

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

LXXXV, № 4

1987

Խմբագրական կոլեգիա

Գ. Ա. ԱՐՋՈՒՄԱՆՅԱՆ, տեխ. գիտ. բեկնածու (պատ. ֆաբրուար), Է. Գ. ԱՅՐԻԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Թ. ԲԱՐԱՅՍՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Հ. ԳԱՐՐԻՆՆՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րդր. առդամ, Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագրի տեղակալ), Վ. Գ. ՄԻՒԹԱՐՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րդր. առդամ, Գ. Ս. ՍԱՀԱԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Օ. Մ. ՍԱԳՈՆՋՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րդր. առդամ, Դ. Մ. ՍԵՂՈՒԿՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ րդր. առդամ (պատ. խմբագիր), Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ, ՀՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս, Վ. Բ. ՅԱՆԱՐՋՅԱՆ, 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, академик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН, академик АН АрмССР (зам. отв. редактора), В. Г. МХИТАРЯН, чл.-корр. АН АрмССР, Г. С. СААКЯН, академик АН АрмССР, О. М. САПОНДЖЯН, чл.-корр. 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, академик АН АрмССР.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՏՆՍՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Վ. Սուխոտերին—Ծորագծով ամրակցված ուղղանկյունաձև սալի ծռման ուսումնասիրության մի եղանակի մասին 147

ՄԵԽԱՆԻԿԱ

Ս. Գ. Սահակյան—Որոշ շառավղային անհամասեռ իզոտրոպ առաձգական միջավայրերի շարժման անկախ սկալյար հավասարումները 152

ԷԼԵԿՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱ

Գ. Լ. Արեշյան—Գերհաղորդիչ գրգռման փաթույթներով գծային սինխրոն շարժիչի կայունացումը փոքր կողային շեղումների դեպքում 157

ՖԻԶԻԿԱ

Հ. Կ. Ավետիսյան, Ա. Կ. Ավետիսյան, Կ. Զ. Հաջագործյան, Խ. Վ. Սեդրակյան—Կանաչադեղին մասնիկների հարկադրական էներգափոխանակությունը լայնական էլեկտրամագնիսական ալիքի հետ 164

ԱԳՐՈՔԻՄԻԱ

Ա. Շ. Գալստյան | Ս. Ա. Աբրահամյան, Ս. Մ. Արաֆսյան—Կատալազայի գործունեության կինետիկան մելիորացված աղուտ-ալկալի հողերում 168

ԲԻՈՔԻՄԻԱ

Թ. Ա. Ջաֆարյան, Ս. Հ. Բազրազյան—Р-էլեմենտի տեղափոխությունը մկների ոսկրածուծի բջիջների և *Drosophila hydei* սաղմնային բջիջների մեջ 172

ՄՈԼԵԿՈՒԼՅԱՐ ԿԵՆՍԱՐԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Ա. Գ. Գաբրիելյան, Հ. Հ. Առաֆելյան, Թ. Ա. Ջաֆարյան—Դնթ-ն կայունացնող Դնթ-կապող մեմբրանային սպիտակուց 177

ՄՈՐՖՈԼՈԳԻԱ

Լ. Ն. Մկրտչյան, Բ. Ա. Եզդանյան, Կ. Թ. Մանվելյան, Զ. Մ. Դալլաֆյան—Առնետների փոխպատրաստվող օստեոգեն սարկոմայի բջիջների ուլտրաստրուկտուր բնութագրման շուրջ 180

ԲԺՇԿԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Վ. Տ. Իվաշկին, Հ. Ա. Մինասյան, Ս. Գ. Ազեևա, Տ. Լ. Կոնիչևա, Վ. Մ. Հարությունյան—Աղենուինի, գուանիլ նուկլեոտիդների, 3-ադրենոկոնցեպտորների ազոնիստների և H_2 -հիստամինաոնցեպտորների անտագոնիստների ազդեցությունն առնիտի ստամոքսի պարիետալ բջիջների հիստամինազգայուն աղենիլատցիկլազայի վրա 184

ՖԻԶԻՈԼՈԳԻԱ

Թ. Ա. Հաբուրյունյան—Հիստամինի ծայրամասային և կենտրոնական ներարկման ազդեցությունը օրգանիզմի «կորիդի» ջերմության համեուտագի վրա 189

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

- М. В. Сухотерин*—Об одном методе исследования изгиба защемленной по контуру прямоугольной пластины 147

МЕХАНИКА

- С. Г. Саакян*—Независимые скалярные уравнения движения некоторых радиально-неоднородных изотропных упругих сред 152

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

- Г. Л. Арешян*—Устойчивость линейного синхронного двигателя со сверхпроводящими обмотками возбуждения при малых боковых смещениях 157

ФИЗИКА

- Г. К. Аветисян, А. К. Аветисян, К. З. Ацагорцян, Х. В. Седракян*—Индукцированный энергообмен каналированных частиц с поперечной электромагнитной волной 164

АГРОХИМИЯ

- А. Ш. Галстян* | *С. А. Абрамян, С. М. Араксян*—Кинетика действия каталазы в мелиорированных солонцах-солончаках 168

БИОХИМИЯ

- Р. А. Захарян, С. Г. Багразян*—Перенос «Р»-элемента в зародышевые клетки *Drosophila hydei* и клетки костного мозга мышей 172

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

- А. Г. Габриелян, А. Г. Аракелян, Р. А. Захарян*—Мембранный ДНК-связывающий белок—стабилизатор ДНК 177

МОРФОЛОГИЯ

- Л. Н. Мкртчян, Б. А. Езданян, К. Р. Манвелян, Д. М. Даллакян*—К ультраструктурной характеристике клеток перевиваемой остеогенной саркомы крыс 180

МЕДИЦИНА

- В. Т. Ивашкин, Г. А. Минасян, О. Г. Агеева, Т. Л. Коницева, В. М. Арутюнян*—Влияние аденозина, гуаниловых нуклеотидов, агонистов β -адренорецепторов и блокаторов H_2 -гистаминорецепторов на активность гистаминчувствительной аденилатциклазы париетальных клеток желудка крысы 184

ФИЗИОЛОГИЯ

- Р. А. Арутюнян*—Влияние периферического и центрального введения гистамина на температурный гомеостаз органов «ядра» организма 189

C O N T E N T S

THEORY OF ELASTICITY

- M. V. Sukhoterin*—On one method for the analysis of bending of the rectangular plate clamped along the contour 147

MECHANICS

- S. G. Sahakian*—Independent scalar equations of motion for certain radially heterogeneous isotropic elastic media 152

ELECTROMECHANICS

- G. L. Areshian*—Stability of linear synchron engine with superconductive excitation winding at small lateral shifts. 157

PHYSICS

- H. K. Avetissian, A. K. Avetissian, K. Z. Hatsagortsian, Ch. V. Sedrakian*—Induced energy exchange of channeling particles with the transverse electromagnetic wave 164

AGROCHEMISTRY

- A. Sh. Galstian,* *S. A. Abramian, S. M. Arakslan*—Kinetics of action of catalysis in the ameliorated solonetz-solonchaks 168

BIOCHEMISTRY

- R. A. Zakharian, S. G. Bagrasian*—The transfer of „P“-element into the embryonic cells of *Drosophilla* hydel and bone marrow cells of mouse . . . 172

MOLECULAR BIOLOGY

- A. G. Gabriellian, H. H. Arakelian, R. A. Zakharian*—DNA-binding protein from membranes as a DNA-stabilizator 177

MORPHOLOGY

- L. N. Mkrtchian, B. A. Esdanian, K. R. Manvelian, D. M. Dallakian*—Ultrastructural characteristic of intertwined osteogenetic sarcomae cells in rats 180

MEDICINE

- V. T. Ivaschkin, H. A. Minassian, O. G. Ageeva, T. L. Konitcheva, V. M. Harutunian*—The influence of adenosine, guanidine nucleotids, β -adrenoagonists and histamine H_2 -receptor antagonists on the activity of histamine-sensitive adenylatcyclase in the rat gaster parietal cells 184

PHYSIOLOGY

- R. A. Harutunian*—The influence of peripheric and central injection of histamine on homeostas body nuclear temperature 189

Техн. редактор *Азизбекян Л. А.*

Сдано в набор 21.09 1987 г. Подписано к печати 27.11 1987 г. ВФ 08561

Бумага № 2, 70 $\times$ 108 $^{1/16}$. Высокая печать. Печ. лист 3,0. Усл. печ. л. 4.2.

Учетно-изд. л. 3,15. Тираж 460. Заказ 1205 Издат. 7245

Адр. ред.: 375019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24-г., II 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 539.3

ТЕОРИЯ УПРУГОСТИ

М. В. Сухотерия

Об одном методе исследования изгиба защемленной по контуру
 прямоугольной пластины

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Б. Л. Абрамяном 6/IV 1987)

Рассматриваемая задача в (1-4) сводится к решению бесконечных систем для коэффициентов тригонометрических рядов. Из многих работ, посвященных этой проблеме, отметим (5-6). В (5) задача также свелась к бесконечным системам; в (6) использован метод однородных решений.

В настоящей работе задача решена итерационным методом (7) наложения функций $w_1(x, y)$ и $w_2(x, y)$, каждая из которых удовлетворяет части граничных условий. По мере наложения эти функции взаимно компенсируют порождаемые ими невязки в исходных граничных условиях. С ростом числа итераций невязки уменьшаются, и решение стремится к точному.

Рассмотрим краевую задачу

$$\nabla^2 \nabla^2 w(x, y) = -1, \quad (1)$$

$$w = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial x} = 0 \quad \text{при} \quad x = \pm \frac{\gamma}{2}, \quad (2)$$

$$w = 0, \quad \frac{\partial w}{\partial y} = 0 \quad \text{при} \quad y = \pm \frac{1}{2} \quad (3)$$

для прямоугольной пластины $\left(-\frac{\gamma}{2} \leq x \leq \frac{\gamma}{2}, -\frac{1}{2} \leq y \leq \frac{1}{2}\right)$ под действием равномерной нагрузки q . Здесь координаты отнесены к размеру b пластины, прогиб — к величине $\frac{qb^4}{D}$; D — жесткость; $\gamma = \frac{a}{b}$.

Прогиб пластины разыскиваем в следующем виде:

$$w(x, y) = w_0(x, y) + \sum_{n=1,2,\dots} [w_{1n}(x, y) + w_{2n}(x, y)], \quad (4)$$

где

$$w_0(x, y) = -\frac{1}{8} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right) \left(y^2 - \frac{1}{4} \right) \quad (5)$$

есть частное решение уравнения (1), а система бигармонических функций, участвующих в итерационном процессе, представлена рядами

$$w_{1n}(x, y) = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{k^*} (A_{kn} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{kn} x \operatorname{sh} \lambda_k x) \cos \lambda_k y, \quad (6)$$

$$w_{2n}(x, y) = \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{s^*} (C_{sn} \operatorname{ch} \mu_s y + D_{sn} y \operatorname{sh} \mu_s y) \cos \mu_s x, \quad (7)$$

$$\text{в которых } \lambda_k = k\pi, \quad \mu_s = \frac{s\pi}{\gamma}, \quad k^* = \frac{k+1}{2}, \quad s^* = \frac{s+1}{2}. \quad (8)$$

Ряды (6), (7) удовлетворяют первым условиям (3), (2) соответственно.

Основной компонент w_0 порождает невязки по углам поворота на контуре пластины, которые после разложения в ряды Фурье по косинусам

$$\vartheta_{x0} \Big|_{x=\frac{\gamma}{2}} = -\frac{\gamma}{8} \left(y^2 - \frac{1}{4} \right) = -\sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{k^*} a_{k0} \cos \lambda_k y, \quad \text{где } a_{k0} = \frac{\gamma}{\lambda_k^3}, \quad (9)$$

$$\vartheta_{y0} \Big|_{y=\frac{1}{2}} = -\frac{1}{8} \left(x^2 - \frac{\gamma^2}{4} \right) = -\sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{s^*} b_{s0} \cos \mu_s x, \quad \text{где } b_{s0} = \frac{1}{\gamma \mu_s^3}, \quad (10)$$

(при $x = -\frac{\gamma}{2}$, $y = -\frac{1}{2}$ они отличаются знаками) используются для определения коэффициентов A_{k1} , B_{k1} , C_{s1} , D_{s1} рядов (6), (7) при удовлетворении условиям (2), (3) соответственно. Коэффициенты ряда w_{11} примут вид:

$$A_{k1} = -\frac{\gamma a_{k0}}{\lambda_k \gamma + \operatorname{sh} \lambda_k \gamma} \operatorname{sh} \frac{\lambda_k \gamma}{2}, \quad B_{k1} = \frac{2a_{k0}}{\lambda_k \gamma + \operatorname{sh} \lambda_k \gamma} \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}. \quad (11)$$

Для первой итерации невязки на кромках $y = \pm \frac{1}{2}$ от компонентов w_0 и w_{11} складываются $\vartheta_{y1}^* = \vartheta_{y0} + \vartheta_{y1}$ после разложения ϑ_{y1} в ряд Фурье по косинусам и перестановки знаков суммирования:

$$\vartheta_{y1} \Big|_{y=\frac{1}{2}} = \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \lambda_k (A_{k1} \operatorname{ch} \lambda_k x + B_{k1} x \operatorname{sh} \lambda_k x) = -\sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{s^*} b_{s1} \cos \mu_s x, \quad (12)$$

$$\text{где } b_{s1} = -\frac{8}{\gamma} \mu_s \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\lambda_k^2 B_{k1}}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \operatorname{ch} \frac{\lambda_k \gamma}{2}. \quad (13)$$

Компенсируя эти невязки функцией w_{21} , получим

$$C_{s1} = -\frac{b_{s0} + b_{s1}}{\mu_s + \operatorname{sh} \mu_s} \operatorname{sh} \frac{\mu_s}{2}, \quad D_{s1} = 2 \frac{b_{s0} + b_{s1}}{\mu_s + \operatorname{sh} \mu_s} \operatorname{ch} \frac{\mu_s}{2}. \quad (14)$$

Аналогично невязки от w_{21} , в свою очередь, после разложения

$$\vartheta_{x1} \Big|_{x=\frac{\gamma}{2}} = \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \mu_s (C_{s1} \operatorname{ch} \mu_s y + D_{s1} y \operatorname{sh} \mu_s y) = -\sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} (-1)^{k^*} a_{k1} \cos \lambda_k y, \quad (15)$$

$$\text{где } a_{k1} = -8 \lambda_k \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^2 D_{s1}}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} \operatorname{ch} \frac{\mu_s}{2} \quad (16)$$

компенсируются компонентом w_{12} .

И далее описанный выше процесс повторяется. Формулы (11)–(16) при $n=2, 3, \dots$ аналогичны с той лишь разницей, что в формулах (14) вместо суммы $b_{s0} + b_{s1}$ будут фигурировать b_{s2} , b_{s3} и т. д.

Так как невязки (12), (15) должны убывать в ходе итерационного процесса, то условие сходимости метода можно записать так:

$$a_{kn}, b_{sn} \rightarrow 0 \text{ при } n \rightarrow \infty. \quad (17)$$

Согласно формулам, аналогичным (16), (14), (13), (11), при $n \geq 2$ имеем

$$a_{kn} = \frac{64\lambda_k}{\gamma} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^3}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\lambda_m^2 a_{m(n-1)}}{(\lambda_m^2 + \mu_s^2)^2 \eta_m} \quad (k=1, 3, \dots), \quad (18)$$

где

$$\xi_s = \operatorname{th} \frac{\mu_s}{2} + \mu_s / \left(2 \operatorname{ch}^2 \frac{\mu_s}{2} \right), \quad \eta_m = \operatorname{th} \frac{\lambda_m \gamma}{2} + \lambda_m \gamma / \left(2 \operatorname{ch}^2 \frac{\lambda_m \gamma}{2} \right). \quad (19)$$

Здесь коэффициенты предыдущей итерации обозначены через a_m .

Заметим, что коэффициенты b_{sn} вошли в формулу (18), поэтому для сходимости метода достаточно проверить лишь первое условие (17).

Формула (18) показывает, что коэффициенты a_{kn} линейно зависят от совокупности коэффициентов $a_{m(n-1)}$ предыдущей итерации, т. е. имеем бесконечную систему без свободных членов. Из формул (9) и (18) следует, что коэффициенты a_{kn} при $n \geq 1$ имеют порядок $O\left(\frac{1}{\lambda_k^2}\right)$, т. е. $a_{kn} = \frac{\alpha_{kn}}{\lambda_k^2}$, где α_{kn} — некоторая бесконечно малая величина при $k \rightarrow \infty$. Тогда система (18) примет вид:

$$\alpha_{kn} = \frac{64\lambda_k^3}{\gamma} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^3}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\alpha_{m(n-1)}}{(\lambda_m^2 + \mu_s^2)^2 \eta_m} \quad (k=1, 3, \dots), \quad (20)$$

Докажем ее регулярность, из чего будет следовать условие (17).

