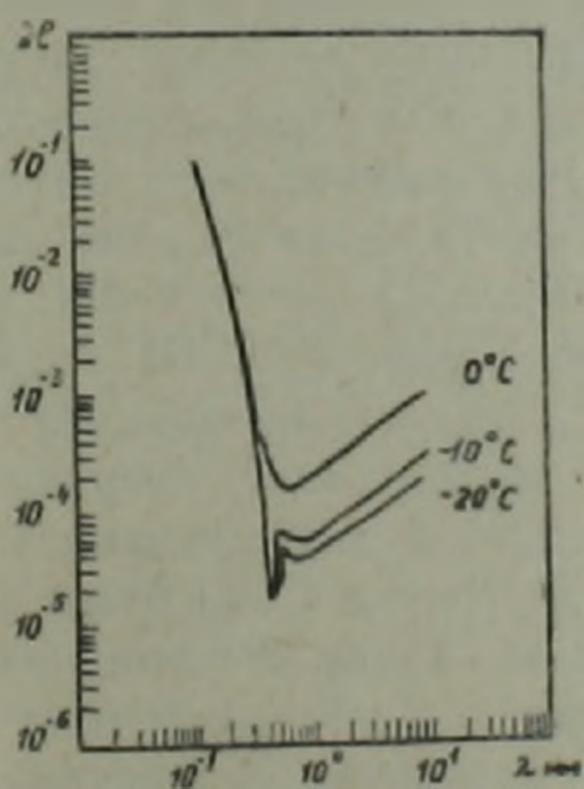


Рис. 1. Спектральные изменения показателей поглощения льда в субмиллиметровом диапазоне при различных температурах

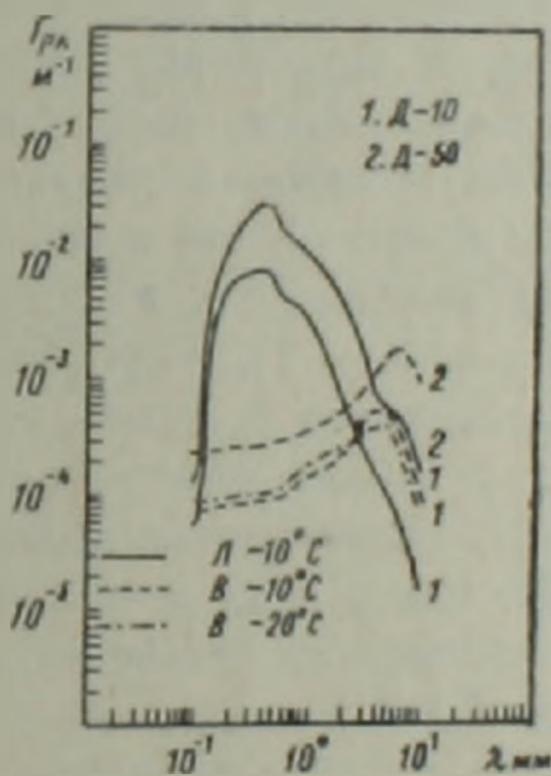


Рис. 2. Спектральные изменения коэффициентов радиолокационного отражения от переохлаждения и ледяных облаков

при расчетах радиолокационного отражения по дифракционной теории Ми (1,8).

Используя функции  $\chi(\lambda)$  и  $\mu(\lambda)$ , рассчитанные нами для воды и льда в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах по методикам (1,8,9), и распределения сверхкрупных капель по размерам для основных типов облаков (3,4,5,10), мы рассчитали по точным формулам Ми спектральные коэффициенты: ослабления —  $\Gamma_0(\lambda)$ , рассеяния —  $\Gamma_p(\lambda)$ , поглощения —  $\Gamma_n(\lambda)$  и радиолокационного отражения —  $\Gamma_{р.}(\lambda)$  в диапазоне  $\lambda$  от 0,1 до 10 мм и температур в облаке от +20 до —20°C, через каждые 10°.

На рис. 2 приводятся рассчитанные нами  $\Gamma_{рл}(\lambda)$  лишь для облаков, дающие осадки с интенсивностью 10 мм/ч —Д—10 и с интенсивностью 50 мм/ч —Д—50. Как видно из рисунка, кривые  $\Gamma_{рл}(\lambda)$  для льда при  $t = -10^\circ\text{C}$  (обозначение на рисунке Л—10 $^\circ\text{C}$ ) в обоих случаях имеют максимум в области 0,3—0,8 мм. Здесь же нанесены кривые  $\Gamma_{рл}(\lambda)$  для переохлажденной воды при  $t = -10$  и  $-20^\circ\text{C}$  (обозначение В—10 $^\circ\text{C}$  и В—20 $^\circ\text{C}$ ). Легко видеть, что в максимуме кривых  $\Gamma_{рл}(\lambda)$  различие в величинах  $\Gamma_{рл}$  для воды и льда составляет более двух порядков. Такое различие в радиолокационном отражении легко зафиксировать. Таким образом, можно утверждать, что если в облаке имеется какое-то распределение сверхкрупных капель по размерам в переохлажденном состоянии и они или сразу же переходят в состояние льда—ледяную крупу, или же покрываются коркой льда, то в «окне» прозрачности льда 0,3—0,8 мм будет наблюдаться увеличение коэффициента радиолокационного отражения более чем на два порядка. Этого вполне достаточно для уверенной фиксации момента перехода сверхкрупных капель в лед и установления начала градообразовательного процесса в облаке. Вместе с этим доказана реальность столь необходимого для борьбы с градом индикатора раннего обнаружения града—полосы интенсивного радиолокационного отражения льда в области 0,3—0,8 мм.

Как известно, в облаке наряду с радиолокационным отражением имеет место поглощение самими сверхкрупными ледяными частицами и жидкими каплями размерами диапазона 1—20 мкм, находящимися в переохлажденном состоянии. Для случаев, приведенных на рис. 2, расчеты показали, что в «окне» прозрачности льда  $\Gamma_{п}$  льда на 3—4 порядка меньше  $\Gamma_{рл}$ , а  $\Gamma_{п}$  переохлажденной воды — более чем на порядок меньше  $\Gamma_{рл}$  льда. Таким образом, значение  $\Gamma_{п}(\lambda)$  воды оказалось несколько большим. Однако не следует забывать, что в расчетах принимала участие очень малая концентрация сверхкрупных капель. В конвективных облаках концентрация сверхкрупных капель, переходящих в лед, довольно велика, поэтому и  $\Gamma_{рл}(\lambda)$  будет значительно больше по сравнению с  $\Gamma_{п}(\lambda)$  воды. Таким образом, рассмотренные  $\Gamma_{п}(\lambda)$  весьма малы по сравнению с  $\Gamma_{рл}(\lambda)$  льда и не могут явиться помехой для фиксации момента перехода сверхкрупных капель в лед. Затруднений, связанных с использованием предлагаемого нами «окна» льда в субмиллиметровом диапазоне, из-за больших потерь на поглощение водяным паром в приземном слое атмосферы в этом диапазоне можно избежать, если радиолокационное устройство, работающее на вышеописанном принципе, поместить на спутники или на летающие самолеты-лаборатории, которые будут облетать конвективные облака бурного развития с близкого расстояния. Со временем, в связи с развитием техники субмиллиметрового диапазона и появлением мощных приемно-передающих устройств, можно решить вопрос и наземных комплексов по определению начальной стадии градообразования в облаке.

Институт радиофизики и  
электроники Академии наук  
Армянской ССР

Սնրամիլիմետրանոց ալիքների ուղիուղկացիոն անդրադարձման մեքոդով ամպերում հեղուկ կաթիլների սառույցին անցնելու՝ կարկտագոյացման սկզբնավորման հայտնաբերումը

Աշխատանքում առաջարկված է, օգտագործելով սառցի թափանցելիության «պատուհանը» ըստ կլանման գործակցի ենթամիլիմետրանոց տիրույթում, հայտնաբերել կարկտագոյացման սկիզբը:

Հաշվարկներով ցույց է տրված, որ գերխոշոր կաթիլների անցումը գերսառնցված վիճակից սառցի կամ գերխոշոր կաթիլների պատումը սառցե կեղևով, բերում է «պատուհանում» ուղիուղկացիոն անդրադարձման գործակցի աճին ավելի քան երկու կարգով: Դա միանգամայն բավարար է սառցե սաղմերի վաղ հայտնաբերման համար ամպերում: Այսպիսով առաջարկված է և հաշվարկներով հաստատված է սառցի կամ կարկտի երևան գալու ալդրան անհրաժեշտ հայտանիշը ամպերում՝ սառցի թափանցելիության «պատուհանի» գոյությունը 0,3—0,8 մմ տիրույթում:

#### ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> В. И. Розенберг, Рассеяние и ослабление электромагнитного излучения атмосферными частицами, Гидрометеоиздат, Л., 1972. <sup>2</sup> Г. М. Айвазян, Оптика и спектроскопия, т. 61, вып. 3 (1986). <sup>3</sup> Радиация в облачной атмосфере. Под ред. Е. М. Фейгельсон, Гидрометеониздат, Л., 1981. <sup>4</sup> И. П. Мазин, С. М. Шметер, Облака, строение и физика образования, Гидрометеониздат, Л., 1983. <sup>5</sup> H. R. Pruppacher, J. D. Klett, Microphysics of clouds and precipitation, D. Reidel Publ. Co. 1978. <sup>6</sup> P. S. Ray, Applied Optics, v. 11, №8 (1972). <sup>7</sup> К. С. Шифрин, Рассеяние света в мутной среде, Гостехиздат, М., 1951. <sup>8</sup> Д. Дейрмеджан, Рассеяние электромагнитного излучения сферическими полидисперсными частицами, Мир, М., 1971. <sup>9</sup> Ю. И. Милышенко, И. Х. Ваксер, Укр. физ. журн., т. 15, №9 (1970). <sup>10</sup> К. Я. Кондратьев, В. М. Биненко, Влияние облачности на радиацию и климат, Гидрометеониздат, Л., 1984.

УДК 541.127

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

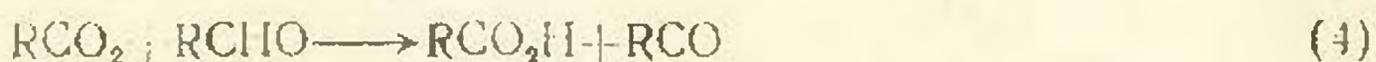
Р. А. Бахчаджян, член корреспондент АН Армянской ССР И. А. Варданян,  
 академик АН Армянской ССР | А. Б. Налбандян |

Низкотемпературное окисление альдегидов в условиях,  
 исключающих гомогенное развитие цепей

(Представлено 12/II 1988)

Возможность гетерогенного протекания стадии продолжения цепи в реакции низкотемпературного газофазного окисления пропионового альдегида допускается в работах (1, 2). Основанием для такого заключения послужили значительное и непрерывное ускорение реакции с ростом  $S/V$  (отношение поверхности реактора к объему) и увеличение гетерогенного образования промежуточного продукта — пероксипропионовой кислоты. При этом наблюдалось увеличение гетерогенной доли расходования альдегида, значительно превосходящей гомогенную. В работе (3) методом ИК-спектроскопии была показана возможность реакции между адсорбированным пропионовым альдегидом и пероксидными радикалами.

Обычно краткий механизм гетерогенно-гомогенного окисления альдегидов представляется совокупностью следующих стадий (4):



где  $R = CH_3, C_2H_5$ .

В связи с изучаемой проблемой представляется интересным установление возможности гетерогенного окисления ацетальдегида и пропионового альдегида по цепному радикальному механизму в условиях, исключающих гомогенное протекание реакции.

Эксперименты проводили в интервале температур 423—523 К в проточных условиях, в узком «капиллярном» реакторе ( $l = 56$  см,  $d = 0,053$  см) из иррексского стекла, как в необработанном, так и в обработанном 10%-ным раствором KCl.