Ввиду симметрии пластины ось x всегда можно направлять вдоль длинной стороны и рассматривать только случай $\gamma \geq 1$, при этом справедливо неравенство $\eta_m > 1$ ($m=1, 3, \dots$). Используя известный ряд

$$\sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{(\lambda_m^2 + \mu_s^2)^2} = \frac{1}{8\mu_s^3} \left(\operatorname{th} \frac{\mu_s}{2} - \frac{\mu_s}{2 \operatorname{ch}^2(\mu_s/2)} \right) \quad (21)$$

и ему подобный $\sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2}$, получаем оценку для суммы коэффициентов бесконечной системы (20):

$$\begin{aligned} \frac{64\lambda_k^3}{\gamma} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{\mu_s^3}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2 \xi_s} \sum_{m=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{(\lambda_m^2 + \mu_s^2)^2 \eta_m} &< \frac{8\lambda_k^3}{\gamma} \sum_{s=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{(\lambda_k^2 + \mu_s^2)^2} < \\ &< \operatorname{th} \frac{\lambda_k \gamma}{2} - \frac{\lambda_k \gamma}{2 \operatorname{ch}^2(\lambda_k \gamma/2)} < 1 \quad (k=1, 3, \dots). \end{aligned} \quad (22)$$

Следовательно, система (20) регулярна, а это значит, что итерационный процесс сходится к точному решению задачи.

Отметим, что ряды (6), (7) на любом шаге сходятся не хуже, чем ряд $\sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{k*}}{k^3}$, а соответствующие им ряды для моментов

$$M_x, M_y \text{ — не хуже } \sum_{k=1,3,\dots}^{\infty} \frac{(-1)^{k*}}{k^2} \ln k.$$

В качестве примера получены численные результаты для квадратной пластины ($\gamma=1$) с помощью ЭВМ ЕС 1022. Коэффициент Пуассона принят равным 0,3. В рядах удерживалось до 175 членов; число итераций — 13. Процесс сходиллся быстро: коэффициенты a_{kn} и b_{sn} убывали по абсолютной величине примерно как члены геометрической прогрессии $(0,4)^n$.

В табл. 1 приведены значения прогибов пластины, отнесенные к величине $10^5 \frac{qb^4}{D}$, а в табл. 2 — значения изгибающих моментов M_x , отнесенные к $10^3 qb^2$. Эти результаты хорошо согласуются с результатами, полученными в работах (1,3,5,6). Предложенный метод легко реализуется на ЭВМ и позволяет получить результаты с большой точностью; нетрудно распространить его и на случай произвольной поперечной нагрузки.

Таблица 1

y	x				
	0	0,1	0,2	0,3	0,4
0	—126,53	—117,82	—93,009	—56,731	—19,182
0,1	—117,82	—109,75	—86,719	—52,98	—17,957
0,2	—93,009	—86,719	—68,719	—42,184	—14,396
0,3	—56,731	—52,98	—42,184	—26,087	—8,981
0,4	—19,182	—17,957	—14,396	—8,981	—3,088

Таблица 2

y	x					
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0	—22,905	—21,268	—15,720	—4,307	16,381	51,335
0,1	—21,242	—19,756	—14,687	—4,151	15,161	48,223
0,2	—16,285	—15,226	—11,516	—3,496	11,792	39,043
0,3	—8,179	—7,748	—6,055	—1,820	7,255	24,674
0,4	2,671	2,397	1,789	1,596	3,355	7,983
0,5	15,400	14,457	11,713	7,381	2,394	0

Ленинградский институт водного транспорта

У. А. ՍՈՒԽՈՏԵՐԻՆ

Եզրագծով ամրակցված ուղղանկյունաձև սալի ծոման ուսումնասիրության մի եղանակի մասին

Առաջարկվում է եզրագծով ամրակցված ուղղանկյունաձև սալի ծոման լոնդրի լուծման համար խտերացիոն եղանակ:

Զրույական մոտավորությունը սալի ամրակցված կտրվածքներում պր-

տույտ է առաջացնում: Այդ անհամաձայնեցվածությունը աստիճանաբար վերանում է իտերացիոն պրոցեսի իրագործման ընթացքում ըստ երկու կոորդինատների հիպերբոլա-եռանկյունաչափական շարքերով ներկայացված երկու բիհարմոնիկ ֆունկցիաների վերադրման ժամանակ:

Ապացուցվում է եղանակի զուգամիտությունը:

Բերվում է թվային օրինակ քառակուսածն սալի համար:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Л. В. Канторович, В. И. Крылов, Приближенные методы высшего анализа, ГИТТЛ, Л.—М., 1949. ² Б. М. Коялович, Об одном уравнении с частными производными четвертого порядка, СПб, 1902. ³ С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер, Пластинки и оболочки, Наука, М., 1966. ⁴ Н. Hencky, Über die Spannungszustand in rechteckigen Platten, München, 1913. ⁵ В. М. Даревский, И. Л. Шариков, в кн.: Успехи механики деформируемых сред, Наука, М., 1975. ⁶ С. А. Лурье, МТТ, № 1 1982. ⁷ М. В. Сухотерин, Прикл. механика, т. 18, № 5 (1982).

УДК 539.3

МЕХАНИКА

С. Г. Саакян

Независимые скалярные уравнения движения некоторых радиально-неоднородных изотропных упругих сред

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР О. М. Сапонджяном 27/VI 1987)

В работе рассмотрено разложение вектора перемещения в обобщенных потенциалах, допускающее в некоторых случаях разделение векторного уравнения радиально-неоднородной изотропной упругой среды на независимые скалярные дифференциальные уравнения второго порядка. На основании полученных результатов определены свойства некоторых радиально-неоднородных изотропных упругих сред и приводятся независимые скалярные уравнения движения.

Волновые процессы в неоднородной изотропной упругой среде с коэффициентами Ламе λ , μ и массовой плотностью ρ описываются векторным уравнением ⁽¹⁾

$$(\lambda + 2\mu)\text{grad div } \vec{u} - \mu \text{rot rot } \vec{u} + \text{grad } \lambda \cdot \text{div } \vec{u} + \\ + \text{grad } \mu \times \text{rot } \vec{u} + 2\text{grad } \mu \cdot \text{grad } \vec{u} = \rho \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где $\vec{u}$ — вектор перемещения.

Представим осесимметричное решение уравнения (1) в сферических координатах (r, θ, φ) для радиально-неоднородной среды, т. е. при λ, μ, ρ , зависящих только от координаты r , в разложении

$$\vec{u} = \psi_1(r)\text{grad}\Phi_1(r, \theta, t) + \psi_2(r)\text{rot rot}[\Phi_2(r, \theta, t)\vec{e}_r] + \text{rot}[\Phi_3(r, \theta, t)\vec{e}_r], \quad (2)$$

где Φ_1, Φ_2, Φ_3 — обобщенные потенциалы; $\psi_1(r), \psi_2(r)$ — неизвестные функции, зависящие только от r ; $\vec{e}_r$ — орт по оси r .

Разложение (2) подставим в уравнение (1). После некоторых преобразований получим

$$\psi_1 \text{grad}[\psi_1^{-1}\psi_1 L_1(\Phi_1)] + \psi_2 \text{rot rot}[\psi_2^{-1}\psi_2 L_2(\Phi_2)\vec{e}_r] + \\ + \text{rot}[\psi_2 L_3(\Phi_3)\vec{e}_r] + \left[l_{11}\Delta\Phi_1 + l_{12}\frac{\partial\Phi_1}{\partial r} + l_{13}\Phi_1 - l_{14}\frac{\partial^2\Phi_1}{\partial t^2} \right] \vec{e}_r + \\ + \vec{e}_r \times \text{rot} \left\{ \left[l_{21}\Delta\Phi_2 + l_{22}\frac{\partial\Phi_2}{\partial r} + l_{23}\Phi_2 - l_{24}\frac{\partial^2\Phi_2}{\partial t^2} \right] \vec{e}_r \right\} = \vec{0}. \quad (3)$$

В (3) приняты обозначения:

$$L_1(\Phi_1) \equiv \Delta \Phi_1 + \gamma^{-1} [(\gamma + 1)p_1 + 2p_\mu] \frac{\partial \Phi_1}{\partial r} + \gamma^{-1} \left(p_1' + p_1^2 + p_1 p_\mu - \frac{2p_\mu}{r} \right) \Phi_1 - \\ - v_1^{-2} \frac{\partial^2 \Phi_1}{\partial t^2}; \quad (4)$$

$$L_2(\Phi_2) \equiv \Delta \Phi_2 + \left[(\gamma + 1)p_2 + 2p_\mu - \frac{2}{r} \right] \frac{\partial \Phi_2}{\partial r} + \left[(\gamma p_2)' + \gamma p_2 p_\mu + \gamma p_2^2 - \right. \\ \left. - \frac{2}{r} (\gamma p_2 + 2p_\mu) \right] \Phi_2 - v_2^{-2} \frac{\partial^2 \Phi_2}{\partial t^2}; \quad (5)$$

$$L_3(\Phi_3) \equiv \Delta \Phi_3 + \left(p_\mu - \frac{2}{r} \right) \frac{\partial \Phi_3}{\partial r} - \frac{2p_\mu}{r} \Phi_3 - v_2^{-2} \frac{\partial^2 \Phi_3}{\partial t^2}; \quad (6)$$

$$p_1 = \psi_1' / \psi_1, \quad p_2 = \psi_2' / \psi_2, \quad p_\mu = \mu' / \mu, \quad p_\rho = \rho' / \rho, \quad v_1^2 = (\lambda + 2\mu) / \rho, \quad v_2^2 = \mu / \rho, \quad \gamma = \frac{v_1^2}{v_2^2}; \quad (7)$$

$$l_{11} \equiv \xi \varphi_1' \varphi_1^{-1} \psi_1 - \mu \psi_1' - 2\mu' \psi_1; \quad l_{21} \equiv \mu \varphi_2' \varphi_2^{-1} \psi_2 - \xi \psi_2' - 2\mu' \psi_2;$$

$$l_{12} \equiv \xi \varphi_1' \varphi_1^{-1} \psi_1 \gamma^{-1} [(\gamma + 1)p_1 + 2p_\mu] - 2(\mu \psi_1')' - 2\mu' \psi_1' + \frac{2}{r} (\mu \psi_1' - \mu' \psi_1) - 2\mu'' \psi_1;$$

$$l_{22} \equiv \mu \varphi_2' \varphi_2^{-1} \psi_2 \left[(\gamma + 1)p_2 + 2p_\mu - \frac{2}{r} \right] - 2(\xi' \psi_2 + \xi \psi_2' + \mu'' \psi_2 + \mu' \psi_2') + \\ + \frac{4}{r} (\xi \psi_2' + \mu' \psi_2) + \frac{2}{r} \mu' \psi_2;$$

$$l_{13} \equiv \xi \varphi_1' \varphi_1^{-1} \psi_1 \gamma^{-1} \left(p_1' + p_1^2 + p_1 p_\mu - \frac{2}{r} p_\mu \right) - (\mu \psi_1'')' + \frac{2}{r} (\mu'' \psi_1 + 2\mu' \psi_1') - \frac{2}{r^2} \mu' \psi_1;$$

$$l_{23} \equiv \mu \varphi_2' \varphi_2^{-1} \psi_2 \left[(\gamma p_2)' + \gamma p_2 p_\mu + \gamma p_2^2 - \frac{2}{r} (\gamma p_2 + 2p_\mu) \right] - (\xi \psi_2'')' + \\ + \frac{2}{r} (\xi' \psi_2 + \xi \psi_2' + 2\mu'' \psi_2 + 2\mu' \psi_2') - \frac{2}{r^2} (\xi \psi_2' + 2\mu' \psi_2);$$

$$l_{14} \equiv \rho \varphi_1' \varphi_1^{-1} \psi_1 - (\rho \psi_1)'; \quad l_{24} \equiv \rho \varphi_2' \varphi_2^{-1} \psi_2 - (\rho \varphi_2)';$$

$$\Delta \equiv \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} r^2 \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \sin \theta \frac{\partial}{\partial \theta}; \quad \xi = \lambda + 2\mu.$$

Неизвестные функции $\varphi_i(r)$, $\psi_i(r)$ определим из условий

$$l_{ij} = 0, \quad i = 1, 2; \quad j = 1, 2, 3, 4, \quad (8)$$

при выполнении которых правая часть уравнения (3) является суммой линейно независимых векторов. Поэтому уравнение (3) разделяется на независимые уравнения для потенциалов Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 :

$$\text{grad}[\varphi_1^{-1} \psi_1 \xi L_1(\Phi_1)] = \vec{0}; \quad \text{rot rot}[\varphi_2^{-1} \psi_2 \mu L_2(\Phi_2) \vec{e}_r] = \vec{0}$$

$$\text{rot}[\mu L_3(\Phi_3) \vec{e}_r] = \vec{0}.$$

Выражения $L_i(\Phi_i)$, $i = 1, 2, 3$, являются некоторыми функциями от координаты r и времени t , т. е.

$$L_i(\Phi_i) = f_i(r, t). \quad (9)$$

Легко показать, что простой заменой потенциала Φ_i всегда можно правую часть (9) приравнять нулю. Не вводя новые обозначения, предположим, что потенциал Φ_i удовлетворяет этому условию. Тогда для радиально-неоднородной изотропной упругой среды имеем независимые скалярные уравнения движения

$$L_i(\Phi_i) = 0, \quad i = 1, 2, 3. \quad (10)$$

Условия разделения (8) векторного уравнения движения на независимые скалярные уравнения (10) эквивалентны системе уравнений

$$q_i = p_i + p_0; \quad q_i = \dot{\psi}_i / \dot{\psi}_0, \quad i = 1, 2; \quad (11)$$

$$p_1 + p_2 + p_0 = 0; \quad \mu p_1 + \xi p_2 + 2\mu' = 0; \quad (12)$$

$$(\mu p_1)' + \mu p_1^2 - \frac{1}{r} \mu p_1 = (\xi p_2)' + \xi p_2^2 - \frac{1}{r} \xi p_2 \equiv K; \quad (13)$$

$$K' + \left(\frac{3}{r} - p_0 \right) K + \frac{1}{r} (\xi + 2\mu) p_1 p_2 = 0. \quad (14)$$

Система уравнений (11)–(13) неопределенная, и ее можно решить при дополнительных условиях относительно функций $\varphi_i(r)$; $\psi_i(r)$ и свойств среды ρ , μ , ν .

1. Предположим, что

$$\psi_i = r \varphi_i, \quad \text{т. е.} \quad q_i = p_0 + p_i, \quad i = 1, 2.$$

Тогда уравнения (11) превращаются в тождество. Параметры p_1 , p_2 , p_0 , μ и ξ определяют из системы уравнений (12)–(14). Для этой системы можно получить решение в виде:

$$p_1 = \frac{A}{r}, \quad p_2 = \frac{B}{r}, \quad p_0 = \frac{C}{r}, \quad \mu = Dr^2, \quad \xi = Er^2, \quad (15)$$

где A , B , C , D , E , α — постоянные.

После подстановки (15) в (12)–(14) получим алгебраическую систему уравнений:

$$A + B + C = 0; \quad AD + BE + 2\alpha D = 0.$$

$$BE(B + \alpha - 2) = AD(A + \alpha - 2);$$

$$B[E(B + \alpha - 2)(\alpha + 1 - C) + (E + 2D)A] = 0,$$

которая при произвольных положительных D и E имеет решения:

$$\text{а) } A = 4; \quad B = 0; \quad C = -4; \quad \alpha = -2,$$

$$\text{б) } A = 0; \quad B = -4/(\gamma - 2); \quad C = 4/(\gamma - 2); \quad \alpha = 2\gamma/(\gamma - 2).$$

В случае а) по формулам (7) имеем $\psi_1 = \left(\frac{r}{r_0}\right)^4$, $\psi_2 = 1$, $\rho = \rho_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-4}$, $\mu = \mu_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^2$, $\xi = \gamma \mu$, где r_0 — характерный радиус; ρ_0 , ν_0 , μ_0 — плотность и параметры Ламе при $r = r_0$.

Вектор перемещения определяется по (2) разложением $\vec{u} = R^4 \text{grad} \Phi_1 + \text{rot rot}(\Phi_2 \vec{e}_r) + \text{rot}(\Phi_3 \vec{e}_r)$, а независимые скалярные уравнения движения (10) принимают вид:

$$L_1(\Phi_1^*) = \Delta\Phi_1^* + \frac{4}{R} \frac{\partial\Phi_1^*}{\partial R} + \frac{8}{\gamma R^2} \Phi_1^* - \frac{1}{\gamma R^2} \frac{\partial^2\Phi_1^*}{\partial \tau^2} = 0;$$

$$L_2(\Phi_2^*) = \Delta\Phi_2^* - \frac{6}{R} \frac{\partial\Phi_2^*}{\partial R} + \frac{8}{R^2} \Phi_2^* - \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2\Phi_2^*}{\partial \tau^2} = 0;$$

$$L_3(\Phi_3^*) = \Delta\Phi_3^* - \frac{4}{R} \frac{\partial\Phi_3^*}{\partial R} + \frac{4}{R^2} \Phi_3^* - \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2\Phi_3^*}{\partial \tau^2} = 0,$$

$$\text{где } \Phi_i^* = \Phi_i/r_0^2; \quad R = \frac{r}{r_0}; \quad \tau = \sqrt{\mu_0/\rho_0} \frac{t}{r_0}.$$

В случае б) имеем

$$\psi_1 = 1; \quad \psi_2 = \left(\frac{r}{r_0}\right)^{-\frac{4}{\gamma-2}}, \quad \psi = \psi_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\frac{4}{\gamma-2}}; \quad \mu = \mu_0 \left(\frac{r}{r_0}\right)^{\frac{2\gamma}{\gamma-2}}; \quad \gamma = \gamma_0 \mu.$$

При этом вектор перемещения (2) и независимые скалярные уравнения (10) получим в виде:

$$\vec{u} = \text{grad}\Phi_1 + R^{-\frac{4}{\gamma-2}} \text{rot rot}(\Phi_2 \vec{e}_r) + \text{rot}(\Phi_3 \vec{e}_r);$$

$$L_1(\Phi_1^*) = \Delta\Phi_1^* + \frac{4}{\gamma-2} \frac{1}{R} \frac{\partial\Phi_1^*}{\partial R} - \frac{4}{\gamma-2} \frac{1}{R^2} \Phi_1^* - \frac{1}{\gamma R^2} \frac{\partial^2\Phi_1^*}{\partial \tau^2} = 0;$$

$$L_2(\Phi_2^*) = \Delta\Phi_2^* - \frac{2\gamma}{\gamma-2} \frac{1}{R} \frac{\partial\Phi_2^*}{\partial R} - \frac{4\gamma}{\gamma-2} \frac{1}{R^2} \Phi_2^* - \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2\Phi_2^*}{\partial \tau^2} = 0;$$

$$L_3(\Phi_3^*) = \Delta\Phi_3^* + \frac{4}{\gamma-2} \frac{1}{R} \frac{\partial\Phi_3^*}{\partial R} - \frac{\gamma}{\gamma-2} \frac{1}{R^2} \Phi_3^* - \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2\Phi_3^*}{\partial \tau^2} = 0.$$

II. Известное разложение вектора перемещения для однородной изотропной упругой среды в сферических координатах (2) $\vec{u} = \text{grad}\Psi_1 + \text{rot rot}(r\Psi_2 \vec{e}_r) + \text{rot}(r\Psi_3 \vec{e}_r)$ является частным случаем разложения (2). В этом случае условия разделения (11)–(14) удовлетворяются, а уравнения движения (10) переходят к известным уравнениям при $\Phi_1 = \Psi_1$, $\Phi_i = r\Psi_i$; $i = 2, 3$.