Ацетальдегид и пропионовый альдегид окислялись кислородом

воздуха. Содержание альдегидов в газовой смеси составляло 10÷11 об. %. Давление на входе реактора было  $\sim 14,6$  кПа, а на выходе  $\sim 6 \cdot 10^{-2}$  кПа. Продукты реакции накапливались в ловушках, охлаждаемых сухим льдом. Анализ продуктов реакции подобен описанному в (5).

Пропускная способность реактора—капилляра, определенная согласно (1б—7а) (6), составляла  $\sim 40$  мл/с, чему соответствует среднее значение давления в реакторе, равное  $\sim 0,2$  кПа. При этом время пребывания реагирующей смеси в реакционной зоне  $\tau = 1 \div 2 \cdot 10^{-3}$  с. Значение  $\tau$  примерно на два порядка меньше значения  $\tau_1 = 1/K_2 [\text{RCHO}]_0$ —времени, необходимого для протекания элементарного акта (2), представляющего собой стадию продолжения цепи при низкотемпературном окислении альдегидов в газовой фазе (4). В пользу вышесказанного свидетельствуют следующие расчеты: например, для ацетальдегида при  $T = 453\text{K}$ ,  $[\text{CH}_3\text{CHO}]_0 = 3,3 \cdot 10^{15}$  молекул/см<sup>3</sup> и  $K_2 = 0,8 \cdot 10^{-15}$  см<sup>3</sup>/частиц  $\cdot$  с (7).  $\tau_1 = 1/K_2 [\text{CH}_3\text{CHO}]_0 = 1/0,8 \cdot 10^{-15} \cdot 3,3 \cdot 10^{15} = 0,37$  с, т. е.  $\tau_1 \gg \tau$ . Аналогичный результат получается и для пропионового альдегида. Поскольку  $\tau_1$  почти в двести раз больше, чем  $\tau$ , использование среднего значения давления в расчетах условий опыта не приводит к ошибочной трактовке его результатов. Кстати, экспериментально показано, что примерно на расстоянии с 3÷4 см от начала реактора давление падает до  $\sim 0,5$  кПа.

Таким образом, выбранные экспериментальные условия действительно позволяют проводить реакцию в условиях, исключающих гомогенное развитие цепей окисления альдегидов.

Эксперименты показали, что в этих условиях альдегиды окисляются гетерогенным путем. Например, начиная с  $T = 453$  К наблюдается окисление  $\text{CH}_3\text{CHO}$ , а  $\text{C}_2\text{H}_5\text{CHO}$ —при  $T = 423$  К (табл. 1). Отметим, что в реакторе без обработки KCl реакция практически не протекает, что свидетельствует о катализирующей роли KCl при окислении альдегидов.

Основными продуктами реакции оказались кислоты—уксусная и пропионовая соответственно. Что касается промежуточных продуктов окисления—пероксикислот, то их количества в этих условиях оказались ниже пределов чувствительности применяемого метода анализа. Только с повышением температуры до 523 К появляются их следы ( $\sim 10^{12}$  частиц/см<sup>3</sup>). С повышением температуры растет также количество кислоты (табл. 2).

Обращает на себя внимание обнаружение методом ЭПР (8) в газовой среде пероксидных радикалов. В данном случае необходимо иметь в виду, что обнаруженные радикалы, в силу условия  $\tau_1 \gg \tau$ , не могут вступать в реакцию (2) продолжения цепи в газовой фазе. Концентрация пероксидных радикалов в газовой фазе составляет  $\sim 10^{10}$  частиц/см<sup>3</sup> и заметно уменьшается с повышением температуры, а при  $T \geq 523\text{K}$  становится ниже пределов чувствительности спектрометра ЭПР (табл. 2). Последнее может быть связано не только с возрастанием гибели этих радикалов, но и, скорее всего, их гетерогенными реакциями как до, так и после выхода их в объем при контакте с твердой поверхностью. Об этом свидетельствуют также данные, при-

Экспериментальные данные по окислению ацетальдегида и пропионового альдегида

	T, K	C <sub>исх.</sub> · 10 <sup>15</sup>	C <sub>кис.</sub> · 10 <sup>13</sup>	C <sub>рад.</sub>
CH <sub>3</sub> CHO	435	3	Следы	3
	453	3,3	1,2	
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> CHO	435	3	0,9	1
	453	3	1,8	2

Примечание. C<sub>исх.</sub> — исходная концентрация альдегида в молекул/см<sup>3</sup>; C<sub>кис.</sub> — концентрация образовавшейся уксусной или пропионовой кислоты в частиц/см<sup>3</sup>; C<sub>рад.</sub> — концентрация пероксидных радикалов в отн. ед.

Таблица 2

Экспериментальные данные зависимости концентрации пероксидных радикалов и уксусной кислоты от температуры при ванном окислении ацетальдегида

Таблица 3

Экспериментальные данные по инициированию окисления ацетальдегида при T = 453 K

T, K	C <sub>рад.</sub>	C <sub>кис.</sub> · 10 <sup>13</sup>	I <sub>0</sub> · 10 <sup>12</sup>	C <sub>исх.</sub> · 10 <sup>15</sup>	C <sub>рад.</sub> · 10 <sup>10</sup>	C <sub>кис.</sub> · 10 <sup>13</sup>
423	—	Следы	—	3,3	0,9	1,2
453	3	1,2	5	—	6	—
473	1,5	1,8	5	3	13,5	2,4

Примечание: I<sub>0</sub> — исходная концентрация гидропероксида трет-бутила в частиц/см<sup>3</sup>; C<sub>рад.</sub> — концентрация радикалов в частиц/см<sup>3</sup>.

веденные в табл. 2. При повышении температуры наблюдается уменьшение концентрации радикалов, сопровождающееся увеличением количества конечного продукта — уксусной кислоты. Отметим, что возможность гетерогенной реакции с альдегидом по механизму Ридила-Или показана как методом ИК-спектроскопии<sup>(3)</sup>, так и анализом различных математических моделей процесса на твердой поверхности.

Наличие в газовой фазе пероксидных радикалов — лабильных продуктов гетерогенного окисления альдегидов и факт уменьшения их количества при увеличении количества конечного продукта реакции в условиях, исключающих гомогенное развитие цепей, свидетельствуют в пользу радикального характера реакции на твердой поверхности.

Что касается поиска путей доказательства цепного характера реакции, то с этой целью реакция изучалась в условиях гетерогенного инициирования. В качестве инициатора реакции использовались радикалы, образовавшиеся при распаде гидропероксида трет-бутила на твердой поверхности. Количество их в газовой фазе в условиях настоящих экспериментов  $\sim 6 \cdot 10^{10}$  частиц/см<sup>3</sup>. Если принять во внимание, что обычно концентрация радикалов, переходящих в газовую фазу при распаде (CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>COOH, составляет  $\sim 5-10\%$ <sup>(9)</sup>, причем большой радикальный выход наблюдается при малых концентрациях распадающегося пероксида ( $[(\text{CH}_3)_3\text{COOH}] < 10^{14}$  частиц/см<sup>3</sup>), то можно оценить максимально возможное количество радикалов на твердой поверхности. Оно может быть  $\sim 6 \cdot 10^{11}$  частиц/см<sup>3</sup> и меньше.

Иницирующее влияние радикалов на гетерогенное окисление ацетальдегида следует из данных табл. 3. Как видно, под влиянием инициатора увеличивается количество конечного продукта реакции на величину  $\sim 1,2 \cdot 10^{13}$  частиц/см<sup>3</sup>, превосходящую в несколько раз количество пероксидного соединения. При этом, как показывают расчеты, на один радикал дополнительно образуются по крайней мере десятки молекул конечного продукта. Эти данные свидетельствуют о наличии коротких цепей на поверхности.

Таким образом, в условиях, исключающих гомогенное протекание реакции, альдегиды окисляются гетерогенно и, по всей видимости, по цепному радикальному механизму.

Полученный экспериментальный результат наряду с результатами работ (1-4 10) приводит к выводу, что твердая поверхность реактора может участвовать во всех основных стадиях (зарождение, продолжение, разветвление и гибель цепей) окисления альдегидов. Однако в зависимости от условий проведения реакции вклад гетерогенных стадий в цепной вырожденно-разветвленный процесс их окисления может быть различным.

Институт химической физики  
Академии наук Армянской ССР

Թ. Հ. ԲԱԽՉԱԺՅԱՆ, Հայկական ՍՍՀ ԳԱ քիմիկոս անդամ Ի. Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ,  
Հայկական ՍՍՀ ԳԱ տեղաբնակից Ա. Բ. ՆԱԼԲԱՆԴՅԱՆ

Ալդեհիդների ցածր ջերմաստիճանային օքսիդացումը հումոգեն շղթաների գաղափարի փառաբանման պայմաններում

Ուսումնասիրված են ալդեհիդների և պրոպիոնալդեհիդի օքսիդացման սկզբնական փուլերի մոդալիտետային սեպարում, այնպիսի պայմաններում, երբ փառաբանում է շղթաների դարձացման հնարավորությունը գաղափարի փառաբանում: Իրված է եզրակացություն, որ այդ պայմաններում ալդեհիդները օքսիդանում են հետերոգեն ճանապարհով: Ուսումնասիրված է հարուցիչի՝  $(\text{CH}_3)_3\text{COOH}$ -ի հետերոգեն փառաբանման անալիզի արդյունքի ազդեցությունը ալդեհիդների օքսիդացման սկզբնական փուլի վրա և ցույց է տրված կարևոր շղթաների դարձացման հնարավորությունը սեպարացիայի մեթոդներով:

#### ЛИТЕРАТУРА—ՉՐԱՎՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆ

1. Բ. Ա. Բախչաժյան, Ի. Ա. Վարդանյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, ДАН СССР, т. 281, № 3, с. 611—615 (1985). 2. Բ. Ա. Բախչաժյան, Ի. Ա. Վարդաժյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, Материалы VIII Всесоюз. Симпозиума по горению и взрыву, Черноголовка, 1986. 3. Բ. Ա. Բախչաժյան, Ի. Ա. Վարդանյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, Хим. физика т. 5, № 3, с. 393—396 (1986). 4. Ի. Ա. Վարդանյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, Успехи химии, № 6, с. 903—922 (1985). 5. Բ. Ա. Բախչաժյան, Ի. Ա. Վարդանյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, Арм. хим. журн, т. 35, № 4, с. 209—212 (1982). 6. Բ. Ի. Королев, В. Ի. Кузнецов, А. Ի. Пинко и др., Основы вакуумной техники, Энергия, М., 1975. 7. Դ. Գ. Նարոնիկյան, Эм. А. Оганесян, Ի. Ա. Վարդանյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, Хим. физика, № 10, с. 1356—1359, 1982. 8. Ա. Բ. Նալբանդյան, Ա. Ա. Мантянյան, Элементарные процессы в медленных газофазных реакциях, Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1975. 9. Ա. Բ. Նալբանդյան, Ի. Ա. Վարդանյան, Современное состояние проблемы газофазного окисления органических соединений, Изд-во АН АрмССР, Ереван, 1986. 10. Կ. Դ. Газарյան, Դ. Ա. Գարիջյան, Ա. Բ. Նալբանդյան, Арм. хим. журн., т. 29, № 1, с. 5—7 (1976).

УДК 577.1

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

Р. А. Захарян, К. А. Вахунц, Н. А. Скобелева

### Специфическая рецепция дс-РНК на плазматической мембране клетки

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР К. Г. Карагезяном 14/1 1988)

Двуспиральные РНК (дс-РНК) известны как индукторы интерферона, стимуляторы первичного и вторичного иммунного ответа (<sup>1-2</sup>), модуляторы ряда биохимических реакций (<sup>3-4</sup>).

Вместе с тем возможные мембранные эффекты дс-РНК оставались вне поля зрения исследователей. Ранее на модели пейсмекерного нейрона РРА1 (<sup>5</sup>), на тромбоцитах кошек и человека (<sup>6</sup>) было показано, что РНК, ДНК и в особенности дс-РНК являются активаторами мембранных функций клетки. В основе их действия лежат процессы, связанные с повышением в клетке уровня цАМФ, активацией трансмембранных токов экстрацеллюлярного  $Ca^{2+}$ , активацией фосфолипазы  $A_2$ , более выраженных при использовании ДНК, РНК и дс-РНК в форме Са-преципитата.