Разделение векторного уравнения на скалярные независимые уравнения имеет место и при следующем разложении перемещения:

$$\vec{u} = \psi_1 \text{grad}(f_1 \Phi_1) + \psi_2 \text{rot rot}(f_2 \Phi_2 \vec{e}_r) + \text{rot}(\Phi_3 \vec{e}_r),$$

где ψ_i , f_i — произвольные функции от r . При разложении получим опять условия разделения (11)–(14), которые не зависят от функций f_1 и f_2 . Функции f_1 , f_2 и их производные участвуют только в независимых скалярных уравнениях для потенциалов Φ_1 , Φ_2 , Φ_3 . Поэтому разложение в виде (3)

$$\vec{u} = \frac{1}{f_1} \text{grad}(f_1 \Phi_1) + \frac{1}{f_2} \text{rot rot}(f_2 \Phi_2 \vec{e}_r) + \text{rot}(\Phi_3 \vec{e}_r)$$

для разделения векторного уравнения слоисто-неоднородной упругой среды в сферических координатах является частным случаем разложения (2).

Որոշ շառավղային անհամասեռ իզոտրոպ առաձգական միջավայրերի շարժման անկախ սկալյար հավասարումները

Աշխատանքում դիտարկվում է տեղափոխության վեկտորի վերլուծությունը ընդհանրացված պոտենցիալներով, որը թույլ է տալիս որոշ շառավղային անհամասեռ իզոտրոպ առաձգական միջավայրի շարժման վեկտորային հավասարումը տրոհել անկախ սկալյար երկրորդ կարգի գծային դիֆերենցիալ հավասարումների: Ստացված են այն պայմանները, որոնց պետք է բավարարի անհամասեռ առաձգական միջավայրի բնութագրող պարամետրերը, որպեսզի վերը նշված տրոհումը տեղի ունենա:

Ցույց է տրված, որ անհամասեռ առաձգական միջավայրի համար, որի խտությունը և կամեի գործակիցները կախված են շառավղից, աստիճանային օրենքով տրոհումը տեղի ունի և ստացված են շարժման անկախ սկալյար հավասարումները:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ F. C. Karal, J. B. Keller, The Journal of the Acoustical Society of America, v. 31, p. 694—705 (1959). ² Ф. М. Морс, Г. Фемблах, Методы теоретической физики. Т. 2. ИЛ, М., 1960. ³ S. J. Singh, A. Ben-Menahem, The Journal of the Acoustical Society of America, v. 46, p. 655—660 (1969).

УДК 621.313.323

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Член-корреспондент АН Армянской ССР Г. Л. Арешян

Устойчивость линейного синхронного двигателя со
 сверхпроводящими обмотками возбуждения при малых
 боковых смещениях

(Представлено 10/IV 1987)

Рассмотрена задача определения областей устойчивости при боковой стабилизации линейного синхронного двигателя без ферромагнитного магнитопровода, с двумя трехфазными статорными обмотками на путевом (левая S1, правая S2), включенными по нуль-схеме, и со сверхпроводящими обмотками возбуждения, расположенными на левом R1 и правом R2 бортах мотор-вагона высокоскоростного наземного транспорта (¹). Задача решается для квазистационарных электромагнитных процессов: без учета краевых эффектов (обусловленных конечной длиной систем возбуждения R1 и R2 на мотор-вагоне); без учета высших пространственных и временных гармоник магнитодвижущих сил.

Исходной является нижеследующая система уравнений в комплексной плоскости Горева—Парка для электрических контуров длиной 2τ, которые на участках этой же длины включены по нуль-схеме

$$\begin{aligned} \dot{u} &= (r_c + jX_c)\dot{I}_k + j\omega\psi_{ik}; \quad X_c = \omega L_c; \\ \psi_{RK} &= M_k i_{RK}; \quad i_{RK} = I_f - \frac{3}{2} \frac{M_k}{L_R} I_{dk}; \\ \dot{I}_k &= I_{dk} + jI_{qk}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $k=1, 2$ соответственно для левой (S1—R1) и правой (S2—R2) электромагнитно взаимодействующих систем обмоток. Ток запитки I_f принят одинаковым для всех обмоток возбуждения.

Амплитуды коэффициентов взаимоиндуктивностей заданы выражениями:

$$M_1 = M_0 \exp[-\alpha(a_p - \delta)]; \quad M_2 = M_0 \exp[-\alpha(a_p + \delta)], \quad (2)$$

где δ —боковое смещение продольной оси мотор-вагона относительно центральной продольной оси путевода; $a_p = a - b$ —расчетная полуширина ($2a$ —ширина путевода, $2b$ —ширина мотор-вагона, определяемые расстояниями между плоскостями, в которых расположены обмотки S1 S2 и R1 R2).

Линейная скорость мотор-вагона v определяет круговую частоту в (1)

$$\omega = \pi \frac{v}{2\tau}, \quad (3)$$

где τ — полюсное деление.

При определении механических и электромагнитных сил, действующих на мотор-вагон, принята следующая координатная система, жестко связанная с путеводом: положительная ось OX совпадает с центральной продольной осью путевода и направлена в сторону аксиального движения мотор-вагона; положительная ось OY перпендикулярна центральной продольной оси путевода и направлена в сторону левой системы статорных обмоток $S1$ (таким образом, плоскость OXY совпадает с плоскостью путевода); положительная ось OZ направлена перпендикулярно этой плоскости. В соответствии с постановкой задачи движение центра масс мотор-вагона вдоль оси OZ не рассматривается и считается, что Z -овая координата центра масс мотор-вагона остается неизменной.

Дифференцируя энергию взаимодействия для систем $S1-R1$ и $S2-R2$ длиной 2τ соответственно по координатам X и Y , получаем следующие выражения для электромагнитных сил: тяговые силы (по оси X)

$$T_1 = \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} M_1 i_{R1} I_{q1}; \quad T_2 = \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} M_2 i_{R2} I_{q2}; \quad (4)$$

боковые силы (по оси Y)

$$F_1 = \frac{3}{2} \alpha M_1 i_{R1} I_{d1}; \quad F_2 = -\frac{3}{2} \alpha M_2 i_{R2} I_{d2}. \quad (5)$$

Результирующие силы, действующие на мотор-вагон:

$$T_R = T_1 + T_2; \quad F_R = F_1 + F_2. \quad (6)$$

В случае движения мотор-вагона без бокового смещения ($\lambda=0$), ввиду геометрической и электромагнитной симметрии систем $S1-R1$ и $S2-R2$, соответствующие переменные в (1) и (2) становятся равными друг другу:

$$I = I_1 = I_2; \quad I_d = I_{d1} = I_{d2}; \quad I_q = I_{q1} = I_{q2}; \quad (7)$$

$$\psi_R = \psi_{R1} = \psi_{R2}; \quad i_R = i_{R1} = i_{R2}; \quad M = M_1(0) = M_2(0).$$

Тяговые и боковые силы в (4) и (5) при $\lambda=0$ равны

$$T = T_1(0) = T_2(0) = \frac{3}{2} \frac{\pi}{\tau} M i I_q; \quad (8)$$

$$F = F_1(0) = -F_2(0) = \frac{3}{2} \alpha M i_R I_d.$$

И в соответствии с (6) для такого движения имеем

$$T_R(0) = 2T; \quad F_R(0) = 0. \quad (9)$$

Движение линейного двигателя при отсутствии бокового смещения

будем называть невозмущенным движением. При невозмущенном движении система (1) примет вид (см. уравнения (7))

$$\dot{u} = (r_c + jX_c)(I_d + jI_q) + j\omega\psi_R; \quad \psi_R = M \cdot i_R; \quad (10)$$

$$i_R = I_f - \frac{3}{2} \frac{M}{L_R} I_d$$

Как следует из уравнений (10), если заданы I_d и I_q , то однозначно определяются $\dot{u}$, i_R и ψ_R и с учетом (8) вычисляются тяговое T и боковое F усилия. Системы (8) и (10) допускают и другую возможность, а именно, задавать величины и знаки T и F и определять все остальные переменные: $\dot{u}$, I_d , I_q , i_R и ψ_R . При этом остается еще один свободный параметр линейного двигателя — величина первоначального тока запитки сверхпроводящих обмоток возбуждения I_f . Такой выбор того или иного режима работы линейного двигателя при невозмущенном движении будем называть „настройкой“ режима работы. Из всего множества различных режимов настройки необходимо выбрать такие, которые при возмущении (малое боковое смещение $\delta \neq 0$) обеспечивают устойчивость движения мотор-вагона.

Условие боковой устойчивости имеет вид:

$$\begin{aligned} dF_R < 0 & \text{ при } \delta > 0; \\ dF_R > 0 & \text{ при } \delta < 0. \end{aligned} \quad (11)$$

Физически условие (11) гарантирует, что при смещении мотор-вагона в сторону системы S1 (левая сторона путевода), т. е. при $\delta > 0$, возникающее результирующее боковое усилие будет стремиться оттолкнуть мотор-вагон от левого борта путевода (так как усилие направлено вдоль отрицательной оси ОУ), а при $\delta < 0$, т. е. при смещении мотор-вагона в сторону правого борта путевода, возникающее результирующее усилие будет направлено вдоль положительной оси ОУ, т. е. отталкивать мотор-вагон от правого борта путевода. Эффективность боковой стабилизации будет зависеть от величины коэффициента стабилизации, равного

$$K_c = - \frac{dF_R}{\delta}, \quad (12)$$

где в области устойчивости $K_c > 0$ и представляет силу отталкивания при смещении мотор-вагона на единицу длины.

Таким образом, при $K_c > 0$ обеспечивается боковая стабилизация, и эта стабилизация тем «жестче», чем больше величина K_c . При $K_c \leq 0$ боковая стабилизация отсутствует и система относительно малых боковых смещений является неустойчивой.

Анализ устойчивости и определения области устойчивости в зависимости от параметров проведены на основе системы уравнений, в которых переменные представлены в приращениях (с точностью до малых второго порядка) в окрестности точки $\delta = 0$ (невозмущенное движение).

Уравнения в приращениях получены из уравнений (1) ÷ (6) с учетом уравнений невозмущенного движения и имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}x_1 - a_{12}x_2 &= A_1; & a_{11}y_1 - a_{12}y_2 &= 0; \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 &= A_2; & a_{21}y_1 + a_{22}y_2 &= -B\bar{\delta}; \\ x_3 &= -k_f x_1; & y_3 &= -k_f y_1 - k_f \bar{\delta}; \\ x_4 &= x_3; & y_4 &= y_3 + \bar{\delta}; \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Приращения результирующих сил имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} dT_k &= 2T(x_2 + x_3) = 3 \frac{\pi}{\tau} M i_f I_q (x_2 + x_3); \\ dF_k &= 2F(y_1 + y_3 + \bar{\delta}) = 3x M i_R I_d (y_1 + y_3 + \bar{\delta}) \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

где

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= \operatorname{Re}\left(\frac{d\dot{u}}{u_0}\right); & A_2 &= \operatorname{Im}\left(\frac{d\dot{u}}{u_0}\right); & B &= (1 - k_f) \frac{\omega \psi_R}{u_0}; \\ a_{11} &= \frac{r_c I_d}{u_0}; & a_{12} &= \frac{x_c I_q}{\dot{u}_0}; & a_{21} &= \frac{x_c I_d}{u_0} - k_f \frac{\omega \psi_R}{u_0}; \\ a_{22} &= \frac{r_c I_q}{u_0}; & k_f &= \frac{I_f - i_R}{i_R}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

u_0 — амплитуда базового напряжения; $\bar{\delta} = x\delta$ — боковое смещение в относительных единицах.

Величины I_d , I_q , i_R , ψ_R в (14) и (15) соответствуют режиму настройки в невозмущенном движении.

Реальная $\operatorname{Re}(d\dot{u})$ и мнимая $\operatorname{Im}(d\dot{u})$ части приращения комплекса напряжения $d\dot{u}$ принимаются за независимые величины, которые формируются системой управления при возникновении бокового смещения.

Через x_i и y_i в (13) и (14) обозначены:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{dI_{d1} + dI_{d2}}{2I_d}; & x_2 &= \frac{dI_{q1} + dI_{q2}}{2I_q}; & x_3 &= \frac{di_{R1} + di_{R2}}{i_R}; \\ x_4 &= \frac{d\psi_{R1} + d\psi_{R2}}{2\psi_R}; & y_1 &= \frac{dI_{d1} - dI_{d2}}{2I_d}; & y_2 &= \frac{dI_{q1} - dI_{q2}}{2I_q}; \\ y_3 &= \frac{di_{R1} - di_{R2}}{2i_R}; & y_4 &= \frac{d\psi_{R1} - d\psi_{R2}}{2\psi_R}. \end{aligned} \right\} \quad (16)$$

При выводе уравнений (13) принято, что при малом боковом смещении аксиальная линейная скорость не успевает измениться к моменту времени, когда переходные процессы в электрических контурах затухнут, ввиду чего $\omega = \text{const}$.

Рассмотрим упрощенный случай, когда

$$A_1 = A_2 = 0; \quad r_c/x_c = 0 \quad (a_{11} = a_{22} = 0). \quad (17)$$

Выражения (14) при решении системы (13) с учетом условий (17) принимают вид:

$$dT_R = 0; \quad (18)$$

$$dF_R = 3\alpha M i_R I_d (1 - k_f) \frac{(1 - k_f) \frac{\omega \psi_R}{u_0}}{\frac{x_c I_d}{u_0} - k_f \frac{\omega \psi_R}{u_0}} \cdot \bar{\delta}. \quad (19)$$

Уравнение (18) показывает, что при малом боковом смещении результирующее тяговое усилие не изменяется (при условиях (17)) и, следовательно, аксиальная скорость движения не будет изменяться, ввиду чего предположение $\omega = \text{const}$ будет иметь место не только для малых интервалов времени непосредственно после смещения, но и в последующие моменты времени и остается справедливым для любых режимов настройки.

Для анализа на боковую устойчивость выражение (19) необходимо преобразовать, выразив с помощью уравнений $\psi_R = M i_R$ и $i_R = I_f - \frac{3}{2} M I_d$ (см. уравнения (10)) величины ψ_R и i_R через I_d .

После преобразования получено

$$dF_R = 3 \frac{\alpha u_0^2}{\omega x_c} \cdot \frac{\Phi(\eta)}{1 - \sigma} \cdot \bar{\delta}, \quad (20)$$

где

$$\Phi(\eta) = c_0(c_1 - \eta)(\eta - c_2); \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} c_0 &= 2\sigma(1 + \sigma); \quad c_1 = \frac{e_0}{2\sigma}; \quad c_2 = \frac{e_0}{1 + \sigma}; \\ e_0 &= \frac{\omega \psi_R^0}{u_0} = \frac{\omega M I_f}{u_0}; \quad \sigma = \frac{3}{2} \cdot \frac{M^2}{L_R L_c}. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Переменная η в уравнении (20)

$$\eta = \frac{x_c I_d}{u_0} \quad (23)$$

пропорциональна продольному току в режиме настройки, выражена в относительных единицах и является параметром режима настройки, по которому проводится анализ боковой устойчивости линейного двигателя.

Величины i_R и ψ_R выражаются через η следующими уравнениями:

$$i_R = I_f - \sigma \frac{u_0}{\omega M} \cdot \eta; \quad (24)$$

$$\psi_R = M I_f - \sigma \frac{u_0}{\omega} \eta.$$

Коэффициент стабилизации равен (см. уравнения (12) и (20))

$$K_c = -3 \frac{\alpha^2 u_0^2}{\omega x_c} \cdot \frac{\Phi(\eta)}{1 - \sigma}. \quad (25)$$

Исходя из требования $K_c > 0$ (условие устойчивой стабилизации)



для двух случаев значений σ получены следующие области устойчивой стабилизации относительно параметра η :

При $\sigma < 1$

$$\left. \begin{array}{l} -\infty < \eta < c_2; \\ c_1 < \eta < +\infty, \end{array} \right\} \quad (26)$$

причем $c_1 > c_2$.