Одновременно было установлено, что дс-РНК, сорбируясь на плазматической мембране нервной клетки, клеток печени, костного мозга, активно пересекает мембранный барьер и переходит внутрь клетки.

Имеющиеся результаты послужили основанием для изучения специфичности процесса взаимодействия дс-РНК с поверхностной мембраной и изолированной плазматической мембраной нервных клеток.

Для изучения взаимодействия дс-РНК с поверхностной мембраной целостной нервной клетки была использована реаггированная в течение 4 суток суспензия клеток, полученная при диссоциации нервной ткани—коры больших полушарий мозга крыс трипсином (<sup>7</sup>). Число клеток в суспензии подсчитывали гемоцитометром. В качестве дс-РНК использовали дрожжевую киллерную РНК с молекулярной массой  $1,2-1,8 \times 10^6$  д., любезно предоставленную Ф. И. Ершовым (Институт вирусологии им. Д. Н. Ивановского АМН СССР).

[<sup>3</sup>H]дс-РНК с активностью  $6,5 \times 10^3$  имп/мкг была получена в тритиевой воде с удельной активностью 5 Кю/мл. Фракции плазматических мембран из больших полушарий мозга крыс получали по методу, описанному в работе (<sup>8</sup>). Взаимодействие [<sup>3</sup>H]дс-РНК с клетками мозга в суспензии проводили при 4°C.

В экспериментах использовано по  $10^7$  клеток, сорбцию дс-РНК на клетках проводили в сбалансированном солевом растворе Хенкса в присутствии 5 мМ  $Ca^{2+}$ . Энзиматическую обработку клеток в суспензии проводили при 37°C 60 мин.

Дс-РНК—связывающие белки из плазматической мембраны клеток коры больших полушарий получали методом аффинной хроматографии на колонке дс-РНК, иммобилизованной на целлюлозе (9); сорбированные белки элюировали с колонок при 0,25, 0,5 и 1 М NaCl. Полученные образцы изучены в электрофорезе в 10%-ном ПААГ, в блочной модификации.

Чтобы выяснить, насколько специфично взаимодействие дс-РНК с плазматической мембраной нервных клеток, нами был изучен процесс сорбции [<sup>3</sup>H] дс-РНК на нервных клетках в суспензии. Максимум специфического связывания дс-РНК достигался в течение 6—10 мин. На рис. 1 изображена кривая насыщения поверхности клеток головного мозга дс-РНК. Присутствие 20-кратного избытка рибонуклеотидов, «холодной» ДНК тимуса теленка, разрушенной ультразву-

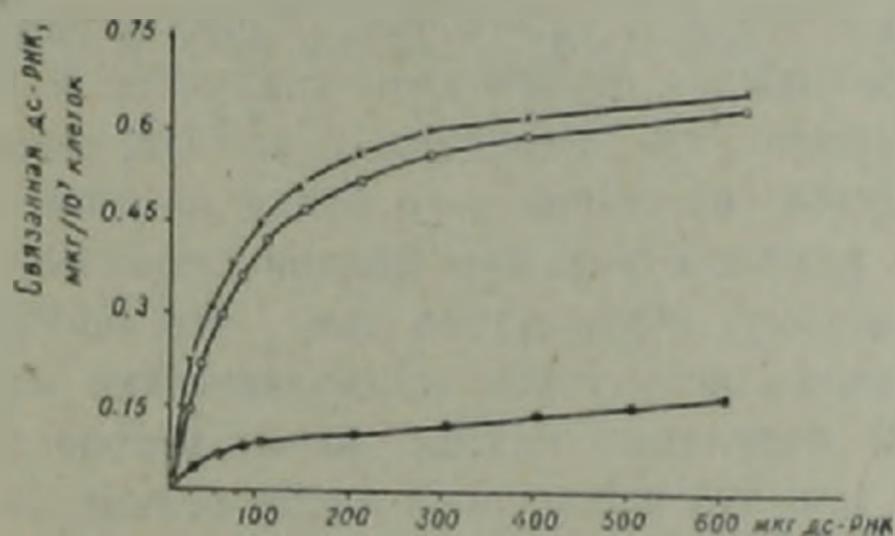
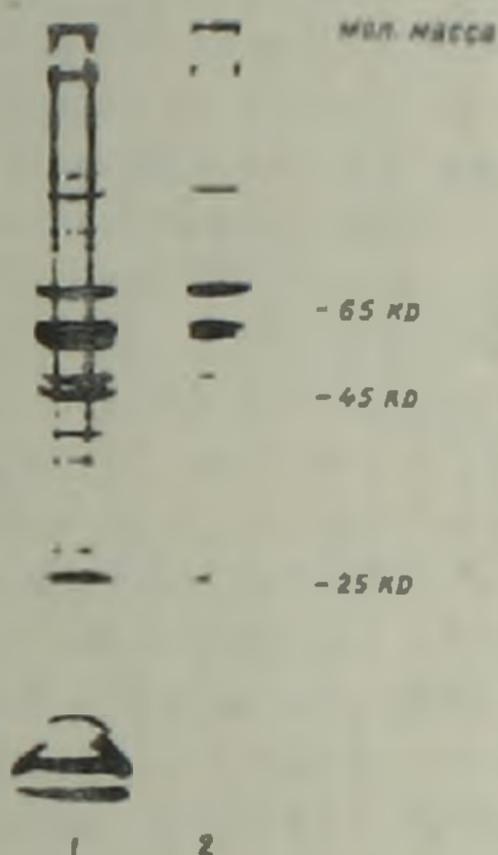


Рис. 1. Связывание [<sup>3</sup>H] дс-РНК клетками головного мозга: x—специфическое связывание (с вычетом неспецифического связывания дс-РНК), •—неспецифическое связывание [<sup>3</sup>H] дс-РНК в присутствии избытка холодной дс-РНК; o—связывание [<sup>3</sup>H] дс-РНК в присутствии ДНК (или АМФ, ГМФ, УМФ, ЦМФ)

Рис. 2. Электрофорез в 10% ПААГ дс-РНК связывающих мембранных белков, выделенных методом аффинной хроматографии на дс-РНК-АЭ-целлюлозе: 1—элюат 0,25 М NaCl; 2—элюат 0,5 М NaCl



Влияние энзиматической обработки на связывание дс-РНК клетками головного мозга

Обработка	Связывание дс-РНК, мкг/10 <sup>7</sup> клеток
Контроль: суспензия клеток, полученная сразу после диссоциации ткани трипсином	0,002
Контроль: реагированная суспензия через 4 суток культивирования	0,62
Реагированная суспензия после обработки трипсином (250 мкг/мл)	0,0015
Реагированная суспензия после обработки ДНКазой (100 мкг/мл)	0,6
Реагированная суспензия после обработки РНКазой (50 мкг/мл)	0,72

ком до молекулярной массы  $1-5 \times 10^5$  д., не оказывало влияния на связывание дс-РНК с мембраной нервных клеток.

Энзиматическая обработка клеток в диссоциированной суспензии головного мозга по-разному влияла на сорбцию дс-РНК клетками.

Выяснилось, что поверхность клеток в суспензии, полученной сразу после диссоциации нервной ткани трипсином, не способна акцептировать молекулы дс-РНК. Эта способность восстанавливалась у реагированных клеток через 4 суток культивирования. Повторная обработка трипсином полностью снимала дс-РНК связывающую способность нервных клеток. Обработка клеток ДНКазой, РНКазой не влияла на сорбцию дс-РНК на клетках.

Очевидно, что фактор связывания на поверхности клетки представлен протеинами, восстанавливаемыми в мембране в период культивирования, по-видимому, за счет синтеза *de novo*. Рибонуклеотиды, ДНК практически не влияли на сорбцию дс-РНК на нервных клетках, что указывает на специфический характер взаимодействия дс-РНК с белками плазматической мембраны.

Солюбилизованная в присутствии тритона X-100 очищенная фракция плазматических мембран клеток мозга была сорбирована на колонке дс-РНК, иммобилизованной на целлюлозе. Хроматография сорбированных белков, элюированных в ступенчатом градиенте NaCl: 0, 25, 0,5 М (рис. 2) свидетельствует, что, во-первых, с дс-РНК связывается определенный набор белков; во-вторых, эти белки по молекулярным массам повторяются в элюате с разными молярностями NaCl. Первое обстоятельство, по-видимому, обусловлено тем, что дс-РНК связывающиеся белки имеют своим источником плазматические мембраны достаточно разнородной популяции клеток мозга; второе обстоятельство можно объяснить тем, что идентичный набор белков, связывающихся с дс-РНК, занимает на молекуле дс-РНК близкие по своей первичной структуре последовательности, однако достаточно различающиеся (на одно, два основания), чтобы проявить различное сродство лиганда (дс-РНК) к рецептору—белку. Белок с молекулярной массой  $67-70 \cdot 10^3$  д. элюируется с колонки дс-РНК целлюлозы и при ионной силе 1,0 М NaCl; по-видимому, в молекуле дс-РНК имеются блоки последовательностей, к которым данный белок проявляет особенно высокое сродство и элюция данного белка с указанных последовательностей наступает при повышении ионной силы элюата до 1 М NaCl.

Полученные данные позволяют заключить, что взаимодействие дс-РНК с белками плазматической мембраны клеток мозга высокоспецифично и по своим характеристикам аналогично лиганд-рецептор взаимодействию. В присутствии дс-РНК имеет место ингибирование сорбции вируса мышинного энцефаломиокардита на плазматической мембране клетки на 75—80% путем блокады рецептора, химической его модификации и изменения липидного окружения рецептора.

Институт экспериментальной  
биологии Академии наук  
Армянской ССР

Ն<sub>2</sub>-ՌՆԹ-ի առանձնահատուկ ոեցեպցիան բջի պլազմատիկ բաղանթի վրա

Ն<sub>2</sub>-ՌՆԹ-ի փոխազդեցությունը ուղեղի բջիջների պլազմատիկ թաղանթի սպիտակուցների հետ ունի բարձր առանձնահատկություն և իրեն բնութագրուլ նման է լիզանդ-ոեցեպտորային փոխազդեցությանը:

Ն<sub>2</sub>-ՌՆԹ-ի ներկայությունը կանխում է մկան էնցեֆալոմիոկարդիտի վիրուսի սորբցիան բջիջների պլազմատիկ թաղանթի վրա:

#### ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- <sup>1</sup> G. Mathe, I. Florentin, L. Olsson e. a., Cancer Treat Rep, v. 62, p. 1613—1621 (1978). <sup>2</sup> J. H. Han, A. G. Ionson, J. Immunol., v. 117, p. 423—427 (1976). <sup>3</sup> L. Ratner, R. C. Wiegand, P. G. Farrel e. a., Biochem. Biophys. Res. Commun., v. 81, p. 947—952 (1978). <sup>4</sup> P. G. Farrel, C. G. Sen, M. F. Dubois e. a. Proc. Nat. Acad. Sci. USA., Biol. Sci., v. 75, p. 893—897 (1978). <sup>5</sup> P. A. Захарян, Г. Е. Рычков, С. С. Дадалян и др., Нейрохимия, т. 5, № 3, с. 239—247 (1986). <sup>6</sup> М. Г. Канемян, Э. А. Амроян, Р. А. Захарян и др., ДАН АрмССР, т. 79, № 3, с. 140—144 (1984). <sup>7</sup> И. В. Викторов, в кн.: Руководство по культивированию нервной ткани, М., 1978. <sup>8</sup> F. A. Nepp, Adv. in cell Neurobiol., v. 1, p. 379—403 (1981). <sup>9</sup> В. В. Романов, В. И. Старостина, Авторское свидетельство СССР, № 665635, 1985.

УДК 577.152.24

БИОХИМИЯ

Д. Л. Арутюнян, А. А. Погосян, А. Г. Мхитарян

Выделение (АДФ-рибоза) полимеразы из мозга крупного рогатого скота. Основные физико-химические свойства

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР К. Г. Карагезяном 28/XII 1987)

(АДФ-рибоза) полимеразы (КФ 2.4.99), фермент, локализованный в ядрах эукариотических клеток, катализирует полимеризацию АДФ, рибозильного остатка НАД, с образованием акцепторсвязанного гомополимера поли(АДФ-рибозы). Акцепторами поли(АДФ-рибозы) могут служить различные ядерные белки, в том числе гистон H1 и сама (АДФ-рибоза) полимеразы (1).

Гомогенные препараты фермента выделены из различных источников: тимуса теленка и свиньи, печени крыс, плаценты человека (1,2), тимуса и семенников быка (3).

Настоящая работа посвящена получению высокоочищенных препаратов (АДФ-рибоза) полимеразы из мозга крупного рогатого скота и сравнению ее основных физико-химических свойств со свойствами хорошо изученных ферментов из тимуса и семенников (3).

Ферментативную активность определяли в 100 мМ трис-НСI буфере рН 8,0, содержавшем 10 мМ MgCl<sub>2</sub>, 1 мМ дитиотреит, 10 мкг высокомолекулярной тимусной ДНК, 5 мкг гистона H1 и 0,2 мМ НАД (300000 имп/мин) в конечном объеме 125 мкл. После 5 мин инкубации при 25°C реакцию останавливали 20%-ной охлажденной трихлоруксусной кислотой. Кислотонерастворимый материал собирали на стекловолокнистом фильтре GF/C «Whatman». За единицу активности (АДФ-рибоза) полимеразы принимали количество фермента, катализирующее включение в кислотонерастворимый осадок 1 нмоль НАД за 1 мин. Концентрацию белка определяли по методу Лоури (4). Степень гомогенности и молекулярную массу полученного препарата фермента определяли методом электрофореза в 7,5%-ном полиакриламидном геле в присутствии Ds—Na.

Для выделения (АДФ-рибоза) полимеразы 120 г ткани гомогенизировали в буфере А (50 мМ трис-НСI рН 7,4, 50 мМ NaHSO<sub>3</sub>, 1 мМ ЭДТА, 0,5 мМ дитиотреит), содержавшем 0,3 М NaCl. Основные стадии очистки приведены в табл. 1. После центрифугирования при 20000g надосадочную фракцию подвергали дробному фракционированию 40—80%-ным сульфатом аммония. После обессоливания на колонке G-25 (3X45 см) препарат наносили на колонку с ДНК-целлюлозой объемом 30 мл. ДНК-целлюлозу получали по методу Альбертса (5). После нанесения колонку промывали 40 мл буфера А с 0,2 М

Очистка (АДФ-рибоза) полимеразы из мозга крупного рогатого скота Таблица 1

Стадия	Общий белок, мг	Общая активность, ед.	Специфическая активность, ед./мг	Выход, %	$\frac{A_{-днк}}{A_{днк}}$ , %
Грубый экстракт	1552	274	0,18	100	82
Осаждение $(NH_4)_2SO_4$	320	165	0,52	61	60
ДНК-целлюлоза	0,78	140	179	51	47
"Red-sepharose"	0,3	116	386	43	44
Гидроксиапатит	0,06	53	950	19	13

NaCl. Фермент элюировали с колонки буфером А, содержащим 1,0 М NaCl. На этой стадии фермент был очищен в 340 раз, по сравнению с предыдущей стадией, с выходом активности, составлявшей 47% от исходной. Полученный препарат фермента после трехкратного разбавления буфером А наносили на колонку, содержащую «Red-Sephagose» (Pharmacia)—3 мл. Элюцию проводили ступенчатым градиентом KCl, (по 3 мл 0,3, 0,5, 0,8 и 1,0 М KCl в буфере А). Фракции с ферментативной активностью, элюировавшие с сепарозы при 0,8 М KCl, наносили на колонку с гидроксиапатитом (1 мл). После промывки 5 мл 10 мМ калий-фосфатного буфера pH 7,4, содержащего 2 М KCl, фермент элюировали с колонки 50 мМ калий-фосфатным буфером с той же концентрацией KCl. В результате проведенной процедуры было получено 60 мкг белка с удельной активностью 950 ед/мг и выходом активности, составлявшей 19% от исходной. При выделении фермента из тимуса и семенников на гидроксиапатите он отделяется от ДНК. ДНК элюируется с носителя при помощи 250 мМ калий-фосфатного буфера. При выделении фермента из мозга фракция ДНК не обнаруживается. При отсутствии в реакционной среде экзогенной ДНК очищенная (АДФ-рибоза) полимеразы из тимуса и семенников не проявляет активности, а фермент из мозга сохраняет ее в пределах 13%.

По результатам электрофореза более 90% белка обнаруживается в зоне локализации (АДФ-рибоза) полимеразной активности, соответствующей молекулярной массе 116 кДа. Полученные величины молекулярной массы (АДФ-рибоза) полимеразы из мозга согласуются со значениями молекулярной массы для фермента из тимуса и семенников (3). Величина  $K_m$  НАД в реакции полиАДФ-рибозилирования гистона H1, определенная в координатах Лайнуивера-Берка, равна 44 мкМ и существенно не отличается от аналогичного параметра для очищенного фермента из семенников и тимуса. Нами отмечены незначительные расхождения между значениями  $V_{max}$  реакций полиАДФ-рибозилирования гистона H1, катализируемых (АДФ-рибоза) полимеразой, выделенной как из мозга, так и тимуса и семенников (табл. 2). Установлено ингибирование полиАДФ-рибозилирования гистона H1 под действием никотиамида и тимидина в концентрациях  $4 \cdot 10^{-4}$  М на 90 и 100% соответственно, в то время как аналоги субстрата—НАДФ, деамино-НАД и этено-НАД в концентрациях  $5 \cdot 10^{-4}$  М ингибируют реакцию лишь на 30—50%.

Таблица 2

Свойства (АДФ-рибоза) полимераз из мозга, тимуса и семенников (3)

Параметры	Мозг	Тимус	Семенники
$M_r$ , кДа	116	116	116
$V_{\text{макс}}$ , ед./мг	1200	1600	1470
$K_m$ НАД, мкМ	44	55	50
pH-оптимум	8.0—9.0	8.0—9.0	8.0—9.0

Таким образом, проведенные исследования показали, что высокоочищенный препарат (АДФ-рибоза) полимеразы из мозга по ряду физико-химических характеристик (молекулярной массе, pH-зависимости, удельной активности,  $K_m$  НАД, по ингибированию аналогами субстрата) идентичен (АДФ-рибоза) полимеразам, выделенным из тимуса и семенников. Полученные результаты позволяют заключить, что низкий уровень синтеза полиАДФ-рибозы в мозговой ткани, по всей видимости, является результатом низкой концентрации фермента в ткани мозга, а не особенностей его каталитических характеристик.

Институт экспериментальной  
биологии Академии наук  
Армянской ССР

Գ. Լ. ՉԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ա. Ա. ՊՈՂՈՍՅԱՆ, Ա. Գ. ՄԻԻԹԱՐՅԱՆ

Խոշոր եղջերավոր անասունների ուղեղի (ԱԴՖ-ոիրոզա) պոլիմերազայի  
անջատումը: Հիմնական ֆիզիկա-քիմիական հատկությունները

Դիթ-ցելյուլոզայի, «Red-sepharose»-ի հիդրոֆոբիապատիտի սյունների վրա մաքրման եղանակով ստացված են (ԱԴՖ-ոիրոզա) պոլիմերազայի հոմոգեն պրեպարատներ: Ցույց է տրված, որ ուղեղից մաքրված ֆերմենտը մոլեկուլյար դանգվածով  $K_m$ -ի արժեքով, տեսակարար ակտիվությամբ, ինչպես նաև pH-կախվածությամբ էականորեն չի տարբերվում ուրցադեղ-ձից և ամորձներից անջատված ֆերմենտից (3): Հենվելով ստացված տվյալների վրա, կարելի է ենթադրել, որ ուղեղի հյուսվածքին բնորոշ (ԱԴՖ-ոիրոզա) պոլիմերազայի ակտիվության ցածր մակարդակը հետևանք է ոչ թե ֆերմենտի կատալիտիկ հատկությունների, այլ նրա ցածր պարունակությանը ուղեղի հյուսվածքում:

#### 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> K. Ueda, Ann. Rev. Biochem., v. 54, p. 73—100 (1985). <sup>2</sup> H. Ushiro, Y. Yokoyama, Y. Shizuta, J. Biol. Chem., v. 262, p. 2352—2357 (1987). <sup>3</sup> Л. В. Карабашян, Д. Л. Арутюнян, А. А. Погосян и др., Биохимия, т. 53, в. 4 (1988). <sup>4</sup> O. H. Lowry, N. J. Rosebrough, A. L. Farr e. a., J. Biol. Chem., v. 193, p. 265—275 (1951). <sup>5</sup> B. Alberts, G. Herrick, Methods in Enzymology, v. 21, p. 198—217 (1971).

УДК 547.963.32+591.143.3+591.144 [591.147.1/2]

БИОХИМИЯ

Х. С. Саядян, А. В. Зильфян, Р. А. Саакян,  
М. И. Геворкян, Г. Г. Геворкян

### Влияние экстракта парашитовидных желез на синтез ДНК в лимфоцитах тимуса и селезенки лабораторных животных

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР В. Г. Мхитаряном 29/1 1988).

Наиболее изученный продукт, секретиремый парашитовидными железами (ПЩЖ), — паратиреоидный гормон (ПТГ) — обладает широким диапазоном влияния на кальцийзависимые функции. Эти гормональные воздействия распространяются не только на органы-мишени — кости и почки, но и на клетки органов, не являющихся его непосредственными мишенями. Это относится прежде всего к клеткам тимуса, костного мозга, хондроцитам, эпителию молочной железы, клеткам скелетной мускулатуры и сердца, опухолевым клеткам и др. (1). В некоторых из названных клеток ПТГ активирует поступление  $Ca^{2+}$  в клетки путем увеличения уровня цАМФ (2). В ряде случаев эффекты ПТГ опосредованы увеличением концентрации  $Ca^{2+}$  в цитозоле без изменения концентрации цАМФ (3).

С другой стороны, известно, что ПЩЖ наряду с ПТГ секретируют и другие белки, такие как паратиреоидный секреторный белок (ПСБ) (4), белок Н, сходный с тимическим убиквитином (5,6). Кроме того, ПЩЖ секретируют фрагменты ПТГ 34-84 и 37-84. Небольшие количества N-концевого гормона также высвобождаются в ПЩЖ (2). Биологическое действие всех остальных белков, секретиремых ПЩЖ, кроме ПТГ, на органы-мишени остается неизвестным.

Нами было сделано предположение, что некоторые секреты ПЩЖ должны обладать иммуномодуляторными свойствами. Проверка этого предположения явилась целью нашего исследования.

В экспериментах были использованы лимфоидные клетки крыс линии Август и мышей линии СВА. Гомология гормонов крыс с гормонами человека является одной из самых высоких в ряду лабораторных животных (7). Наиболее исследованной иммунологической моделью являются мыши.

В качестве модулирующих агентов были использованы экстракты ПЩЖ и ПТГ, выпускаемый Московским эндокринным заводом под названием «паратиреоидин».

Скорость включения меченого тимидина в ДНК определяли на основе метода (8).

Для получения лимфоцитарной суспензии животному делали атлантоокципитальную децервикацию, обрабатывали наружные покровы 10%-ной перекисью водорода, затем 76%-ным спиртом. Такая об-

работка позволяла получать культуры высокой стерильности. Для получения клеток паренхиматозных органов их помещали в стеклянный гомогенизатор Портера и гомогенизировали в среде 199 с 5%-ной телячьей эмбриональной сывороткой, 20 ммоль НЕРЕС с антибиотиками из расчета 40—80 Е/мл. В качестве антибиотика использовали гентамицин, который обладает как бактерицидной, так и фунгицидной активностью.