При $\sigma > 1$

$$c_1 < \eta < c_2, \quad (27)$$

причем $c_2 > c_1$.

Уравнения (20) ÷ (25) позволяют проанализировать устойчивость боковой стабилизации для линейного синхронного двигателя с обычными (теплыми) обмотками возбуждения. Для такого двигателя в уравнениях (20) ÷ (25) необходимо принять $\varepsilon = 0$ (это ясно видно из уравнения (24), так как при обычных теплых обмотках возбуждения необходимо обеспечить выполнение условия $i = I_f$ для любых I_d). Получаем соответственно

$$dF^* = 3 \frac{\alpha u_0^2}{\omega \chi_c} \cdot (\eta^* - e_0) e_0 \delta; \quad (28)$$

$$K_c^* = -3 \frac{\alpha^2 u_0^2}{\omega \chi_c} (\eta^* - e_0) e_0. \quad (29)$$

Область устойчивости боковой стабилизации линейного синхронного двигателя с теплыми обмотками находится в области (когда $K_c^* > 0$)

$$\eta^* < e_0, \quad (30)$$

что дает

$$I_d^* < \frac{M}{L_c} I_f, \quad (31)$$

где I_f — ток возбуждения теплых обмоток, который не регулируется при переходе от невозмущенного движения к режиму $\delta \neq 0$.

Таким образом, можно утверждать, что: 1. Для получения устойчивости системы в случае $\sigma > 1$ настройку невозмущенного режима желательно производить для значений $\eta = \eta_{\max} = 0,5 (C_1 + C_2)$. Такая настройка обеспечивает максимум функции $\Phi(\eta)_{\max} = 0,5 (c_1 - c_2)^2$ и равноудаленность $\eta_{\max}$ от точек c_1 и c_2 , в которых система начинает терять устойчивость боковой стабилизации.

2. Для получения устойчивости системы в случае $\sigma < 1$ настройку системы целесообразно производить для значений $\eta \leq 0$, при $\eta = 0$ продольная составляющая тока $I_d = 0$ и система работает в режиме $\cos \varphi$, близком к единице. При $\eta = 0$ и $\delta = 0$ величина $\Phi(\eta = 0) = -e_0^2$ и коэффициент стабилизации

$$K_c = 3 \frac{(\alpha u_0 e_0)^2}{\omega \chi_c} = 3 \frac{(\alpha M I_f)^2}{L_c}. \quad (32)$$

3. При требовании обеспечить более „жесткую“ стабилизацию

при $\sigma < 1$ величину η при настройке необходимо выбирать $\eta < 0$, исходя из получения заданной величины K_c .

Ереванский политехнический институт
им. К. Маркса

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ թղթակից անդամ Գ. Լ. ԱՐՆՇՅԱՆ

Գերհաղորդիչ գրգռման փաթույթներով գծային սինխրոն շարժիչի
կայունացումը փոքր կողային շեղումների դեպքում

Գերհաղորդիչ գրգռման փաթույթով գծային սինխրոն շարժիչի էլեկտրական շղթաների հանրահաշիվական հավասարումների հիման վրա, ստացված են գծայնացված հավասարումների ըստ ուժերի, շարժիչ-փուլոն կողային փոքր շեղումների դեպքում:

Որոշված են կողային շեղումների կայունացման դոնաները, դրոյական սինխրոնով ստատորային փաթույթների միացված լինելու դեպքում:

Հալքի ուժի մի ընտրման, կողային շեղումների և ազատ շարժման կայունությունն ապահովելու համար կատարված են առաջարկություններ:

ЛИТЕРАТУРА — ԿՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ В. И. Бочаров, В. Д. Нагорский, Выходокоскоростной наземный транспорт с линейным приводом и магнитным подвесом, Транспорт, М., 1985.

УДК 539.122

ФИЗИКА

Г. К. Аветисян, А. К. Аветисян, К. З. Ацагорцян, Х. В. Седракян

Индукцированный энергообмен каналированных частиц с поперечной электромагнитной волной

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. М. Гарибяном 16/VI 1987)

Если заряженная частица входит в кристалл под углом к кристаллографической оси или плоскости меньшим, чем определенный критический угол, может произойти каналирование частицы ⁽¹⁾. При этом наибольший интерес представляет случай ультрарелятивистских электронов и позитронов (излучение таких частиц в канале происходит, в основном, в рентгеновском и γ -диапазонах, со спектральной интенсивностью, намного превышающей интенсивность тормозного и синхронного излучений ⁽²⁾), для которых число уровней связанных состояний поперечного движения $s \gg 1$, и движение таких частиц можно рассматривать классически ⁽³⁾.

В присутствии внешней электромагнитной волны (ЭМВ) излучение частицы при каналировании приобретает вынужденный характер. При этом становится возможным и обратный процесс—вынужденное поглощение частицей энергии волны, так что в результате взаимодействия с поперечной ЭМВ произойдет ускорение или торможение каналированных частиц.

Рассмотрим сначала взаимодействие позитронов с ЭМВ при плоскостном каналировании. В этом случае эффективный потенциал кристалла в пределах канала имеет вид

$$U(x) = \frac{4U_0}{d^2} x^2, \quad (1)$$

где U_0 —глубина потенциальной ямы, d —межплоскостное расстояние, а координата x отсчитывается от медианной плоскости.

Пусть в момент времени $t=t_0$ позитрон находится внутри кристалла в точке $x=0$, $z=z_0$, причем внутри канала движение происходит по оси z , под углом к которой (по оси z') распространяется квазимонохроматическая ЭМВ с частотой ω (волна линейно поляризована по оси x' ; координатные системы xuz и $x'y'z'$ связаны через эйлеровы углы α , β , γ). Тогда для изменения энергии позитрона после взаимодействия, в первом приближении по полю ЭМВ, имеем выражение

$$\Delta \mathcal{E} = q \sum_{k=-\infty}^{+\infty} J_k(\nu_2) \left\{ \bar{v}_z E_{0z} J_{N+2k}(\nu_1) + \frac{E_{0x} v_{xm}}{2} [J_{N-1+2k}(\nu_1) + J_{N+1+2k}(\nu_1)] - \right. \quad (2)$$

$$- \frac{\vec{E}_0 \vec{v}_{zm}}{2} [J_{N-2+2k}(\lambda_1) + J_{N+2+2k}(\lambda_1)] \cdot \Delta t \cos \left[\omega t_0 - n(\omega) \frac{\omega}{c} z_0 \cos \alpha \cos \beta \right]. \quad (2)$$

Здесь q — заряд позитрона, $\lambda_{1,2}$ — аргументы функции Бесселя —

$$\lambda_1 = n(\omega) \frac{\omega}{c} \frac{d}{2} \sqrt{\mathcal{E}_\perp / U_0} \cdot \sin \beta; \quad \lambda_2 = n(\omega) \frac{\omega}{c} \frac{d}{8} \sqrt{\mathcal{E}_\perp / 2\mathcal{E}_\parallel} \cdot \cos \alpha \cos \beta,$$

$E_{0x} = E_0 \cos \beta \cos \gamma$, $E_{0z} = E_0 (\sin \alpha \sin \gamma - \cos \alpha \sin \beta \cos \gamma)$ — компоненты среднего значения медленноменяющейся амплитуды $\vec{E}_0(t)$ ЭМВ, Δt — время нахождения каналированной частицы в волне, $n(\omega)$ — показатель преломления кристалла, v_{xm} , v_{zm} — амплитуды скорости поперечного и продольного колебаний, а $\bar{v}_z$ — средняя скорость продольного движения, которые связаны с энергиями поперечного ($\mathcal{E}_\perp$) и продольного ($\mathcal{E}_\parallel$) движений частицы следующим образом:

$$v_{xm} = c \sqrt{2\mathcal{E}_\perp / \mathcal{E}_\parallel}; \quad v_{zm} = c \mathcal{E}_\perp / 2\mathcal{E}_\parallel; \quad \bar{v}_z = c \left\{ 1 - \frac{1}{2} \left[\left(\frac{mc^2}{\mathcal{E}_\parallel} \right)^2 + \frac{\mathcal{E}_\perp}{\mathcal{E}_\parallel} \right] \right\}.$$

Входящий в формулу (2) параметр N принимает целочисленные значения, определяя условие резонанса поперечных колебаний позитрона в канале с волной, при котором возможен реальный энергообмен:

$$N\Omega = \omega \left[1 - n(\omega) \frac{\bar{v}_z}{c} \cos \alpha \cos \beta \right], \quad (3)$$

($\Omega = \sqrt{8c^2 U_0 / \mathcal{E}_\parallel} d^2$ — частота поперечных колебаний позитрона в канале). Для рентгеновских и γ -частот, когда $n(\omega) \leq 1$, условие (3) соответствует нормальному эффекту Доплера, при котором поглощение энергии волны сопровождается возбуждением поперечных колебаний частицы (в этих случаях в формуле (2) $N > 0$). Для оптических же частот, когда $n(\omega) > 1$, возможен аномальный эффект Доплера ($1 - n(\omega) \frac{\bar{v}_z}{c} \cos \alpha \cos \beta < 0$), что соответствует возбуждению поперечных колебаний частицы при вынужденном излучении (в формуле (2) $N < 0$). При выполнении условия $1 - n(\omega) (\bar{v}_z / c) \cos \alpha \cos \beta = 0$ формула (2) соответствует вынужденному черенковскому энергообмену между позитроном и волной (при этом $N = 0$).

Как видно из выражения (2), в зависимости от начальной фазы $\omega t_0 - n(\omega) (\omega / c) z_0 \cos \alpha \cos \beta$ происходит прямой или обратный вынужденный процесс — торможение или ускорение позитрона. Следовательно, при взаимодействии пучка каналированных позитронов с ЭМВ разные частицы, имея разные начальные фазы (из-за того, что они входят в кристалл в различные моменты времени и находятся на различных расстояниях от кристаллических плоскостей) будут приобретать или терять разные энергии. В результате этого произойдет модуляция скорости частиц, что приведет к группировке пучка, если его продольный размер $l_z > \pi \bar{v}_z / \omega$, что всегда выполняется для реальных пучков.

В случае аксиального каналирования электронов эффективный потенциал атомной цепочки кристалла имеет вид

$$U(\rho) = -\gamma/\rho, \quad (4)$$

где ρ — расстояние от оси кристалла, выбранной за ось z . В таком потенциале поперечное движение электрона с отличным от нуля моментом импульса M_z происходит по эллипсу с полуосями $a = \gamma/2|\mathcal{E}_\perp|$, $b = a\sqrt{1-e^2}$, с эксцентриситетом $e = (1 - 2|\mathcal{E}_\perp|M_z^2c^2/\mathcal{E}_\parallel\gamma^2)^{1/2}$ и частотой вращения $\Omega = (2|\mathcal{E}_\perp|)^{3/2}c/\chi\mathcal{E}_\parallel^{1/2}$. Изменение энергии электрона после взаимодействия с волной в этом случае имеет вид (волна поляризована по кругу)

$$\begin{aligned} \Delta\mathcal{E} = & -qE_0 \left\{ J_\Lambda(\Lambda) \left[(-1)^{s'} \frac{\bar{v}_z}{\Omega} \sin z \sin \varphi - \frac{\bar{v}_z}{\Omega} \cos z \sin \beta \cos \varphi \right] + \right. \\ & + \frac{1}{2} J_{N-1}(\Omega) \left[a \cos \beta \sin(\varphi + \varphi_1) + (-1)^s b \sin z \sin \beta \cos(\varphi + \varphi_1) + \right. \\ & + (-1)^{s+s'} b \cos z \sin(\varphi + \varphi_1) + \frac{e\bar{v}_z}{\Omega} \cos z \sin \beta \cos(\varphi + \varphi_1) - (-1)^s \frac{e\bar{v}_z}{\Omega} \sin z \sin(\varphi + \\ & + \varphi_1) \left. \right] + \frac{1}{2} J_{N+1}(\Lambda) \left[-a \cos \beta \sin(\varphi - \varphi_1) + (-1)^s b \sin z \sin \beta \cos(\varphi - \varphi_1) + \right. \\ & + (-1)^{s+s'} b \cos z \sin(\varphi - \varphi_1) + \frac{e\bar{v}_z}{\Omega} \cos z \sin \beta \cos(\varphi - \varphi_1) - \\ & \left. \left. - (-1)^{s'} \frac{e\bar{v}_z}{\Omega} \sin z \sin(\varphi - \varphi_1) \right] \right\} \Omega \Delta t, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{где } \Lambda = \sqrt{\Lambda_1^2 + \Lambda_2^2}; \quad \Lambda_1 = \frac{e\omega}{\Omega} \left(1 - \frac{\bar{v}_z}{c} n(\omega) \cos z \cos \beta \right) - (-1)^s b n(\omega) \frac{\omega}{c} \sin z \cos \beta,$$

$$\Lambda_2 = a n(\omega) \frac{\omega}{c} \sin \beta; \quad \varphi_1 = (\Lambda_1/|\Lambda_1|) \arcsin(\Lambda_2/\Lambda),$$

$$\varphi = \omega t_0 - n(\omega)(\omega/c) z_0 \cos z \cos \beta + a e n(\omega)(\omega/c) \sin \beta - N\varphi_1$$

(в момент времени $t = t_0$ электрон находится в перигелии орбиты поперечного движения с $z = z_0$), $(-1)^s = M_z/|M_z|$, $s' = 0, 1$ — соответственно для право- или левокруговой поляризации волны, а N опять принимает целочисленные значения, соответствующие условию резонанса (3). Аналогично предыдущему случаю формула (5) определяет группировку пучка каналированных электронов. Глубина модуляции плотности тока пучка вне кристалла максимальна на расстояниях

$$L_z \sim \pi \frac{\bar{v}_z}{\omega} \left(\frac{\mathcal{E}_\parallel}{mc^2} \right)^2 \left(\frac{\mathcal{E}_\parallel}{\Delta\mathcal{E}_0} \right), \quad \text{где } \Delta\mathcal{E}_0 \text{ — амплитуда изменения энергии частиц пучка, соответствующая формулам (2) или (5).}$$

В конце отметим, что индуцированный энергообмен между пучком каналированных частиц и поперечной ЭМВ можно реализовать в ши-

роком диапазоне частот (практически от инфракрасной до γ -частот), выбирая соответствующий частоте внешней волны угол между направлениями распространения волны и движения частицы, согласно условию резонанса (3).

Ереванский государственный
университет

2. Կ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Ա. Կ. ԱՎԵՏԻՍՅԱՆ, Կ. Զ. ՀԱՅՍԳՈՐԾՅԱՆ, Խ. Վ. ՍԵՂԻՐԱԿՅԱՆ

Կանաչացված մասնիկների հարկադրական էներգափոխանակությունը
լայնական էլեկտրամագնիսական ալիքի հետ .

Ուսումնասիրված է բյուրեղում հարթ-կանալացված պողիտրոնների և առանցքային կանալացված էլեկտրոնների հարկադրական փոխազդեցությունը արտաքին էլեկտրամագնիսական ալիքի հետ: Ցույց է տրված, որ երբ մասնիկների լայնական տատանումները ռեզոնանսի մեջ են ալիքի հետ, հնարավոր է դառնում ռեալ էներգափոխանակություն մասնիկների և լայնական էլեկտրամագնիսական ալիքի միջև: Ստացված են փոխազդեցությունից հետո պողիտրոնների և էլեկտրոնների էներգիաների փոփոխության արտահայտություններն ալիքի դաշտի նկատմամբ գծային մոտավորությամբ: Ցույց է տրված, որ կանալացված մասնիկների փնջի դեպքում հարկադրական էներգափոխանակությունը բերում է մասնիկների արագության մոդուլյացիայի, հետևաբար և փնջում մասնիկների խմբավորման:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ П. Линдхард, УФН, т. 99, с. 249 (1969). ² М. А. Kumakhov, Phys. Lett. A., v. 57, p. 17 (1976). ³ М. А. Kumakhov, R. Weddell, Phys. Stat. Sol. (b), v. 84, p. 581 (1977).

УДК 631.465

АГРОХИМИЯ

А. Ш. Галстян, С. А. Абрамян, С. М. Араксян**Кинетика действия каталазы в мелиорированных солонцах-солончаках**

(Представлено академиком АН Армянской ССР Э. К. Африкяном 6/VII 1987)

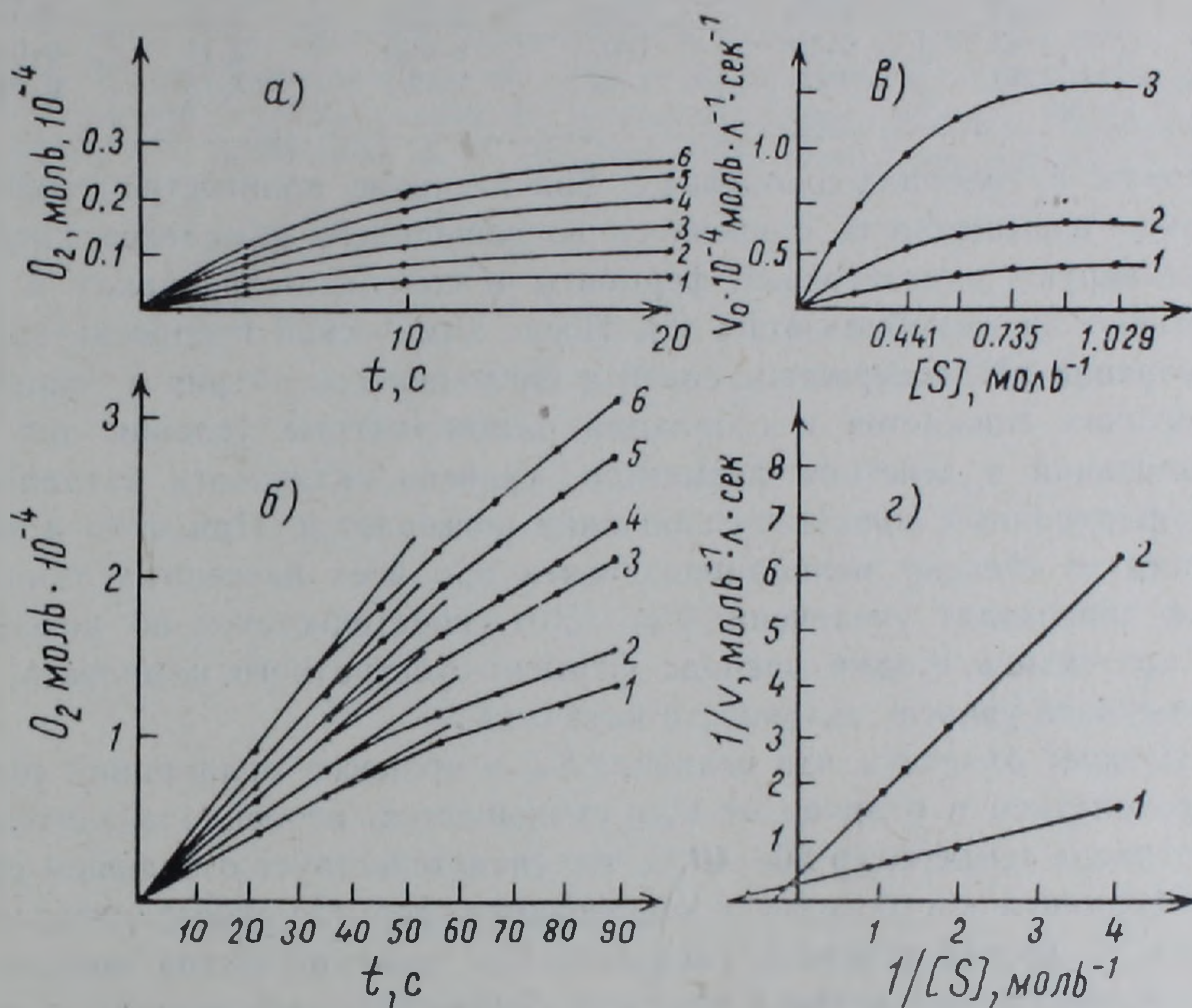
Кинетика действия каталазы в солонцах-солончаках до и после мелиорации не изучена. Для направленной регуляции ферментативных процессов в почве важное значение имеет установление кинетических показателей и их взаимосвязи с различными факторами, влияющими на уровень биологической активности почв (¹⁻⁴). Исходя из этого в настоящей работе ставилась цель определить кинетические показатели каталазной реакции в содовых солонцах-солончаках и их мелиорированных вариантах.

В основе изучения кинетики ферментативных реакций в почве лежит количественное описание их скоростей с помощью молекулярных представлений и законов стационарной химической кинетики (³⁻⁴). Такой подход имеет важное значение для выявления механизма действия почвенных ферментов.

Исследования проводили на содовом солонце-солончаке Араратской равнины (0—25 см), гумус 0,5%, рН 10,2, сумма обменных катионов 17,5 мэкв на 100 г почвы, сумма солей 3,8%; недомелиорированном солонце-солончаке (0—25 см), гумус 0,7%, рН 9,0, сумма обменных катионов 23,2 мэкв, сумма солей 0,6%; мелиорированном солонце-солончаке (0—25 см), гумус 1,3%, рН 7,6, сумма обменных катионов 29,5 мэкв, сумма солей 0,25%. Активность каталазы определяли по Галстяну (⁵) в течение 10, 20, 30, 40, 50, 60 с при различных температурах—10, 20, 30, 40, 50, 60° С. Для этой цели подготовленную почву и субстрат выдерживали при указанных температурах в течение 3 ч, затем проводили определение. Исходя из принципа определения начальных скоростей образования продукта реакции (V_0) измерение активности проводили при различных концентрациях субстрата—0,294, 0,441, 0,588, 0,735, 0,882 и 1,029 моль/л. Полученные данные использовали для графического расчета K_m и V_{max} с применением линейной трансформации уравнения Михаэлиса—Ментен, предложенной Лайнувером—Берком (³).

На основании проведенных определений строили кинетические кривые выделения O_2 при каталазной реакции в солонцах-солончаках и их мелиорированных вариантах (рисунок, а, б). Проводили касательные к начальным участкам полученных кинетических кривых и по тангенсу угла их наклона определяли начальные скорости каталазной реакции при различных концентрациях субстрата. Выявлено, что меха-

низм ферментативного разложения H_2O_2 в солонцах-солончаках и их мелниорированных вариантах подчиняется уравнению Михаэлиса—Ментен. Об этом свидетельствует тот факт, что при низких концентрациях субстрата скорость реакции пропорционально возрастает и реакция протекает по первому порядку, а при высоких концентрациях скорость перестает зависеть от концентрации субстрата и реакция протекает по уравнению нулевого порядка (рисунок, в).



Кинетические кривые каталазной реакции в солонце-солончаке до и после мелниорации при температуре 20°C . а—до мелниорации, б—после мелниорации; концентрация перекиси водорода: 1—0,294, 2—0,441, 3—0,588, 4—0,735, 5—0,882, 6—1,029 моль/л; в—скорость реакции в зависимости от концентрации субстрата: 1—солонец-солончак, 2—недомелниорированный солонец-солончак, 3—мелниорированный солонец-солончак; г—начальная скорость в зависимости от концентрации субстрата в координатах уравнения Лайнуивера-Берка: 1—мелниорированный солонец-солончак, 2—солонец-солончак

Полученные зависимости между скоростью реакции и концентрацией субстрата трансформировали в уравнение Лайнуивера—Берка, которое позволяет представить результаты изучения кинетики ферментативных реакций в виде прямых линий. При построении графика в координатах $1/V$, $1/S$ получаем прямую линию с наклоном, равным K_m/V_{max} , пересекать ось $1/V$ в точке $1/V_{\text{max}}$, а ось $1/S$ —в точке $1/K_m$ (рисунок, г).

Рассчитаны K_m и V_{max} каталазной реакции в солонцах-солончаках и их мелниорированных вариантах (таблица). Приведенные данные показывают, что V_{max} значительно возрастает в процессе мелниорации солонцов-солончаков. Сравнительно низкие значения V_{max} в солонцах-солончаках свидетельствуют о меньшей вероятности протекания каталазной реакции. Подтверждением этому является низкая активность

Изменение значений K_m и V_{max} каталазной реакции в процессе мелиорации солонцов-солончаков

Температура, °С	Солонец-солончак		Недомелиорированный солонец-солончак		Мелиорированный солонец-солончак	
	$V_{max}, \text{М} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$K_m, \text{М} \cdot \text{л}^{-1}$	$V_{max}, \text{М} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$K_m, \text{М} \cdot \text{л}^{-1}$	$V_{max}, \text{М} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$	$K_m, \text{М} \cdot \text{л}^{-1}$
10	0.54	0.13	1.10	0.150	1.35	0.050
20	1.05	0.18	1.43	0.120	1.85	0.049
30	1.43	0.19	1.67	0.066	2.17	0.048
40	1.54	0.06	1.89	0.036	2.78	0.047

каталазы в солонцах-солончаках. Значительное количество солей и высокая насыщенность почвенного поглощающего комплекса натрием инактивируют внеклеточные ферменты в солонцах-солончаках и препятствуют их иммобилизации (6). После химической и опреснительной мелиорации рН содержание солей и поглощенного натрия в солонцах-солончаках снижается и создаются благоприятные условия для иммобилизации и действия ферментов. Уровень активности каталазы в мелиорированных солонцах-солончаках повышается. При этом в зависимости от степени мелиорированности при всех изученных температурах происходит увеличение V_{max} . Это свидетельствует об интенсивном протекании стадии распада фермент-субстратного комплекса, лимитирующей уровень активности каталазы.

Следует отметить, что величина K_m в процессе мелиорации солонцов-солончаков в отличие от V_{max} уменьшается, особенно значительно в интервале температур 20—40°C, что свидетельствует о большем сродстве фермента к субстрату и образовании фермент-субстратного комплекса. С другой стороны, поскольку K_m численно равна концентрации субстрата, при которой скорость ферментативной реакции составляет половину максимальной, можно утверждать, что эта скорость в мелиорированных солонцах-солончаках будет достигнута при более низкой концентрации субстрата.

Таким образом, механизм действия каталазы в солонцах-солончаках и их мелиорированных вариантах подчиняется уравнению Михаэлиса—Ментен. В основе возрастания активности каталазы в мелиорированных солонцах-солончаках лежит сопряженное изменение констант Михаэлиса—Ментен—уменьшение K_m и возрастание V_{max} , что может служить важной характеристикой каталазной реакции в этих почвах.

Научно-исследовательский институт почвоведения
и агрохимии Госагропрома Армянской ССР
Ереванский зооветеринарный институт

Ա. Շ. ԳԱԼՍՅԱՆ, Ս. Ա. ԱՐԱՋԱՄՅԱՆ, Ս. Մ. ԱՐԱՔՍՅԱՆ

Կատարագայի գործունեության կինետիկան մեխորացված
աղուտ-ալկալի հողերում

Հաստատված է, որ կատարագայի գործունեության կինետիկան աղուտ-
ալկալի հողերում և նրա մեխորացված տարրերակներում ենթարկվում է

Միխաիլիս-Մենտենի հավասարմանը: Մեկիորացված աղուտ-ալկալի հողերում կատալազայի ակտիվության K_m -ն փոքրանում է, V_{max} -ը մեծանում է, լեքզիններս այդ հողերը բնութագրող կարևոր ցուցանշաններ են:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ С. А. Алиев, Д. А. Гаджиев, Ф. Д. Михайлов, Почвоведение, № 9, 1981. ² М. Г. Геворкян, А. Ш. Галстян, А. А. Петросян и др., Биол. журн. Армении, т. 35, № 4 (1983). ³ В. А. Яковлев, Кинетика ферментативного катализа, Наука, М., 1965. ⁴ А. Ленинджер, Основы биохимии, Мир, М., 1985. ⁵ А. Ш. Галстян, Определение активности ферментов почв (Методические указания), Ереван, Изд-во МСХ, 1978. ⁶ С. А. Абрамян, А. С. Оганесян, А. Н. Баграмян и др., Биол. журн. Армении, т. 31, № 10 (1978).

УДК 577.2.575

БИОХИМИЯ

Р. А. Захарян, С. Г. Багразян

Перенос „Р“-элемента в зародышевые клетки *Drosophila hydei* и клетки костного мозга мышей

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР А. А. Галояном 30/X 1986)

Перенос гена в клетки высших эукариот путем введения чужеродной генетической информации сопровождается интеграцией вводимого гена в геном, его экспрессией, стабильно наследуемым и сохраняемым изменением в фенотипе реципиентных клеток (¹⁻⁴).

Определенный интерес представляет использование в качестве вектора транспозонподобных генов эукариот с целью повышения частоты трансформации и интеграции вводимого гена в специфические места генома (⁵⁻¹⁰). Спредлинг и Рубин показали высокую частоту транспозиции из плазмиды в геном при соответствующих генетических критериях клонированного Р-элемента в зародышевых клетках *Drosophila melanogaster* (^{7,10}).

В данном исследовании изучена возможность транспозиции из состава рекомбинантной плазмиды и функционирования Р-элемента в зародышевых клетках *Drosophila hydei*, родственной к *Drosophila melanogaster*, и в клетках костного мозга мыши.

Для микроинъекций и транспорта ДНК в зародышевые клетки *Dr. hydei* и в клетки костного мозга мыши были использованы рекомбинантные ДНК, любезно предоставленные Спредлингом и Рубиным: а) рекомбинантная ДНК рП 25.1, содержащая интактный ген Р-элемента в 3,0 т. п. о. (⁷⁻¹⁰); б) рекомбинантная ДНК Carnegue-20, содержащая ген ксантиндегидрогеназы (gu^+) в составе фрагмента в 7,2 т. п. о., вставленного в полилинкерный участок по Hind III сайту вектора Carnegue-2, полученного на основе делеционного мутанта Р-фактора в 1,2 т. п. о., встроенного в вектор рUC (¹¹), с полилинкерами, разобщающими Р-фактор.

Клетки костного мозга получали от мышей линии СЗН, предварительно обработанных винбластином в дозе 3 мг/кг; суспензия 10^8 клеток в 10 мл среды инкубировалась с 1,0 мл Са-преципитата ДНК, содержащей смесь 150 мкг ДНК рП 25.1 и 20 мкг ДНК рекомбинантной плазмиды с геном дигидрофолатредуктазы—PHG (¹), и вводилась внутривенно СЗН мышам, которых за 24 ч до инокуляции клеток облучали в дозе 800 рад. Через 72 ч после инокуляции трансформированных клеток мышам вводили метотрексат в дозе 0,5 мг/кг веса три раза в неделю.

После инокуляции клеток мышей забивали; колонии, сформировавшиеся на селезенке, были использованы для получения ДНК.

В контрольных и опытных экспериментах после рестрикционного анализа геномной ДНК в 1%-ном агарозном геле проведена гибридизация по Саузерну: все гибридизационные пробы были мечены [^{32}P] методом „*nich translation*“ (12).

С целью выяснения наличия Р-элемента в геноме *Dr. hydei* геномная ДНК *Dr. hydei*, *moocco*, *melanogaster* (дикий тип) и *M-cytotype* была рестрицирована рестриктазой *Eco RI*, фракционирована в 1%-ном агарозном геле и исследована гибридизационным анализом по Саузерну с пробами гена Р-элемента и „*gusy*“, в качестве маркера во всех случаях использованы молекулярные веса фрагментов ДНК фага λ , рестрицированной *Hind III*.

На рис. 1 показаны гибридизация „*gusy*“ гена с *Eco RI* рестриктами ДНК генома *Dr. melanogaster* (1-я полоса), *Dr. hydei white*, женская особь (2-я полоса); мужская особь (3-я полоса). Нижний сигнал гибридизации в полосах соответствует *Eco RI* фрагменту „*gusy*“ гена в 4,7 т. п. о.; *Hind III* фрагмент ДНК с участком из локуса „*white*“ от *Carnegie-1* гибридизуется с *Eco RI* рестриктами ДНК *Dr. melanogaster* (5-я полоса) в районе 16 т. п. о.; ДНК *Dr. moocco*, *hydei „white“* (соответственно 4, 6, 7-я полосы) не содержат данную последовательность фрагмента из локуса „*white*“ *Dr. melanogaster*. Ген Р-элемента не гибридизуется с *Eco RI* рестриктами ДНК генома *Dr. hydei „white“* и *moocco*, *Dr. melanogaster M-Cytotype* (8, 10, 11-я полосы). Ген Р-элемента обнаруживается в ДНК *Dr. melanogaster* (9-я полоса), в районе 16 т. п. о.

На рис. 2 представлены результаты рестрикционного и гибридизационного анализа по *Eco RI* геномной ДНК из личинок *Dr. hydei „white“*, в эмбрионы которых были инъецированы Р-фактор и ген „*gusy*“: полоса 1 — ДНК *Dr. hydei „white“*; 2 — ДНК *Dr. hydei „white“*, инъецированные буфером; 3 — ДНК *Dr. hydei* (дикий), инъецированные РП 25.1; 4 — то же, что и 3 в присутствии 5 азацитидина; 5 — *Dr. hydei „white“*, инъецированные РП 25.1 и *Carnegie-20*; 6 — ДНК *Dr. mel M-cytotype*, инъецированные РП 25.1.

1—4, 6-я полосы гибридизованы с *Hind III* [^{32}P]-фрагментом гена Р-элемента из *Carnegie-2*: 5-я полоса гибридизована с фрагментом *Hind III* гена Р-элемента и геном-фрагментом в 7,2 т. п. о., „*gusy*“ из *Carnegie-20*. В полосах 1, 2 не выявлены последовательности, гомологичные к Р-элементу. Выявленные фрагменты (полосы 3 и 4) имеют молекулярный вес около 6,7 т. п. о. и соответствуют фрагменту инъецированной плазмиды РП 25.1 (после выщепления из состава ДНК рП 25.1 *Eco RI* фрагмента с мол. весом 2 т. п. о.). Выявленные сигналы гибридизации в полосе 5: нижний — мол. вес около 4,7 т. п. о. соответствует *Eco RI* „*gusy*“ фрагменту геномной ДНК и *Eco RI* фрагменту от инъецированной плазмиды *Carnegie-20*; гибридизация на уровне 6,7 т. п. о. соответствует фрагменту в 6,7 т. п. о. из рП 25.1; гибридизующиеся фрагменты с относительно высоким мол. весом совпадают с аналогичными рестриктами ДНК *Dr. hydei „white“* полос 2 и 3 на рис. 1.

Выявленные фрагменты — ДНК личинок *Dr. melanogaster M-Cytotype* (полоса 6) имеют наряду с мол. весом в 6,7 т. п. о. более

Высокие мол. веса, свидетельствующие о транспозиции последовательностей гена Р-элемента и интеграции в геномную ДНК *Dg. melanogaster* M-Cytotype.