В эксперименте брались суспензии с количеством живых клеток не менее 90% их общего числа. Полученную суспензию фильтровали через капроновую сетку, дважды отмывали холодной средой при 1500 об/мин 10 мин и затем ресуспендировали в среде культивирования. Среду культивирования компоновали из следующих ингредиентов: RPMI—1640 („Flow“, Великобритания), 90,5% ТЭС (GIBCO, США), 20 ммоль НЕРЕС, 2 ммоль L-глутамина, гентамицин („Sporha“, Болгария) из расчета 40—80 Е/мл, 2-Меркаптоэтанол („Fluca“, Австрия) из расчета 4,2 мл на 996 мл RPMI—1640.

Плотность клеток при посадке в плашки составляла не более  $10^7$  в 1 мл. Все манипуляции с клетками проводили в ламинарных боксах фирмы «ЭТИ» (ФРГ). В качестве митогенов использовали конканавалин А (Sigma, США) и фитогемагглютинин (ФГА), (Difco, США). В каждую лунку добавляли митогены так, чтобы конечная концентрация конканавалина А составляла 2—4 пг на лунку, а ФГА—0,1 мкл исходного раствора. Для каждой серии препаратов определяли нижние наименьшие концентрации, еще обладающие активностью.

Инкубацию клеток производили в течение 48 ч. За 16 ч до конца инкубации в каждую лунку добавляли меченый тимидин фирмы Rgha (ЧССР) с конечной активностью 1 мкю/мл. После окончания инкубации содержимое лунок переносили на ацетатцеллюлозные фильтры марки HA фирмы Millipore (США). Лунки промывали 20-кратным объемом забуференного физиологического раствора, затем 10-кратным объемом 5%-ного ТХУ и затем 10-кратным объемом этилового спирта. Мишени вырезали и помещали в сцинтилляционные флаконы с толуольной сцинтилляционной жидкостью. Сцинтиллятор готовили из расчета на 1 л толуола 0,4 г РОРОР, 4 г РРО. Эффективность счета достигала для  $^3\text{H}$  в таком сцинтилляторе 36—40%. Подсчет активности проводили на фотометрах фирмы ЛКВ «Beta-rack» (Швеция). Активность изотопов определяли по числу распадов в минуту.

Конечную обработку результатов проводили на персональном компьютере Apple—2 (США).

На рис. 1,а показано влияние различных доз экстракта ПЩЖ на включение меченого тимидина в синтез ДНК в спленоцитах крыс, а на рис. 2,а—в тимоцитах. Введение полученного препарата в культуральную среду в дозе 20 мкл (маточный раствор 2мг/мл) вызывало снижение включения меченого тимидина в ДНК на 37,4%. Вместе с тем наблюдалась определенная парадоксальная реакция при снижении доз изучаемого препарата. В частности доза в 5 мкл не вызывала статистически достоверных изменений, в то время как 40-кратное уменьшение дозы приводило к еще большему снижению интенсивности синтеза ДНК в спленоцитах крыс. Тимоциты реагировали на вве-

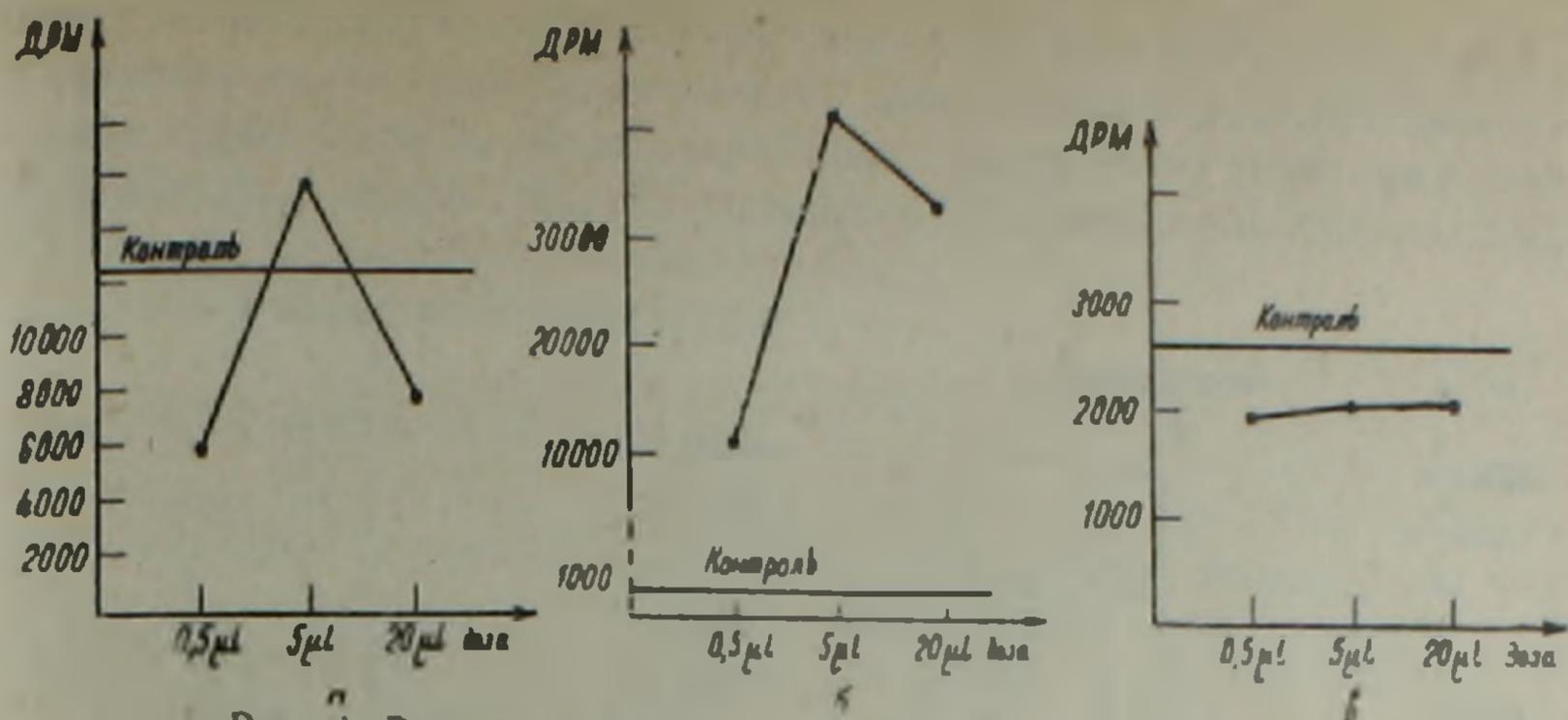


Рис. 1. Влияние различных доз экстракта паразитовидных желез на включение меченого тимидина в синтез ДНК в спленocyтaх крыс линии Август: а—в норме; б—при добавлении конканавалина А; в—при добавлении ФГА

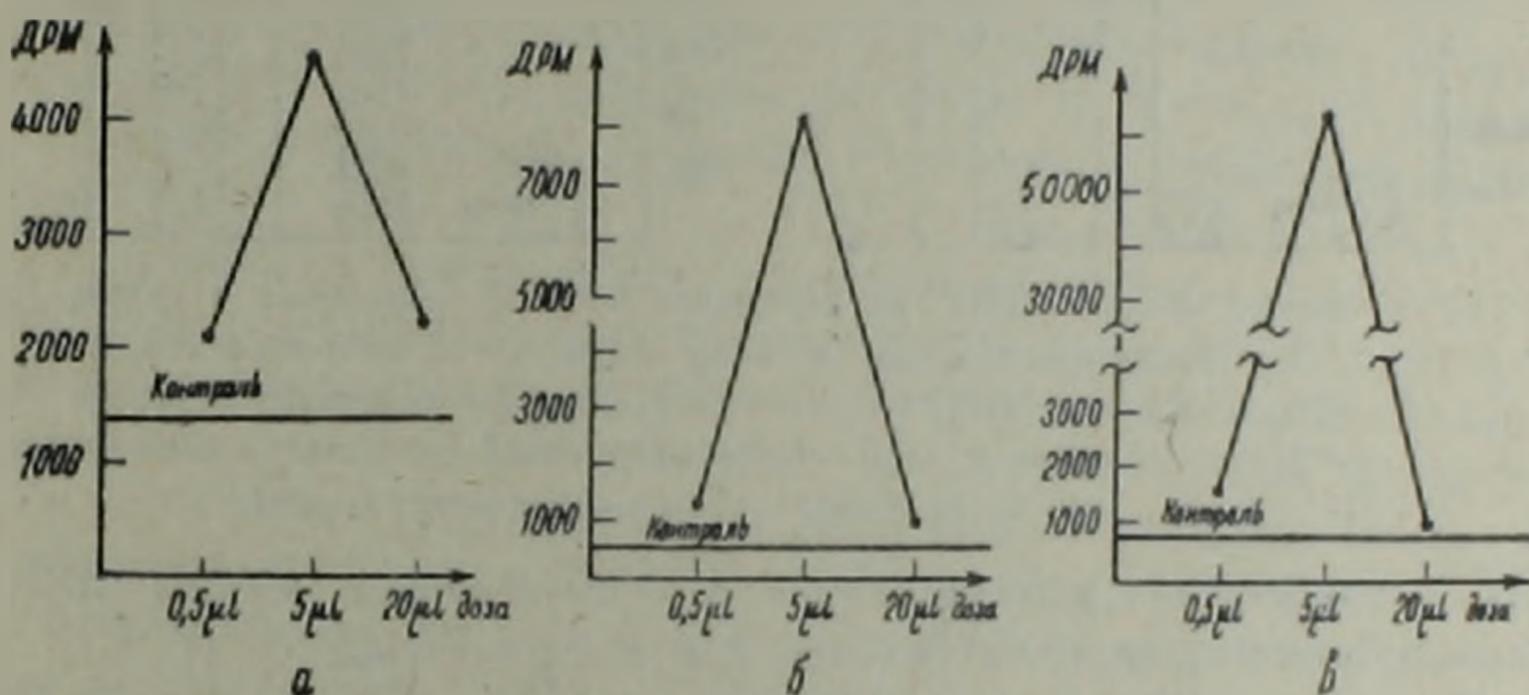


Рис. 2. Влияние различных доз экстракта паразитовидных желез на включение меченого тимидина в синтез ДНК в тимocyтaх крыс линии Август: а—в норме; б—при добавлении конканавалина А; в—при добавлении ФГА

дение экстракта в культуральную среду увеличением синтеза ДНК, причем здесь также наблюдалось нелинейное действие. Дозировки в 20 мкл вызывали статистически недостоверное увеличение синтеза ДНК, в то время как доза в 5 мкл действовала намного сильнее и увеличивала синтез ДНК более чем в 3 раза. Уменьшение первоначальной дозировки в 40 раз также уменьшало включение трития практически до контрольных цифр. Таким образом, клетки из тимуса и селезенки реагировали на введение экстракта ПЩЖ с разнонаправленным эффектом. Как видно из рис. 3 и 4, эффект ПТГ и полученного грубого экстракта разнонаправлен в тимусе и однонаправлен в селезенке.

С целью выяснения механизмов действия полученного нами экстракта на метаболизм лимфоцитов мы ввели в культуральную среду митогены—конканавалин А, который является активатором практически всех популяций лимфоцитов, и ФГА, который, как известно, стимулирует митогенную активность в основном Т-клеток.

Введение конканавалина А в культуральную среду стимулирова-

ло включение трития в ДНК и в селезенке и в тимусе, причем степень воздействия в зависимости от дозировки также была одинакова: при 4-кратном уменьшении дозы возрастала, а при 40-кратном — уменьшалась по сравнению с первоначальной дозой (рис. 1,б,2,б).