Полученный результат свидетельствует, что геном *Dg. hydei* «white»,

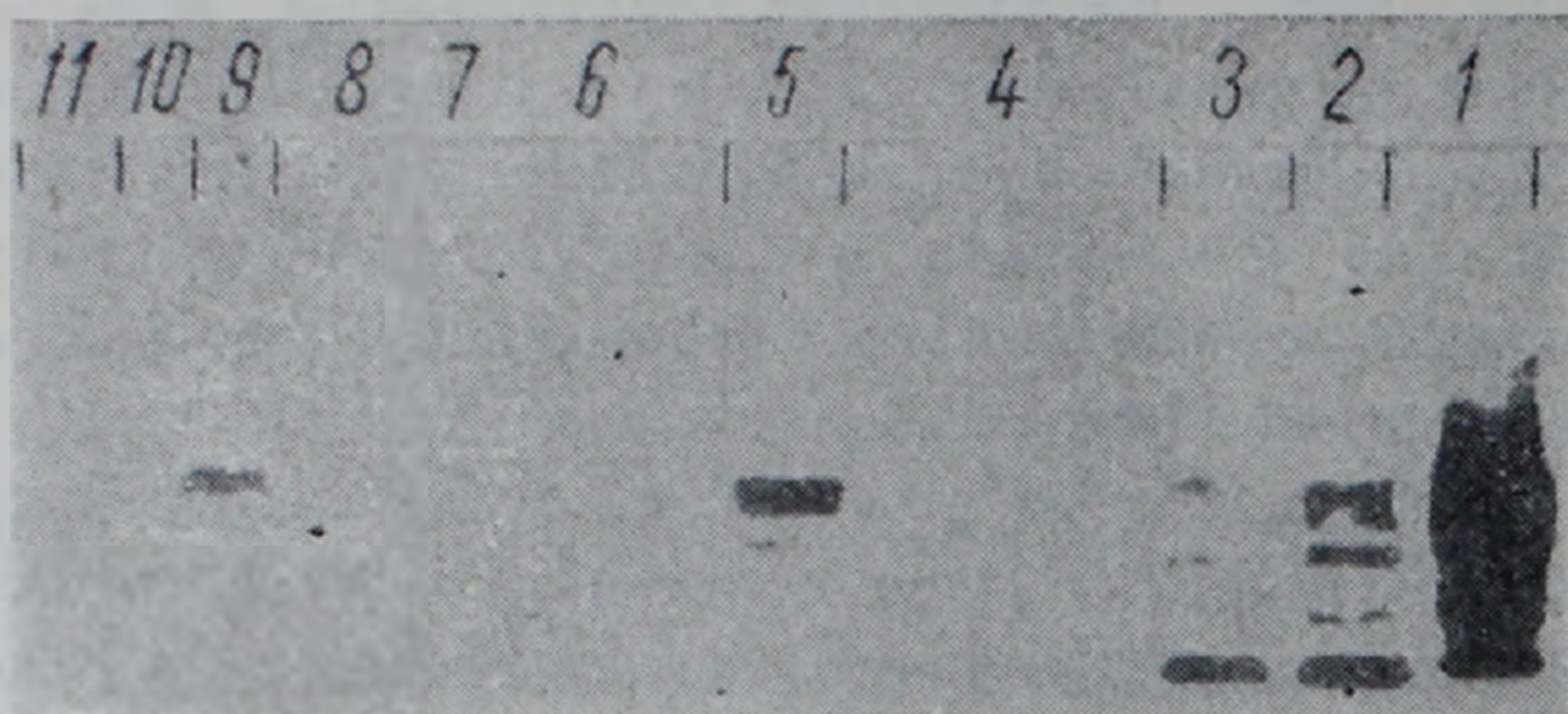


Рис. 1. ДНК *Drosophila* разных линий, рестрицированная *EcoR* I и анализируемая в гибридизации на наличие гена Р-элемента (объяснение см. в тексте)

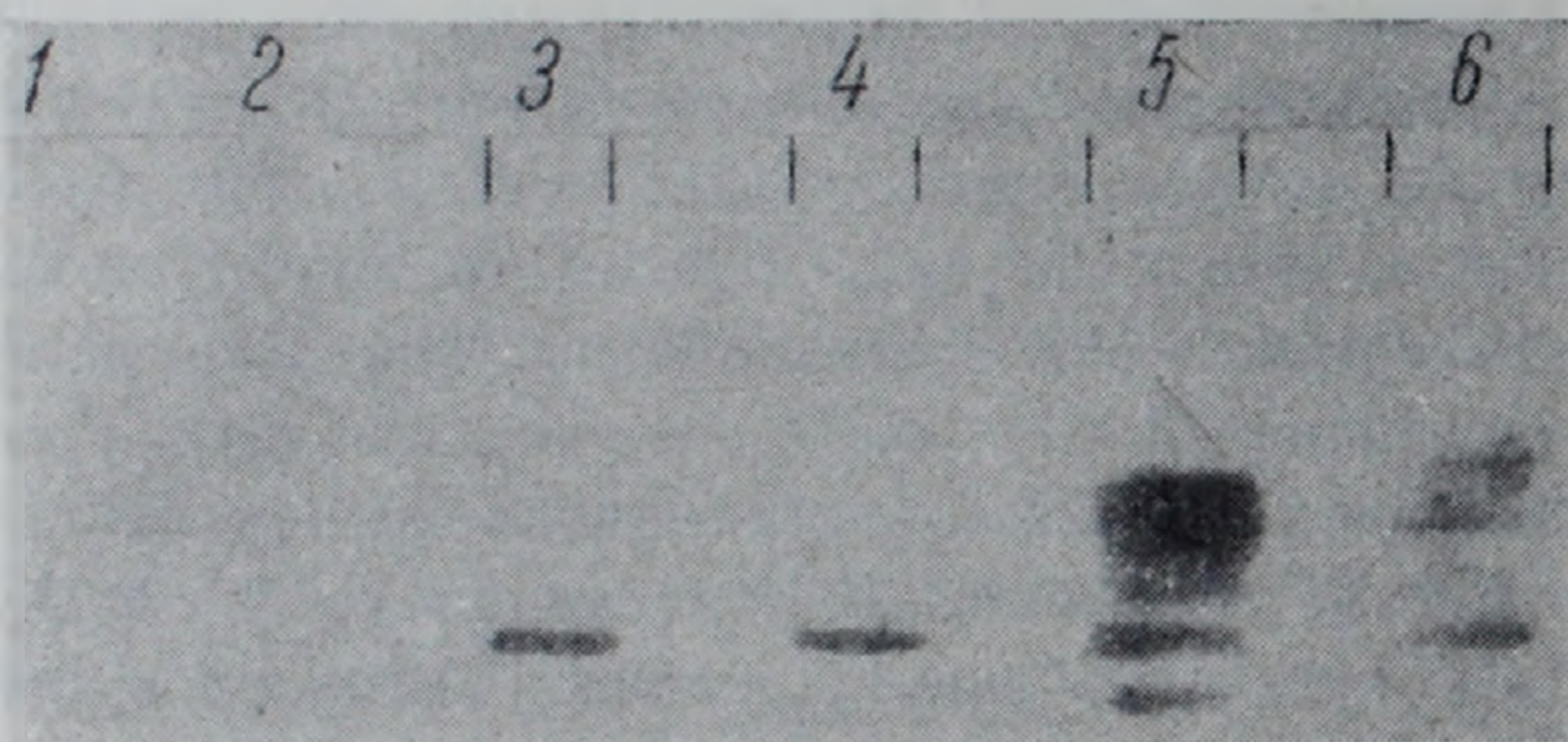


Рис. 2. Гибридационный анализ рестрицированной по *EcoR* I геномной ДНК из личинок *Dg. hydei*, в эмбрионы которых были инъецированы Р-элемент и ген «*gusy*» (объяснение см. в тексте)

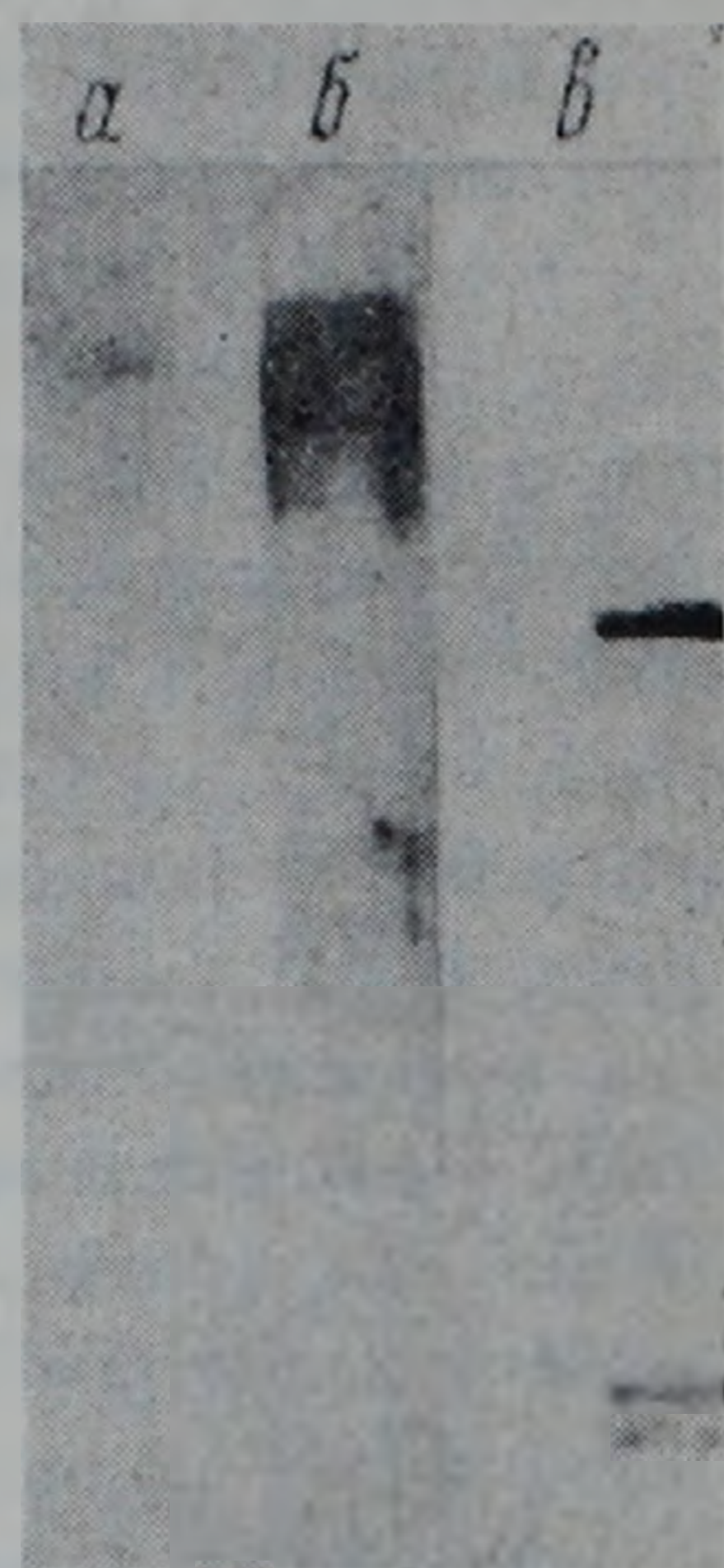


Рис. 3. Гибридационный анализ ДНК колоний миелоидных клеток, трансформированных геном Р-элемента (объяснение см. в тексте)

как и дикий тип, не содержит в своем составе последовательностей, гомологичных к гену Р-элемента; полоса 3 показывает, что инъецированный в эмбрионы интактный ген Р-элемента не переносится в геном и продолжает на определенное время сохраняться в клетках развивающейся личинки, возможно, в виде эписомы рП 25.1.

Известно, что в ряде случаев экзогенная ДНК, введенная в клетки, метилируется, что рассматривается как возможная причина подавления экспрессии введенного гена; с целью ингибирования возможного метилирования гена транспозазы в эксперименте (полоса 4) наряду с геном Р-фактора в эмбрионы был инъецирован 2,5 мМ раствор 5-азацитидина. Полоса 4 показывает, что и в случае инъекции 5-азацитидина ген Р-элемента не интегрирует в геном. Как в полосе 3, так и 4 обнаруживается строгая гибридизация с фрагментом около 6,7 т. п. о., вырезанным *EcoRI* из ДНК рП 25.1.

Полоса 5 свидетельствует, что, как и в случае 3 и 4, транспозиции ни Р-элемента, ни гена «*gusy*» не происходит; строгая гибридизуемость

обнаруживается для фрагмента в 4,1 т. п. о. и 6,7 т. п. о. от Carnegie-20 и 6,7 т. п. о. от рП 25.1.

Таким образом, ген Р-элемента (Р-семейство генов) отсутствует в линии *Dg. hydei*, и в отличие от заднеполюсных зародышевых клеток эмбрионов *Dg. melanogaster* в клетках *Dg. hydei* процесс транспозиции в хромосому гена Р-элемента и гена «gосу», из состава введенных рекомбинантных ДНК, по-видимому, репрессирован; 5-азацитидин не эффективен в индукции процесса транспозиции. Результат, полученный на примере нового семейства Р-элемента, показывает еще один пример видовой специфичности, описанный и являющийся отличительной чертой ряда семейств мобильных диспергированных генов (м. д. г.) у дрозофилл, некоторым из которых присуща высокая видоспецифичность. Можно предположить, что данная видоспецифичность поддерживается наличием у *Drosophila* определенного репрессирующего механизма, «иммунитета», создаваемого в клетке м. д. г. к суперинфицированию и ограничивающего распространение определенных семейств м. д. г., в том числе и Р-фактора, среди различных линий *Drosophila*, аналогично явлению несовместимости плазмидных генов у бактерий.

В следующей серии экспериментов исследована способность интактного гена Р-элемента функционировать в клетках костного мозга мыши, достаточно отдаленной от *Drosophila* по генетическому содержанию.

ДНК колоний миелоидных клеток, получивших гены Р-элемента в процессе сотрансформации, была рестрицирована *Eco RI*; полученные фрагменты после электрофоретического разделения в 1%-ном агарозном геле были анализированы по Саузерну, с ДНК рП 25.1, меченной [³²P], как описано выше.

Как видно из рис. 3, б, в составе генома трансформированных клеток во фрагментах достаточно высокого молекулярного веса (23—9 т. п. о.) выявляются сигналы присутствия последовательностей плазмиды рП 25.1. Гибридизационный анализ той же ДНК, после рестрикции *Eco RI*, со смесью фрагментов ДНК рП 25.1, содержащих гены области «white» и рBR 322 (рис. 3, а), позволяет сделать заключение, что именно последовательности гена Р-элемента ответственны за гибридизацию в полосе 3 б. С целью установления величины фрагмента гена Р-элемента в составе фрагментов 23—9 т. п. о. элюированная с данной зоны агарозы ДНК была рестрицирована ферментом *Avu II* и вновь анализирована в гибридизации с [³²P] ДНК рП 25.1.

Полученный результат (рис. 3, в) демонстрирует наличие трех четких полос гибридизуемости: 1,5; 0,54; 0,48 т. п. о., соответствующих фрагментам интактного гена Р-элемента в условиях рестрикции *Avu II*.

Таким образом, в отличие от клеток *Drosophila hydei* в миелоидных клетках мыши Р-элемент, по-видимому, способен к автономной репликации и репликативной транспозиции интактного гена в состав генома миелоидных клеток мыши (¹³).

Авторы приносят благодарность В. Хеннигу, заведующему лабора-

торней генетики Католического университета Неймегена (Нидерланды), где выполнена данная работа, и научному сотруднику П. Хойзеру за оказание квалифицированной помощи при проведении лабораторных экспериментов.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Армянской ССР

Խ. Ա. ԶԱՔԱՐՅԱՆ, Ս. Հ. ԲԱԳԻՍՅԱՆ

Р-էլեմենտի տեղափոխությունը մկների ոսկրածուծի բջիջների և
Drosophila hydei սաղմնային բջիջների մեջ

Ցույց է տված, որ *Drosophila hydei* գենոմում Р—էլեմենտը բացառապես է, և որ ի տարբերություն *Drosophila melanogaster* սաղմնային բջիջների, *Drosophila hydei* սաղմնային բջիջներում միկրոնեկարկման մեթոդով ներմուծված ռեկոմբինանտ ԴՆԹ-ների կազմից Р—էլեմենտի և լոսանտինդեհիդրոգենազի գեների տրանսպոզիցիան բրոմոսոմում ճնշված է: Տրանսպոզիցիայի պրոցեսի ինդուցիայի համար 5—ազացիտիդինը արդյունավետ չէ: Ի տարբերություն *Drosophila hydei*, մկների միելոիդային բջիջներում Р—էլեմենտը ներգրավվում է գենոմ ռեկոմբինանտ ԴՆԹ-ի կազմից Р—տրանսպոզոնի ինտակտ դեմի կտրման և տրանսպոզիցիայի ճանապարհով:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ K. O'Hare, C. Benoist, K. Breatnach, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, v. 78, p. 1527 (1981). ² T. B. Shows, A. Y. Sakaguchi, In vitro, v. 11, p. 55 (1980). ³ S. N. Slilaty, V. H. Aposhian, Science, v. 220, p. 725 (1983). ⁴ M. Wigler, S. Silverstein, I. S. Lee e. a., Cell, v. 11, p. 223 (1977). ⁵ Г. П. Георгиев, Ю. В. Ильин, А. П. Рысков и др., Генетика, т. 17, с. 222 (1981). ⁶ P. M. Bingham, M. G. Kidwell, G. M. Rubin, Cell, v. 29, p. 995 (1982). ⁷ G. M. Rubin, A. C. Spradling, Science, v. 218, p. 343 (1982). ⁸ Y. Shimizu, K. Yoshida, Ch. Ren e. a., Nature, v. 302, p. 587 (1983). ⁹ R. J. R. Shmookler, Ch. K. Lumpkin, J. R. McGill e. a., Nature, v. 301, p. 394 (1983). ¹⁰ A. C. Spradling, G. M. Rubin, Science, v. 218, p. 341 (1982). ¹¹ J. Viera, J. Messing, Gene, v. 19, p. 259 (1982). ¹² P. W. S. Rigby, M. Diekmann, C. Rhodes e. a., J. Mol. Biol., v. 113, p. 237 (1977). ¹³ O. N. Danilevskaya, E. V. Kurenova, B. A. Leibovitch e. a., Mol. gen. genet., v. 197, p. 392 (1984).