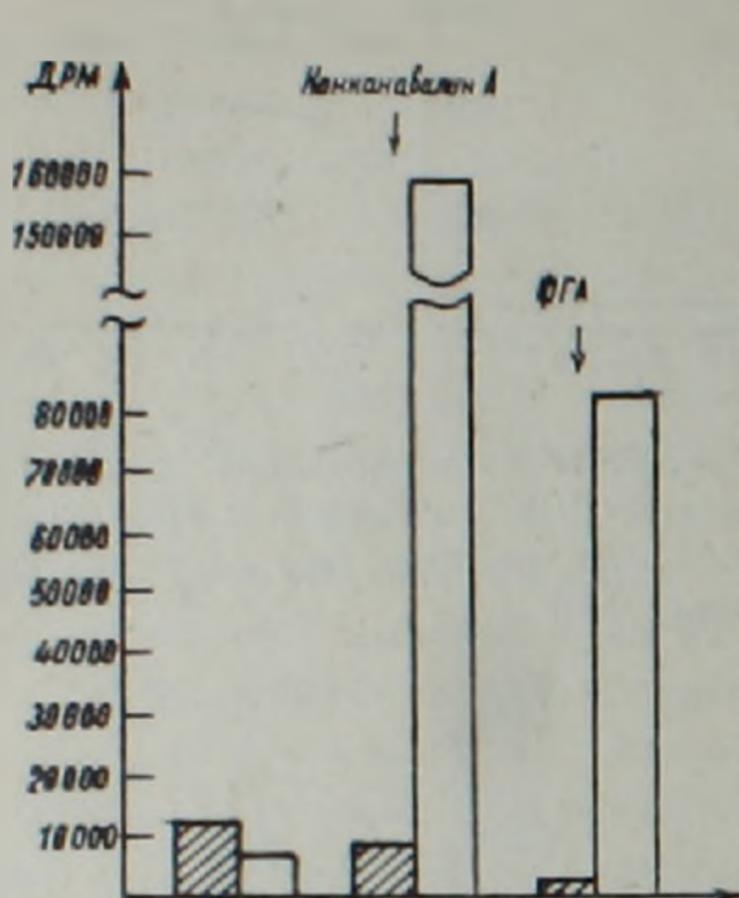


Рис. 3. Влияние ПТГ на включение меченого тимидина в синтез ДНК в спленоцитах крыс в норме и при митогенной стимуляции

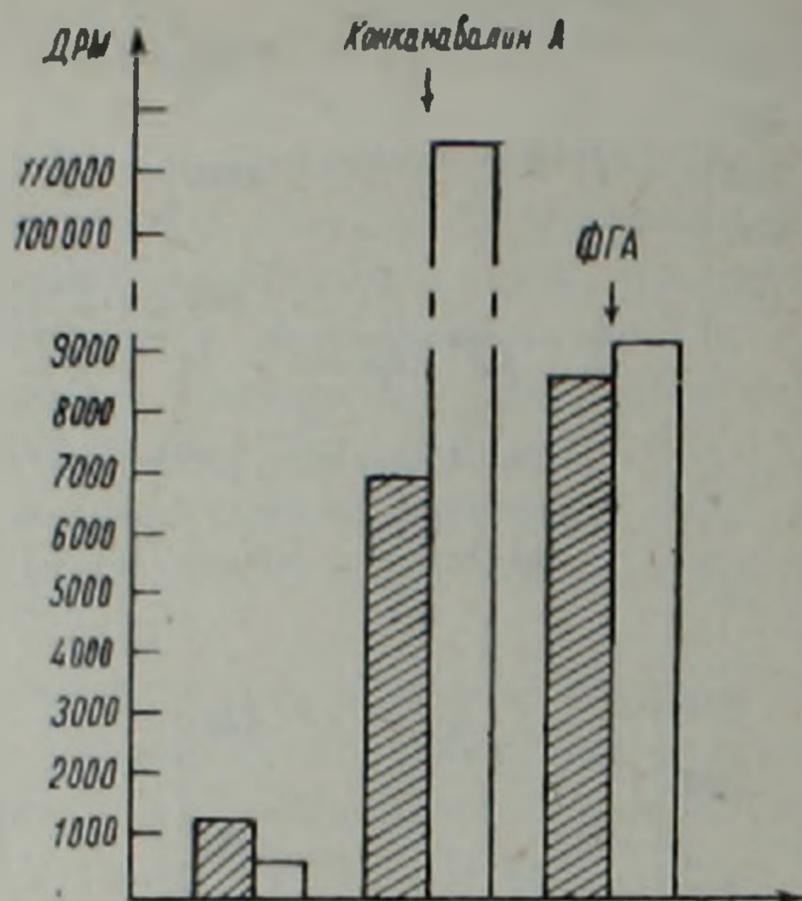


Рис. 4. Влияние ПТГ на включение меченого тимидина в синтез ДНК в тимоцитах крыс в норме и при митогенной стимуляции. Заштрихованная часть — контроль, незаштрихованная — опыт

ПТГ в присутствии конканавалина А стимулировал синтез ДНК в обоих органах на порядок сильнее, чем экстракт (рис. 3, 4).

Введение ФГА в культуральную жидкость, в которой инкубировались спленоциты (рис. 1,в) практически не действовало на синтез ДНК. В тимоцитах же наблюдалась иная картина (рис. 2,в). Экстракт в дозе 20 мкл в присутствии ФГА не изменял митотической активности тимоцитов. В дозе 5 мкл включение меченого тимидина в ДНК увеличивалось в 4 раза, а в дозе 0,5 мкл — в 2 раза по сравнению с контролем. Эффект ПТГ и экстракта при введении ФГА различался в обоих органах. В селезенке ПТГ стимулировал синтез ДНК приблизительно в 30 раз, в то время как экстракт не оказывал действия. В тимусе ПТГ практически не изменял контрольного уровня синтеза ДНК, а экстракт повышал его в 2—4 раза.

Введение полученного экстракта в культуральную среду, содержащую спленоциты мыши линии СВА, не вызывало изменений во включении меченого тимидина в ДНК. В тимоцитах же влияние экстракта было значительным: в дозе 20 мкл экстракт вызывал увеличение синтеза ДНК приблизительно в 2 раза, 4-кратное уменьшение дозы вызывало стимуляцию синтеза ДНК в 4 раза, при дальнейшем уменьшении дозировки до 0,5 мкл включение трития в ДНК оставалось выше контрольного уровня в 3 раза.

В дозе 20 мкл ПТГ практически не влияет на синтез ДНК и в

тимусе и в селезенке мыши. При 4-кратном уменьшении дозировки в обоих органах синтез увеличивается приблизительно в 7 раз. При 40-кратном уменьшении дозировки ПТГ действует разнонаправленно: стимулирует синтез ДНК в тимоцитах приблизительно в 2 раза и подавляет его в спленоцитах почти в 3,4 раза.

Присутствие конканавалина А в культуральной жидкости снижает включение трития в ДНК в лимфоцитах селезенки мыши во всех трех используемых дозах: около 1,2 раза в дозе 20 мкл, в 1,6 раза в дозе 5 мкл и в 1,5 раза в дозе 0,5 мкл. В тимоцитах в присутствии конканавалина А уменьшается синтез ДНК при дозировке в 20 мкл экстракта, несколько увеличивается в дозе 5 мкл и не изменяется по сравнению с контролем в дозе 0,5 мкл.

Добавление в культуральную среду, содержащую спленоциты мыши, ФГА снижало синтез ДНК в 1,4 раза при дозе экстракта 20 мкл и стимулировало при дозе 5 мкл приблизительно в 1,3 раза. В дозе 0,5 мкл включение трития практически не отличалось от контрольного уровня. В тимоцитах добавление ФГА в культуральную жидкость снижало синтез ДНК при дозировке экстракта в 20 мкл в 2,3 раза. 4- и 40-кратное уменьшение дозировки не вызывало изменений в синтезе ДНК.

Полученные данные не дают возможности однозначно определить, существует один или несколько факторов, обладающих иммуномодуляторной активностью в полученных экстрактах. Однако совершенно очевидно, что получаемые препараты обладают мощными биологическими потенциями по отношению к лимфоидным клеткам. Не до конца выясненным остается биологический смысл существования подобной регуляции. Однако ряд факторов, таких как единовременное развитие в эмбриогенезе ПЩЖ и тимуса из одной группы клеток (3—4 жаберные каналы), выделение из тимуса продуктов, обладающих высокой кальцийрегулирующей активностью, резкое повышение уровня гормонов ПЩЖ после тимэктоми, а также необычайно яркие проявления в Вастинг-синдроме недостаточности функции кальцийрегулирующей системы<sup>(9, 10)</sup> позволяет предположить существование тесных реципрокных взаимодействий между тимусом и ПЩЖ, о чем также свидетельствуют полученные нами результаты.

Центральная научно-исследовательская лаборатория  
Ереванского медицинского института

Խ. Ս. ՍԱՅԱԴՅԱՆ, Ա. Վ. ԶԻՆՅԱՆ, Ի. Ա. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, Գ. Գ. ԳԵՎՈՐԿՅԱՆ, Մ. Ի. ԳԵՎՈՐԳՅԱՆ

Հարվահանաձև գեղձերի մզվածքների ազդեցությունը  
ԴՆԹ-ի սինթեզի վրա լարուրատուր կենդանիների բիմուսի  
և փայծաղի լիմֆոցիտներում

Հետազոտված է Ca—հոմեոստազը ապահովող հորմոնների և հարվահանաձև գեղձերի մզվածքների ազդեցությունը տարրեր լիմֆոցիտ հյուսվածքներից ստացված լիմֆոցիտների միտոտիկ ակտիվության վրա: Ցույց է տրվում

ված, որ հետազոտվող նյութերը ունակ են փոփոխելու լիմֆոցիտների ֆունկցիոնալ ակտիվությունը ինչպես նորմալում, այնպես էլ մտոգենների ազդեցության տակ:

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

- <sup>1</sup> И. А. Држевецкая, Ю. М. Држевецкий, Итоги науки и техники. Физиология человека и животных, т. 27, с. 78, Наука М., (1983). <sup>2</sup> J. A. Flisher, J. W. Blum, W. Born e. a., Calc. Tiss Intern., v. 34, № 4, p. 313—316 (1982). <sup>3</sup> E. M. Brown, Miner. Electrol. Metabol., v. 8, № 3—4, p. 130—150 (1982). <sup>4</sup> B. Kemper, J. H. Habener, A. Rich, J. T. Potts Jr., Science, v. 184, № 4133, p. 59—61 (1974). <sup>5</sup> J. R. Moran, W. Born, C. R. Tuschmid e. a., Endocrinology, v. 108, № 6, p. 2264—2268 (1981). <sup>6</sup> J. J. Morrissey, D. V. Cohn, Endocrinology, v. 103, № 6, p. 2081—2090 (1978). <sup>7</sup> H. T. Keutmann, Clinics in Endocrinology and Metabolism, v. 3, № 2, p. 173—197 (1974). <sup>8</sup> Л. А. Зильбер, Иммунохимический анализ, Медицина, М., 1969. <sup>9</sup> Е. Н. Кемелева, Вилочковая железа, София, Здоровье, 1985. <sup>10</sup> Р. В. Петров, Иммунология, Медицина, М., 1983.

УДК 577.115+612.015.14

БИОХИМИЯ

А. Л. Шалджян, С. Л. Мкртчян, член-корреспондент АН АрмССР В. Г. Мхитарян

### Ненасыщенные жирные кислоты и перекисное окисление в печени крыс

(Представлено 22/11 1988)

Процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ), усиливающиеся при различных патологических состояниях, а также при стрессе (1), сопровождаются, как было показано ранее (2), увеличением активности фосфолипазы  $A_2$ , что приводит к увеличению выброса свободных ненасыщенных жирных кислот (НЖК). Последние при наличии ряда благоприятных условий могут подвергаться переоксислению, как это было показано для модельных систем (3) и, возможно, являться инициаторами переоксисления уже эстерифицированных ацилов фосфолипидов биомембран. Однако данные некоторых исследователей (4,5) указывают на ингибирующее действие фосфолипазы  $A_2$  на ПОЛ, и, таким образом, вопрос о роли продуктов действия фосфолипазы  $A_2$ , т. е. НЖК, в процессах ПОЛ остается пока открытым. Изучению этой проблемы посвящена настоящая работа. Нами было изучено действие линолевой и арахидоновой кислот на ПОЛ в различных субклеточных фракциях печени крыс в условиях *in vitro*.