УДК 577.322

МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

А. Г. Габриелян, А. Г. Аракелян, Р. А. Захарян

Мембранный ДНК-связывающий белок—стабилизатор ДНК

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. К. Карагезяном 23/VI 1987)

Ранее нами получены данные о том, что компетентность эукариотических клеток к акцепции и транспорту ДНК на первом этапе генетической трансформации обеспечивается специфическим связыванием трансформирующей ДНК с ДНК рецепторными белками плазматической мембраны клеток (^{1 2}). Эти результаты были подтверждены в работе (³). С целью выяснения молекулярного механизма процесса переноса экзогенной ДНК через плазматическую мембрану клеток нами начаты исследования ДНК-связывающих белков плазматической мембраны печени крысы.

Плазматические мембраны клеток печени крысы получали по методике (⁴). ДНК-связывающие белки выделяли по (⁵) методом аффинной хроматографии на ДНК, иммобилизованной на целлюлозе. Использовались трижды депротенинизированная ДНК тимуса телят («Сигма») и целлюлоза Whatman CF—11. Препараты нативной и денатурированной ДНК-целлюлозы готовили модификацией метода (⁵). Элюцию белков производили буфером, содержащим 0,5 М NaCl.

Общую фракцию ДНК-связывающих мембранных белков фракционировали на колонке с сефадексом G—50 fine на микроколоночном жидкостном хроматографе «Обь», позволяющем одновременно регистрировать поглощение в проточной микрокювете при заданных длинах волн. Измерения вели при 230, 260, 280 и 330 нм. Спектры растворов ДНК и белков получали на спектрофотометре Spesord M—40.

На рис. 1 показана хроматограмма белков с нативной ДНК-цел-

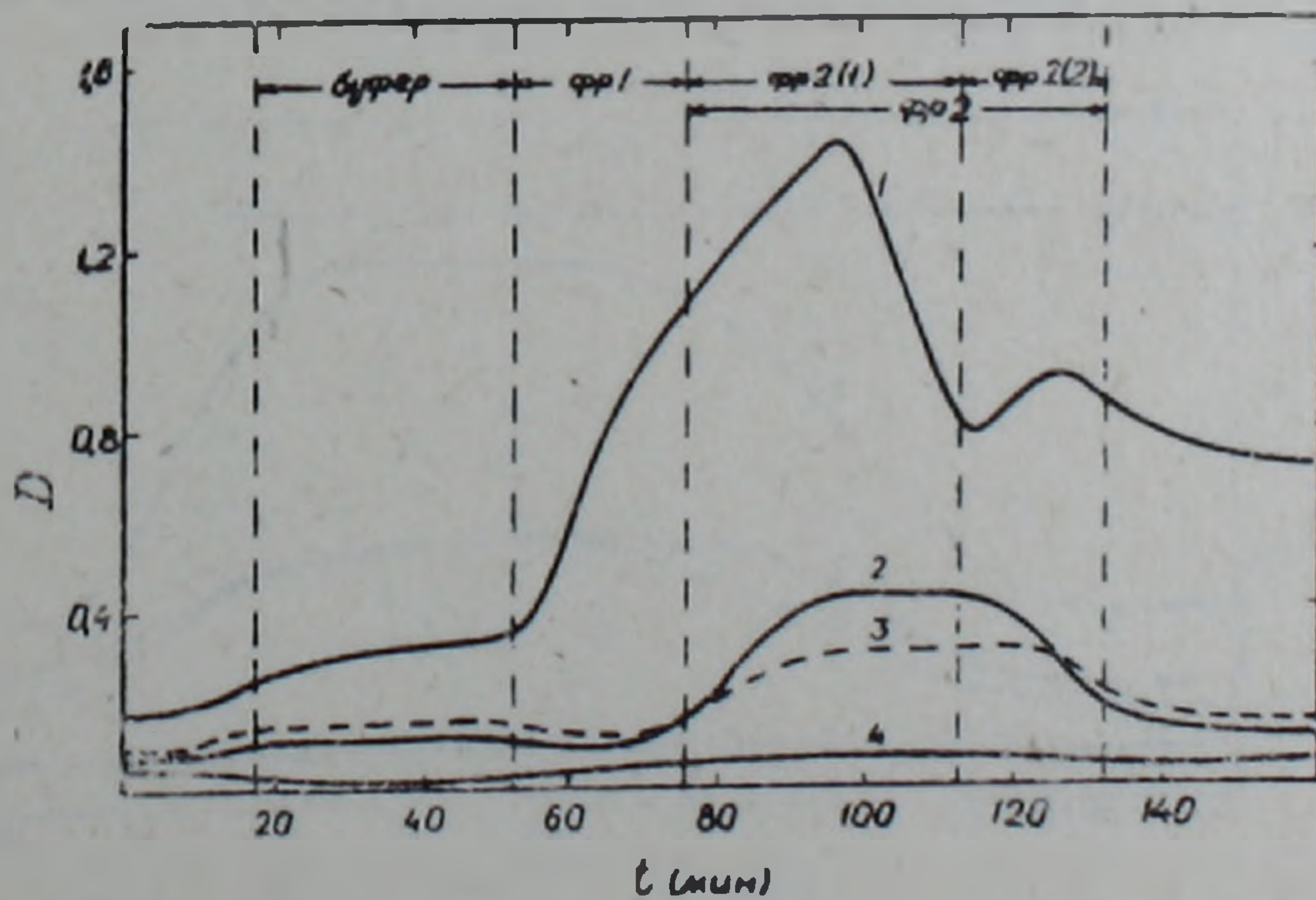


Рис. 1. Хроматограмма мембранных белков, полученных с нативной ДНК-целлюлозной колонки: поглощение при 230 (1), 280 (2), 260 (3) и 330 (4) нм

люлозной колонки. Выделены 2 основные фракции. Тотальный белок и фракция 1 действуют как дестабилизатор нативной структуры ДНК, а фракция 2 приводит к увеличению термостабильности ДНК и уменьшению интервала плавления (6).

На рис. 2 изображены спектральные характеристики тотального белка (кривая 1) и фракции 2 (кривая 2) белка-стабилизатора, обла-

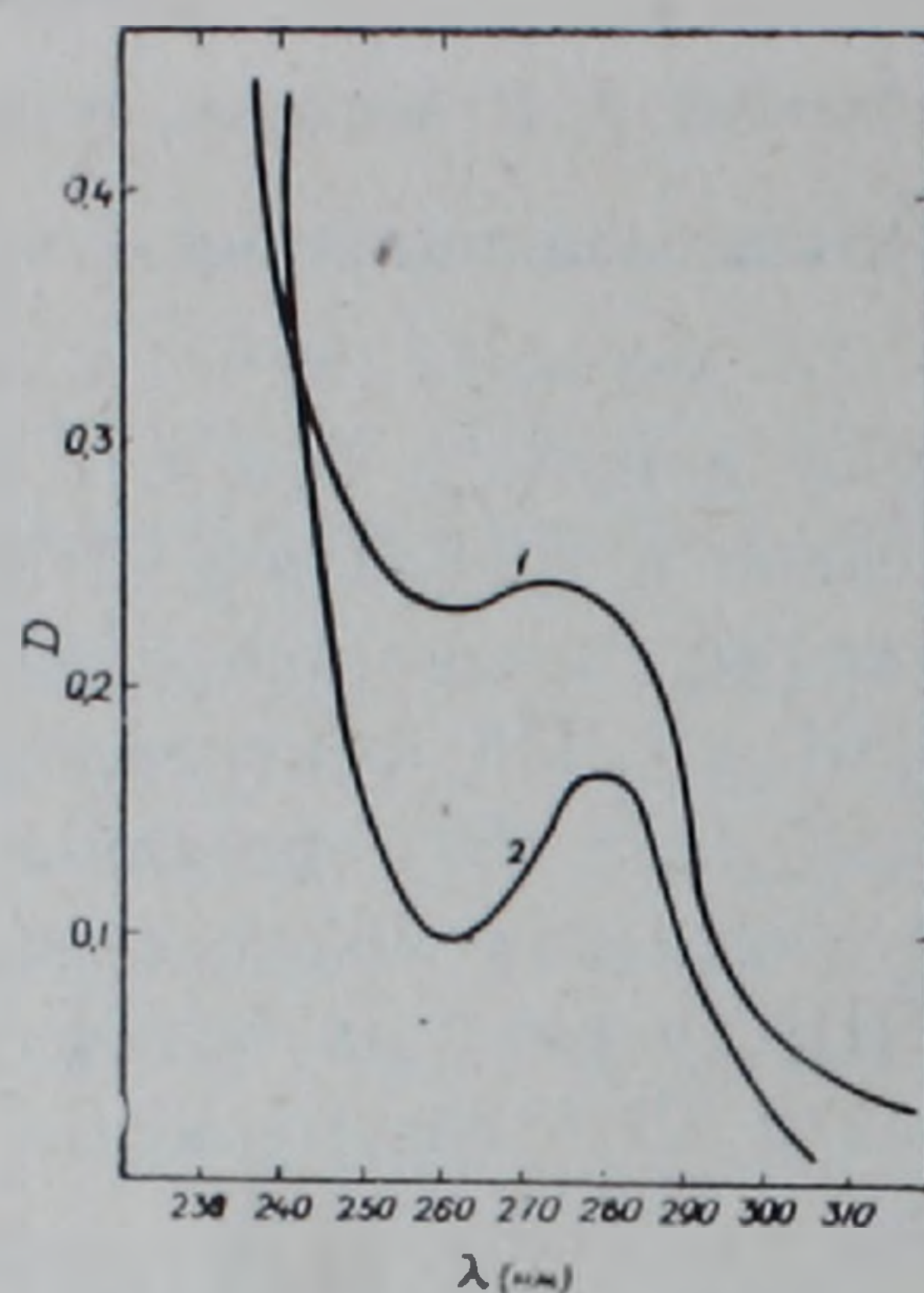


Рис. 2. Ультрафиолетовые спектры поглощения белков: 1 —тотального, 2—фракции-стабилизатора

дающего максимумом поглощения при 280 нм. Такой спектр указывает на наличие большого числа ароматических аминокислот в белковой макромолекуле.

Известно, что параметры перехода спираль $\rightleftharpoons$ клубок ДНК зависят от факторов, присутствующих в растворе. Если лиганд стабилизирует ДНК, смещая термодинамическое равновесие в переходе в сторону нативной ДНК, то он преимущественно связывается с нативной формой ДНК. Поэтому белок-стабилизатор должен сильно связываться с нативной ДНК и не связываться (или слабо связываться) с денатурированной. Как можно видеть на рис. 3, белок, полученный с

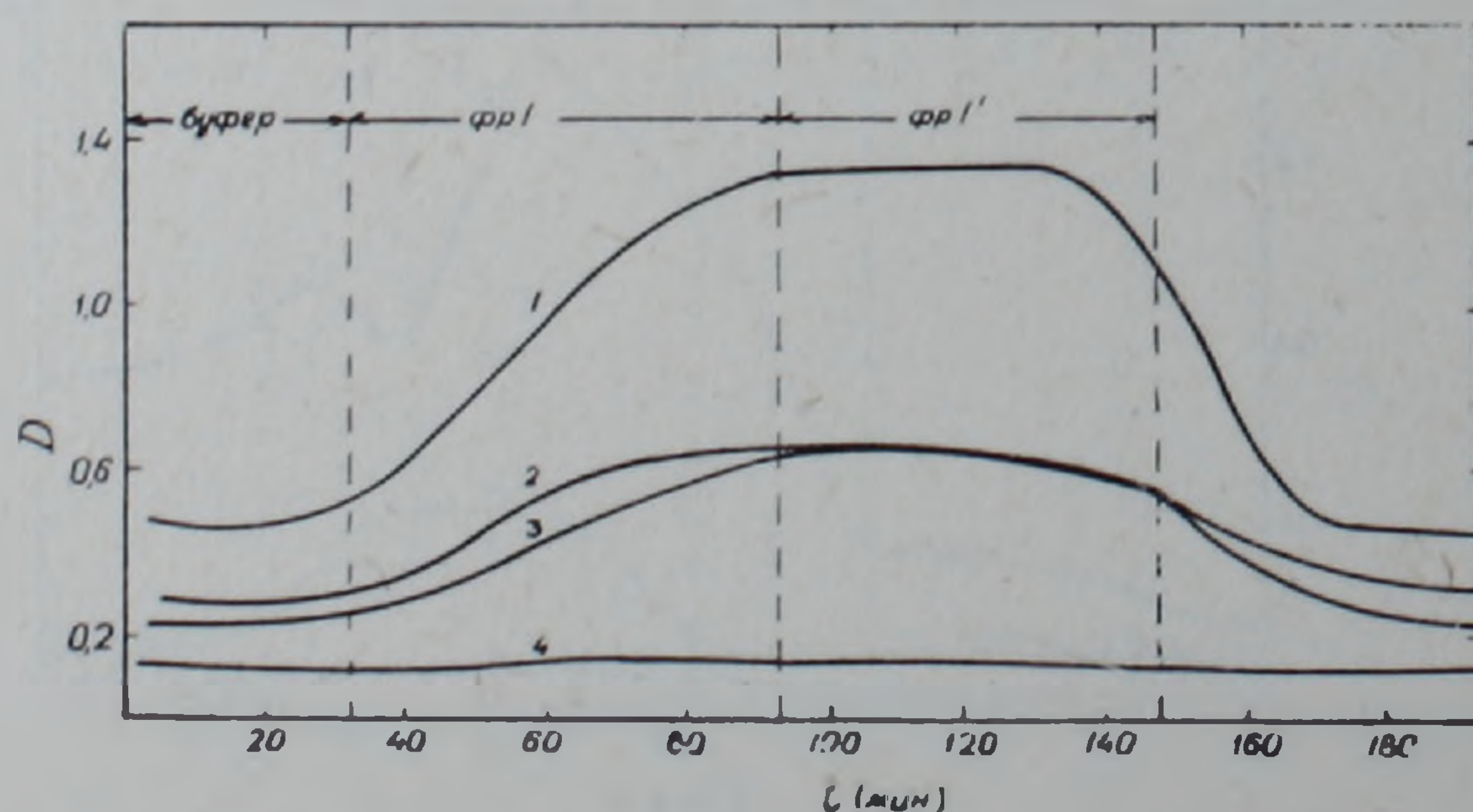


Рис. 3. Хроматограмма мембранных белков, полученных с денатурированной ДНК целлюлозной колонки; поглощение при 230 (1), 260 (2), 280 (3) и 330 (4) нм

колонки с денатурированной ДНК-целлюлозой, не содержит фракции-стабилизатора.

Итак, белок-стабилизатор получается лишь при элюции с колонок с нативной, но не денатурированной ДНК-целлюлозой.

Институт экспериментальной биологии
Академии наук Армянской ССР

Ա. Գ. ԳԱԲՐԻԵԼՅԱՆ, Հ. Հ. ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ, Խ. Ա. ԶԱԽԱՐՅԱՆ

ԴՆԹ-ն կայունացնող ԴՆԹ-կապող մեմբրանային սպիտակուց

ԴՆԹ-ցելյուլոզա աֆինային բրոմատոգրաֆիայի եղանակով առնետների լյարդի բջիջների պլազմատիկ մեմբրաններից անջատված են ԴՆԹ-կապող սպիտակուցներ: Սպիտակուցային ֆրակցիաներից մեկը, որի կլանման սպեկտրը մաքսիմում ունի 280 նմ-ի վրա, ուժեղ կայունացնող ադ-դեսուսն է գործում ԴՆԹ-ի հետ փոխադրելիս:

Այդ ֆրակցիան հնարավոր է անջատել միայն այն դեպքում, երբ ցելյուլոզայի վրա իմմոբիլիզացված ԴՆԹ-ն նատիվ է, այլ ոչ թե դենատուրացված:

ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ Р. А. Захарян, К. С. Карагезян, Структура и функция белков и нуклеиновых кислот 6-ой двусторонний симпозиум СССР—Франция, 1982. ² А. Г. Габриелян, К. С. Карагезян, Р. А. Захарян, в кн.: Вопросы молекулярно-клеточной биологии, Изд. АН АрмССР, Ереван, 1983. ³ G. Gabor, R. M. Bennett, Biochem. Biophys. Res. Commun, v. 123, p. 3 (1984). ⁴ Биохимические исследования мембран. Под ред. Э. Мэдди, Мир, М., 1979. ⁵ B. H. Alberts, G. Herrick, Meth. Enzymol., v. 21D, p. 198--217 (1971). ⁶ А. Г. Габриелян, А. Г. Аракелян, Р. А. Захарян, в кн.: Конформационные изменения биополимеров в растворах, Материалы VI Всесоюз. симпозиума, Тбилиси, 1985.