Эксперименты проводили на 45 белых беспородных крысах массой 150—180 г. После декапитации интактных животных извлекали печень, которую гомогенизировали в 0,15 М КСl. Дальнейшее фракционирование гомогената с целью получения митохондрий и микросом проводили методом дифференциального центрифугирования также в солевом растворе (6,7). Полученные фракции инкубировали при 37°C различное время и в различных условиях (см. подписи к рисункам) со спиртовыми растворами линолевой (СССР, х. ч.) и арахидоновой (Sigma) кислот (конечная концентрация этанола—0,5%), после чего в них определяли интенсивность перекисного окисления липидов по уровню малонового диальдегида (МДА), обнаружение которого велось по ТБК-тесту (8). Среда инкубации содержала 0,1 М  $Na_4P_2O_7$ , рН=7,4,  $10^{-4}$  или  $10^{-6}$  М НЖК и суспензию одной из субклеточных фракций или гомогената печени (белок—1—2 мг). Инкубация НЖК с инициаторами переоксисления, применяемыми в этой методике ( $Fe^{+2} + NADPH_2$ ) в отсутствие биологического материала не приводила к автоокислению жирных кислот. Белок определяли по Лоури. Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием непараметрического критерия Уилкоксона—Манна—Уитни (9).

Эксперименты проводили с субклеточными фракциями, где наиболее интенсивно протекают процессы ПОЛ (микросомы и митохондрии), а также для сравнения в гомогенате. На первом этапе наших исследований было изучено влияние НЖК на ПОЛ при одновременной инкубации кислот с индукторами перекисного окисления. Надо отметить, что общая направленность колебаний уровня МДА во всех исследованных фракциях примерно одинаковая (рис. 1—3) и выражается в уменьшении скорости накопления МДА при действии НЖК в концентрации  $10^{-4}$  М. Наиболее отчетливо эти изменения проявляются в гомогенате (рис. 1), где арахидоновая кислота практически не влияла на ПОЛ, в то время как при действии линолевой кислоты ( $10^{-4}$  М) скорость ПОЛ уменьшалась почти в 3 раза. Та же кислота в концентрации  $10^{-6}$  М лишь в первые 30 мин заметно уменьшала накопление МДА, а спустя 30 мин, т. е. к концу 60-ой мин, эти изменения уже нивелировались. В микросомах (рис. 3) наблюдалась примерно такая же картина, но здесь отчетливую тенденцию к уменьше-

ни МДА/мг белка

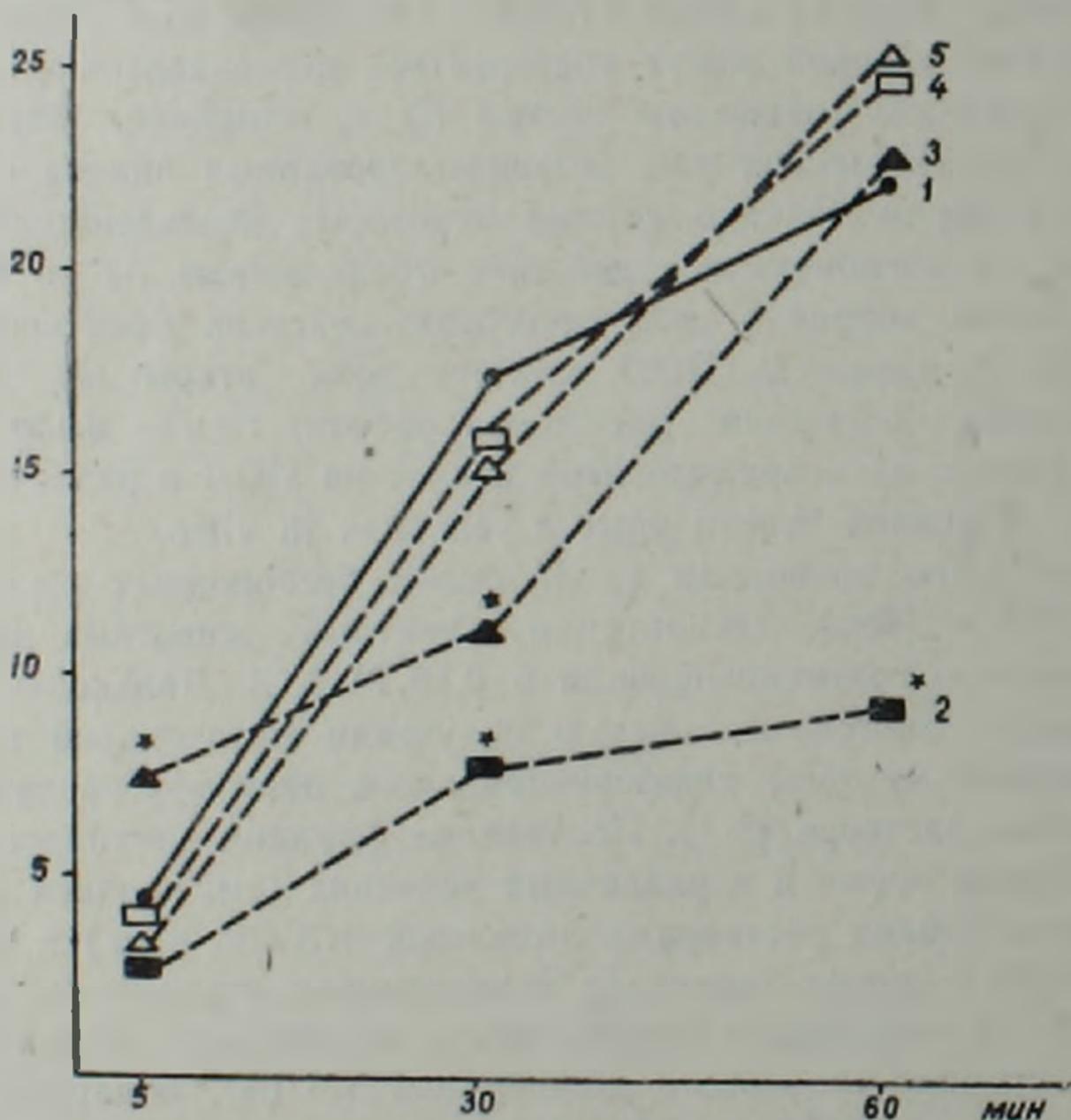


Рис. 1. Влияние НЖК на ПОЛ в гомогенате печени крыс при одновременном инкубировании жирных кислот и индукторов перекисного окисления: 1—контроль; 2—линолевая кислота  $10^{-4}$  М; 3—линолевая кислота  $10^{-6}$  М; 4—арахидоновая кислота  $10^{-4}$  М; 5—арахидоновая кислота  $10^{-6}$  М; \*— достоверные данные

нию интенсивности ПОЛ проявляла и арахидоновая кислота ( $10^{-4}$ ). Но более эффективными и здесь были обе концентрации линолевой кислоты ( $10^{-4}$  М в большей степени, нежели  $10^{-6}$ ). В митохон-

дриальной фракции (рис. 2) наиболее выраженное ингибирующее влияние оказывала арахидоновая кислота ( $10^{-4}$ ). Несмотря на несколько парадоксальный всплеск ПОЛ к 30-й минуте при действии  $10^{-4}$  М линолевой кислоты, общая скорость переокисления при этом также была ниже контрольных цифр (на 62,2%).

Таким образом, мы наблюдаем отчетливый дозозависимый ингибирующий эффект НЖК на ПОЛ, причем если в микросомах была

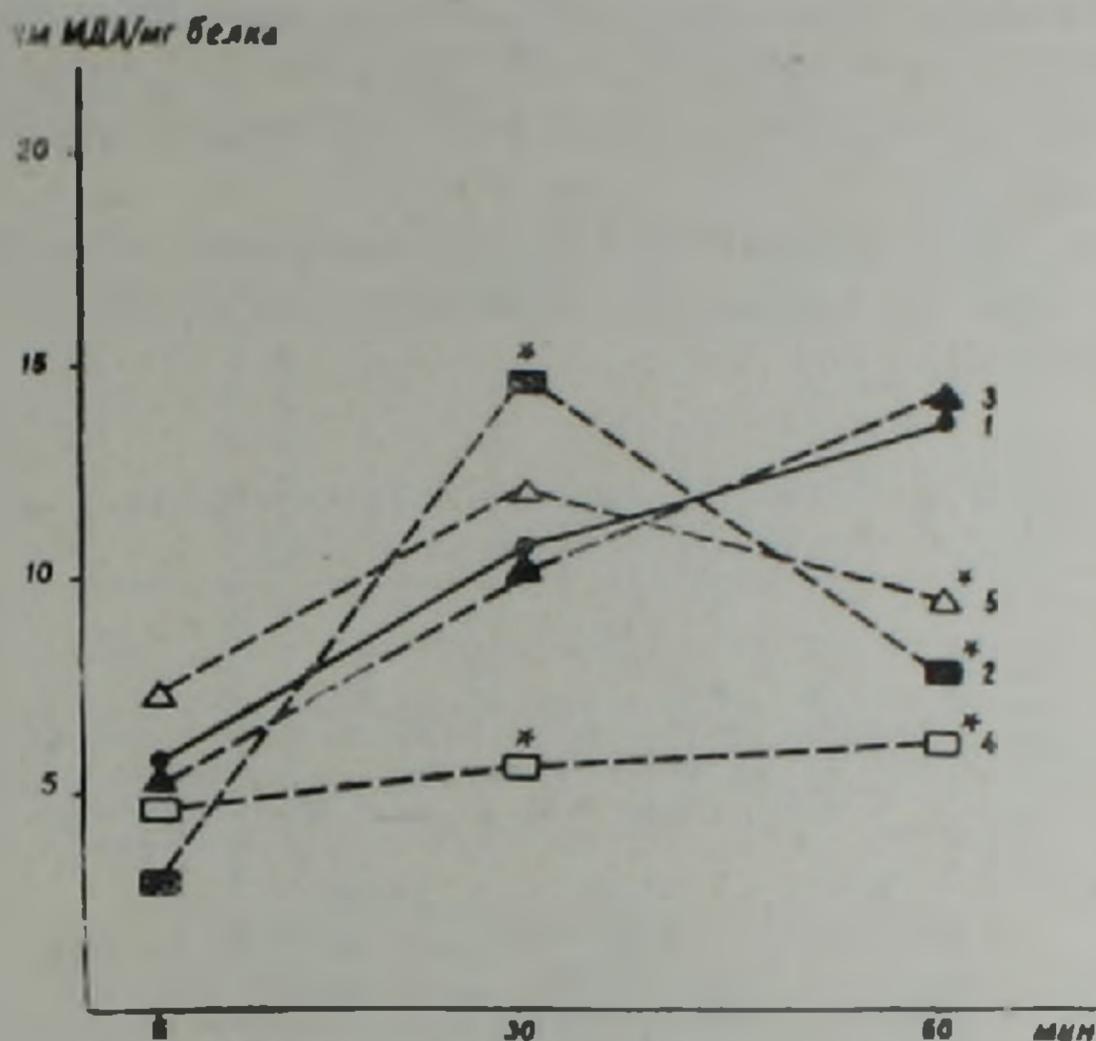


Рис. 2. Влияние НЖК на ПОЛ в митохондриях печени крыс при одновременном инкубировании жирных кислот и индукторов переокисления. Обозначения те же

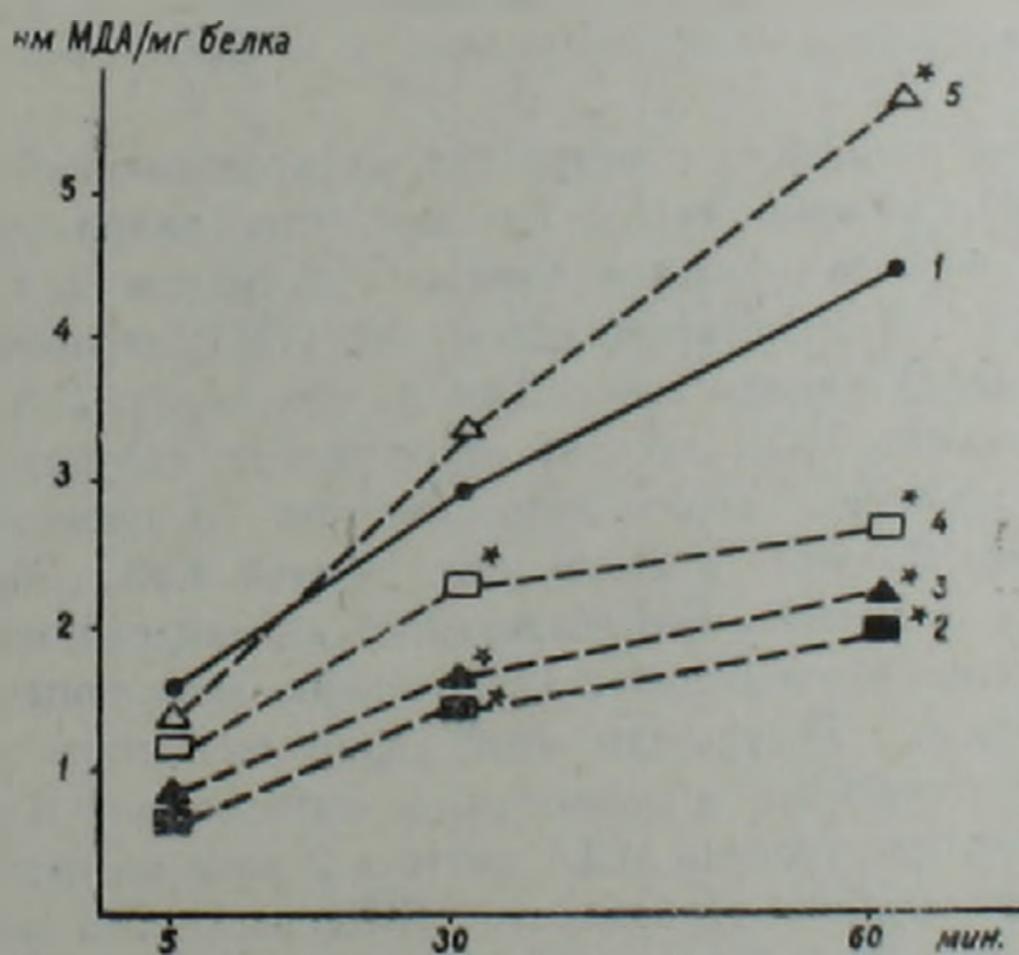


Рис. 3. Влияние НЖК на ПОЛ в микросомах печени крыс при одновременном инкубировании жирных кислот и индукторов переокисления. Обозначения те же

более активна линолевая кислота, то в митохондриях—арахидоновая. Возможно, это связано с различными скоростями утилизации этих кислот в разных органеллах клетки.

Во второй серии исследований НЖК предварительно были инкубированы в течение 15 мин совместно с митохондриями или микросомами; затем в среду добавляли инициаторы ПОЛ и после 30-минутной инкубации определяли уровень МДА. Результаты этих исследований (табл. 1) также указывают на ингибирующее действие НЖК на ПОЛ, причем эффект также дозозависимый, но здесь наблюдается практически полный параллелизм в действии обеих кислот и в микросомах, и в митохондриях.

Обе эти серии экспериментов недвусмысленно обозначили факт подавления скорости перекисного окисления свободными, неэстерифицированными НЖК.

Таблица 1

Уровень МДА (в нм/мг белка) при предварительной инкубации в течение 15 мин митохондрий и микросом с НЖК

0	1	2	3	4	5	6
	Без преинкубации	Преинкубация в теч. 15 мин	Преинкубация + л. к. $10^{-4}$ М	Преинкубация + л. к. $10^{-4}$ М	Преинкубация + а. к. $10^{-6}$ М	Преинкубация + а. к. $10^{-4}$ М
Митохондрии	45.2	38.8 $p_1 < 0.05$	35.95 $p_1 < 0.055$ $p_2 > 0.5$	26.65 $p_1 < 0.005$ $p_2 < 0.005$	36.8 $p_1 < 0.05$ $p_2 > 0.5$	29.75 $p_1 < 0.05$ $p_2 < 0.05$
Микросомы	4.6	3.55 $p_1 < 0.1$	3.53 $p_1 < 0.5$ $p_2 > 0.5$	3.25 $p_1 < 0.05$ $p_2 > 0.5$	3.75 $p_1 < 0.1$ $p_2 < 0.05$	3.8 $p_1 < 0.05$ $p_2 > 0.1$

Примечание:  $p_1$ —достоверность по отношению к графе 1;  $p_2$ —достоверность по отношению к графе 2; л. к.—линолевая кислота; а. к.—арахидоновая кислота.

Эти данные совпадают с результатами исследований Ньюхауза и Локеша (10, 11), которые также считают, что, например, свободная арахидоновая кислота является плохим субстратом для переоксисления. Возможно, что это связано с тем, что НЖК связываются с альбумином и предохраняются тем самым от окисления. Для того, чтобы выяснить, насколько ПОЛ зависит от состояния структурированности НЖК, была проведена серия экспериментов с преинкубированием НЖК в течение 60 мин в среде, содержащей КоА,  $Mg^{2+}$  и АТФ (табл. 2), т. е. в системе, способствующей активированию ацилтрансферазной реакции, приводящей к встраиванию экзогенных НЖК в состав фосфолипидов. Результаты этой серии оказались весьма интересными. Уже инкубация и микросом, и митохондрий в вышеуказанной среде увеличила уровень МДА почти в 2 раза по сравнению с инкубацией в трис-буфере. Добавление НЖК несколько потенцировало этот эффект, причем меньшие дозы делали это эффективнее. Здесь также более отчетливым было действие линолевой кислоты.

Таким образом, получены предварительные данные, указывающие на большую подверженность переоксислению НЖК, находящихся в

Таблица 2

Уровень МДА (в нм/мг белка) при предварительной инкубации в течение 1ч митохондрий и микросом с НЖК в среде, способствующей встраиванию НЖК в фосфолипиды

0	1	2	3	4	5	6	7	8
	Среда 1	Среда 2	Среда 1 + л. к. $10^{-4}$ М	Среда 1 + а. к. $10^{-4}$ М	Среда 2 + л. к. $10^{-6}$ М	Среда 2 + л. к. $10^{-4}$ М	Среда 2 + а. к. $10^{-4}$ М	Среда 2 + а. к. $10^{-4}$ М
Митохондрии	6.95	13.19 $p_1 < 0.001$	5.52 $p_1 > 0.5$	4.52 $p_1 > 0.5$	14.43 $p_1 < 0.001$ $0.5 > p_2 > 0.5$	8.57 $p_1 < 0.05$ $p_2 < 0.005$	13.77 $p_1 < 0.001$ $p_2 > 0.5$	11.79 $p_1 < 0.05$ $p_2 > 0.5$
Микросомы	8.13	12.1 $p_1 < 0.005$	9.63 $p_1 > 0.1$	10.83 $p_1 < 0.01$	13.68 $p_1 < 0.005$ $0.1 < p_2 < 0.5$	11.05 $p_1 < 0.05$ $p_2 > 0.5$	12.87 $p_1 < 0.05$ $p_2 > 0.5$	10.69 $p_1 < 0.1$ $p_2 > 0.5$

Примечание:  $p_1$ —достоверность по отношению к графе 1;  $p_2$ —достоверность по отношению к графе 2; среда 1—трис-НСI буфер; среда 2—содержит КоА,  $Mg^{+2}$  и АТФ

составе фосфолипидов мембран, по сравнению с их свободными аналогами. В литературе известны работы, подтверждающие эти результаты. Так, показано, что в саркоплазматическом ретикулуле КоА-производное пальмитиновой и олеиновой кислот резко усиливают ПОЛ, в то время как свободные НЖК оказывали ингибирующий эффект. По мнению этих авторов, эффект КоА-производных обусловлен их детергентноподобным действием и связыванием их с мембранами, в результате изменяются физико-химические свойства последних, что делает их более подверженными пероксидации (12).

Кроме этого объяснения, однако, вполне возможно, что само образование более ненасыщенных фосфолипидов может ускорить ПОЛ, так как согласно (13) «разжижение» структуры мембран этими фосфолипидами является фактором, способствующим переокислению. Не исключена также пространственная разобщенность свободных НЖК и индукторов ПОЛ, которые, иницируя переокисление в гидрофобной зоне мембраны, образуют гидроперекисные радикалы, не способные диффундировать в цитоплазму, и процесс окисления продолжается лишь в структурированных фосфолипидах мембран.

Ереванский медицинский институт  
МЗ Армянской ССР

Ա. Լ. ՇԱԶՅԱՆ, Ս. Լ. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Հայկական ՍՍՀ ԳԱ քղրակից անդամ  
Վ. Կ. ՄԻԹԱՐՅԱՆ

### Չճագեցած ճարպաթթուներ և գերօքսիդացման պրոցեսը առնետների լյարդում

Յուլց է տրված լինուլաթթվի և արախիդոնաթթվի արգելակիչ ազդեցութեանը, կախված նրանց քանակից միկրոսոմներում, միտոքոնդրիումներում, ինչպես նաև լյարդի հոմոգենատում լիպիդային գերօքսիդացման պրոցեսի վրա:

Նրանց միածամանակյա ինկուբացիան գերօքսիդացման պրոցես խթանիչների հետ, ինչպես նաև ճարպաթթուների ու ենթաբջջային ֆրակցիայի նախինկուբացիան 15-րոպեի ընթացքում  $\text{HSCoA}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  և  $\text{ATP}$  առկայության պայմանում նպաստում է գերօքսիդացմանը:

Քննարկվում է ազատ և կախված ճարպաթթուների դերը լիպիդային գերօքսիդացման պրոցեսում:

### ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- 1 С. Л. Мкртчян, К. А. Алексанян, Э. А. Ариратян, В. Г. Мхитарян, Журн. эксперим. и клинич. медицины, т. 27, № 1, с. 17—21 (1987) 2 А. Л. Шалджян, С. Л. Мкртчян, Тезисы докл. IV Респ. мол. конф. по физико-химической биологии, Севан, 15—18 января, 1987 3 В. Г. Мхитарян, М. А. Никогосян, Изв. АН АрмССР. Сер. хим. науки, т. 19, № 3, с. 214—219 (1966) 4 К. Hong Tan, D. V. Meyer, J. Bellin e. a. Biochem. J. v. 220, p. 243—252 (1984) 5 A. Sevanian, S. F. Muakkasah-Kaly, S. Montestaque, Arch. Biochem. Biophys, v. 223, № 2, p. 441—452 (1983) 6 W. C. Schnelder e. a., Biol. Chem., v. 176, p. 259 (1948) 7 И. А. Карузина, А. И. Арчаков, в кн.: Современные методы в биохимии, М., 1977. 8 И. Д. Стальная, Г. Г. Гаришвили, в кн.: Современные методы в биохимии, М., 1977. 9 Е. В. Гублер, Вычислительные методы анализа и распознавания патологических процессов, Л., 1978. 10 W. G. Niehaus, B. Samuelsson, Eur. J. Biochem., v. 6, p. 126—130 (1968) 11 B. R. Lokesh, S. N. Nathur, A. A. Spector, Fed. Proc. v. 39, 1727A. (1980) 12 J. Tong Mak, J. H. Krammer, W. B. Weglicki, I. Biol. Chem., v. 261, № 3, p. 1153—1157 (1983) 13 Е. В. Бурлакова, Н. Г. Храпова, Успехи химии, т. 14, № 9, с. 1540 (1985).