УДК 611.616—076.4; 616.9—092.6/9; 616—006.34.04

МОРФОЛОГИЯ

Л. Н. Мкртчян, Б. А. Езданян, К. Р. Манвелян, Д. М. Даллакян

К ультраструктурной характеристике клеток перевиваемой остеогенной саркомы крыс

(Представлено академиком АН Армянской ССР О. Г. Баклаваджяном 1/VIII 1987)

Хотя до сих пор электронная микроскопия не раз применялась с целью изучения ультраструктуры как нормальной костной ткани, так и опухолей, развивающихся из нее, некоторые вопросы в этой области остаются еще недостаточно освещенными. Наиболее полное представление об ультраструктуре нормальной костной ткани человека мы находим в монографии Горна ⁽¹⁾, в которой впервые было обращено внимание на весьма характерную особенность настоящих костных клеток (остеоцитов), содержащих особые вакуоли, вокруг которых имеются большие скопления зерен гликогена. О наличии характерных скоплений гликогена вокруг вакуоли в клетках саркомы Юинга упоминалось Ю. Н. Соловьевым и др ⁽²⁾.

Нами при помощи электронного микроскопа изучалась ультраструктура клеток перевиваемой остеогенной саркомы крыс. Как известно, перевиваемые штаммы являются ценными моделями, наиболее адекватно воспроизводящими в условиях эксперимента процессы, протекающие в организме человека при злокачественном росте. Штамм перевиваемой остеогенной саркомы был получен и выведен в линию О. П. Савельевой ⁽³⁾ в НИИ онкологии им. Н. Н. Петрова МЗ СССР из опухоли, индуцированной у крыс радиосактивным фосфором.

Для электронно-микроскопического исследования брали кусочки из периферической зоны опухоли и фиксировали в 2,5%-ном растворе глютаральдегида и 1%-ном растворе четырехоксида осмия, обезвоживали в ацетоне и заливали в аралдит. Ультратонкие срезы были приготовлены на ультрамикротоме ЛКБ—111, проконтрастированы цитратом свинца и просмотрены в электронном микроскопе Тесла—500.

Ультраструктурно основная масса опухоли представлена клетками с большими ядрами неправильной формы. Резко изломанные неровные контуры ядер объясняются наличием большого количества глубоких инвагинаций ядерной оболочки, что, по-видимому, способствует доставке питательных веществ ядерным функциональным компонентам в условиях плохого кровоснабжения опухоли. В большинстве ядер ядрышко попадает в срез, что указывает на то, что в каждом ядре их по крайней мере два или несколько. Об этом свидетельствуют и нередкие находки двух ядрышек в одном срезе ядра.

Хроматин в ядрах опухолевых клеток имеет дисперсный харак-

тер. т. е. он в основном распределен равномерно по всему объему ядра и не имеет выраженной маргинации. Благодаря светлому основному фону ядра четко контурированы, и эухроматиновые участки хроматина ясно отличаются от гетерохроматиновых. Рибосомный компонент хроматина везде хорошо виден, за исключением участка ядрышкового хроматина. Двуконтурность ядерной оболочки не везде выражена, и это можно объяснить наличием электронно-плотной массы между ее наружной и внутренней мембранами.

Цитоплазма этих клеток не содержит большого количества оргanelл. В каждой клетке в срез попадают, как правило, несколько митохондрий и небольшие группы разрозненных профилей шероховатого эндоплазматического ретикулума (ШЭР). Митохондрии обычно выглядят набухшими, с редуцированными кристами, а в узких цистернах ШЭР содержится масса умеренной электронной плотности.

Наиболее характерной особенностью описываемых клеток остеогенной саркомы является содержание в них большого количества гликогена. Зерна этого включения обнаруживаются во всех участках цитоплазмы клетки, однако довольно специфическую картину представляют их большие скопления вокруг особых пустых вакуолей. Создается впечатление, что эти вакуоли находятся в какой-то функциональной связи с включениями гликогена (рис. 1).

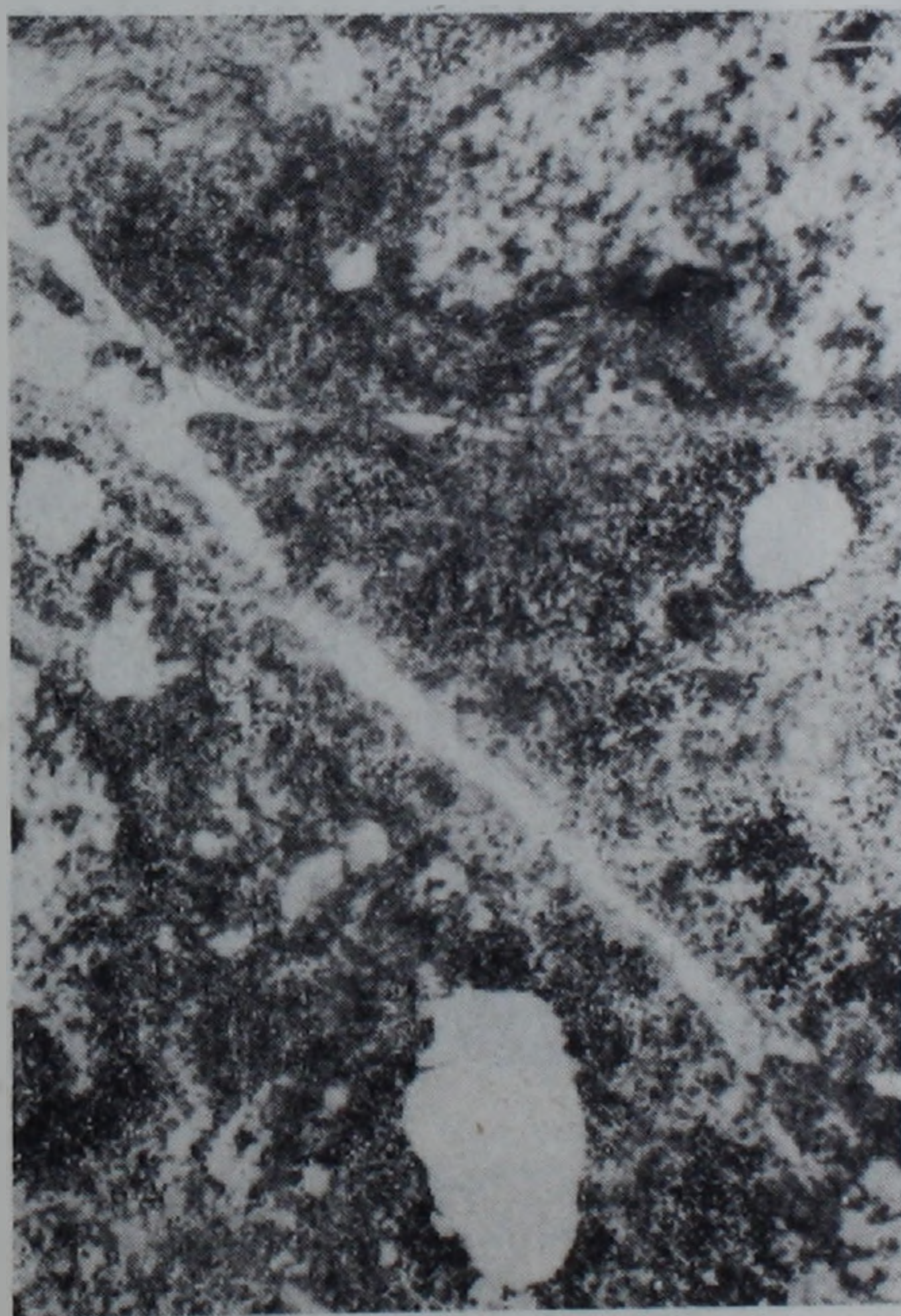


Рис. 1. Граница трех опухолевых клеток, плотно прилежащих друг к другу. В двух из них видны характерные скопления гликогена вокруг вакуоли. Ув. $\times 10\,000$

Хотя зерна гликогена по величине значительно превосходят рибосомы и поэтому их нетрудно отличить друг от друга, все же в цитоплазме свободные рибосомы скорее идентифицируются по тому признаку, что они располагаются в более плотных участках, в отличие от зерен гликогена, вокруг которых цитоплазма электронно-оптически почти пустая. Естественно, рибосомы постоянно видны на стенках цистерн ШЭР.

Кроме описанных типичных клеток в перевиваемой остеогенной саркоме встречаются также клетки, которые в общих чертах похожи на описанные, но совершенно не содержат гликогена. Из общих особенностей этих клеток следует отметить их более неправильную форму, наличие очень широких межклеточных пространств вокруг них, которые могут содержать местами хлопьевидное межклеточное вещество. Среди них бывают и такие, которые содержат очень большое количество типичных розетковидных свободных полирибосом. Встречается также группа фибробластоподобных клеток, которые, по-видимому, должны считаться стромальными элементами опухоли (рис. 2). Судя

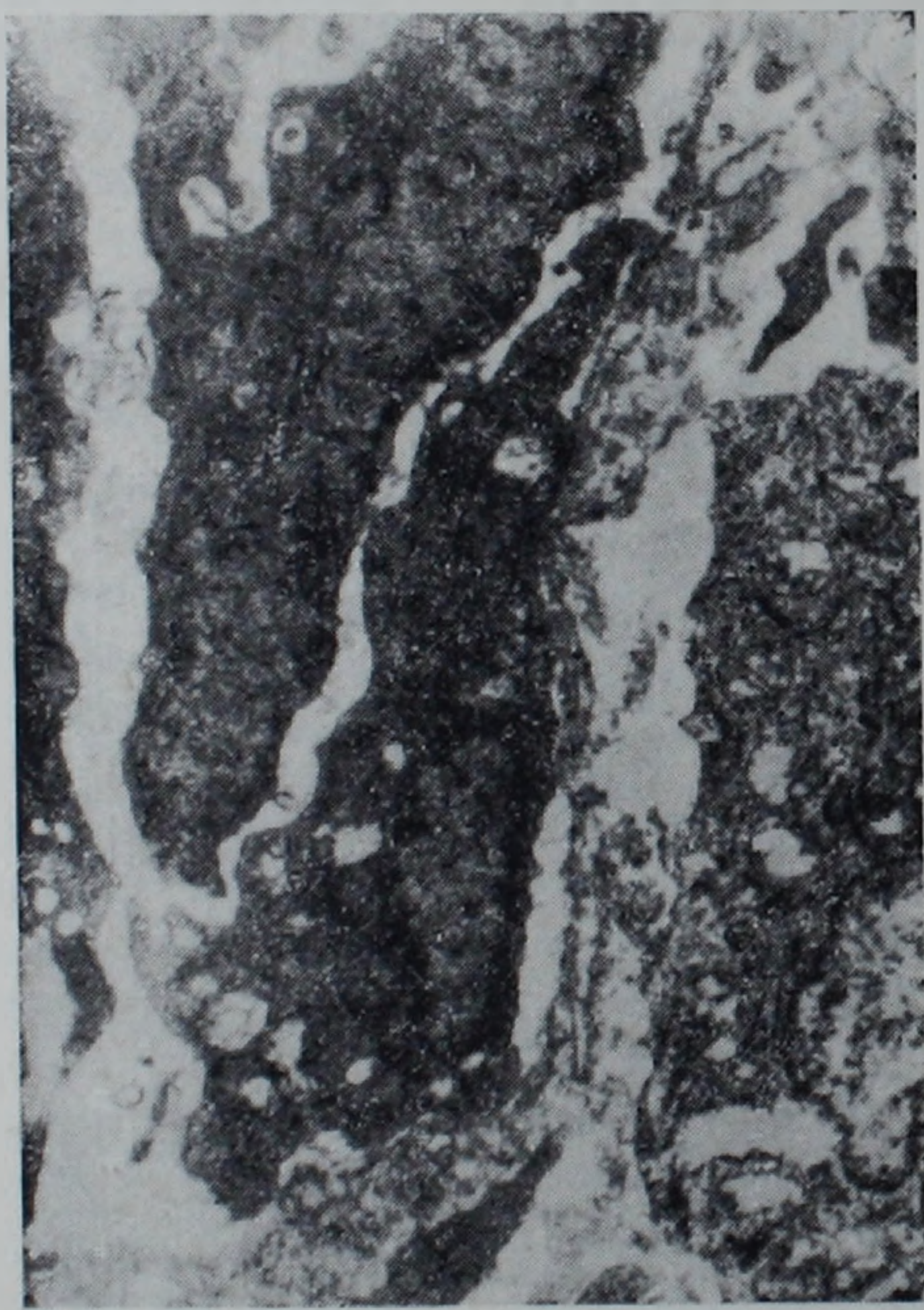


Рис. 2 Две стромальные фибробластические клетки из остеогенной саркомы крыс. Рядом срез участка опухолевой клетки, не содержащей зерен гликогена, но богатой свободными розетковидными полирибосомами. Ув. $\times 12\,000$

по тому, что они редко попадают в ультратонкие срезы и ШЭР в них состоит из спавшихся, а не расширенных цистерн, можно предположить, что стромальные элементы в этой опухоли находятся в пассивном состоянии. Об этом косвенно говорят и редко встречающиеся сре-

зы отдельных пучков коллагеновых волокон вокруг стромальных и опухолевых клеток.

Важно также отметить, что ультраструктурно мы постоянно обнаруживали картины спонтанной дистрофии и деструкции опухолевых клеток. Вызванные, безусловно, нарушениями трофики клеток, эти процессы, по-видимому, могут принять разные направления и в зависимости от этого иметь различные исходы.

Таким образом, мягкотканый компонент остеогенной саркомы у крыс состоит из клеток, имеющих довольно стереотипное ультраструктурное строение. В отличие от стромальных клеток в опухолевых клетках наиболее характерно почти постоянное присутствие больших скоплений зерен гликогена, в центре или с одного краю которых располагается пустая вакуоль.

Авторы выражают благодарность заведующему группой электронной микроскопии Института биохимии АН Армянской ССР К. С. Абрамяну за оказанную методическую помощь.

Онкологический научный центр им. В. А. Фанарджяна
Министерства здравоохранения Армянской ССР

Լ. Ն. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, Բ. Ա. ԵԶԻՍՆՅԱՆ, Կ. Ի. ՄԱՆՎԵԼՅԱՆ, Զ. Մ. ԴԱԼՍԷՅԱՆ

Առնետների փոխադաստվող օստեոգեն սարկոմայի բջիջների
ուլտրաստրուկտուր բնութագրման շուրջ

Էլեկտրոնային միկրոսկոպի օգնությամբ ուսումնասիրվել է առնետների օստեոգեն սարկոման: Ցույց է տրված, որ ուռուցքների բջիջների գերակշիռ մասում մշտապես բացահայտվում են գլիկոգենի հատիկների խոշոր կուտակումներ, որոնց կենտրոնում կամ մի եզրում տեղակայված է լինում մի դաշտարկ վակուոլ: Ստրոմալ ֆիբրոբլաստիկ բջիջները գլիկոգեն չեն պարունակում:

ЛИТЕРАТУРА — ԴՐԱՇԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ V. Horn, J. E. Parkyne University Brno, p. 161 (1979). ² Ю. Н. Соловьев, Л. В. Литвинова, И. Н. Соколова, в кн.: Ультраструктура опухолей человека, Медицина, М., 1981. ³ О. П. Савельева, Вопросы онкологии, т. 31, № 11, с. 70—73 (1985).

УДК 615.036.8:612

МЕДИЦИНА

В. Т. Ивашкин, Г. А. Минасян, О. Г. Агсеева, Т. Л. Конищева, В. М. Арутюнян

Влияние аденозина, гуаниловых нуклеотидов, агонистов β -адрено-
рецепторов и блокаторов H_2 -гистаминорецепторов на активность
гистаминчувствительной аденилатциклазы париетальных клеток
желудка крысы

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР К. Г. Карагезяном 31/III 1987)

Гистаминчувствительная аденилатциклаза (АЦ) париетальных клеток желудка—мембранный фермент, активно участвующий в регуляции желудочной секреции соляной кислоты. Это действие осуществляется посредством катализирования превращения АТФ в цАМФ; последний, влияя на ферменты-мишени внутри клетки, увеличивает продукцию ионов H^+ ($1-4$). Поэтому путем целенаправленного воздействия на АЦ возможно в значительной степени модулировать такой важный физиологический процесс, как секреция HCl . Это имеет большое практическое значение, особенно в гастроэнтерологии. Однако изучение желудочной гистаминчувствительной АЦ и особенно влияния на нее различных биологических и фармакологических агентов только началось, а имеющиеся данные пока что характеризуются неполнотой и фрагментарностью. Учитывая это обстоятельство, мы провели изучение влияния ряда мембраноактивных веществ на активность гистаминчувствительной АЦ париетальных клеток желудка крыс.

Получение препаратов, обогащенных париетальными клетками слизистой желудка крыс, и определение активности ферментного препарата описаны нами в ранее опубликованной статье.

Зависимость активации гистаминчувствительной АЦ от времени преинкубации с гистамином показана на рис. 1. Результаты свидетельствуют о том, что максимальная стимуляция активности АЦ достигается после 15-минутной преинкубации ферментного препарата с гистамином, а полное насыщение H_2 рецепторов гистаминчувствительной АЦ достигается за 60—90 мин. Влияние гуаниловых нуклеотидов (ГТФ) на взаимодействие гистамина и АЦ и характер кооперативного взаимодействия фермента с гистамином представлены на рис. 2.

Гуаниловые нуклеотиды значительно влияли на характер взаимодействия фермента с гистамином. Так, добавление ГТФ в концентрации 10^{-5} М практически на два порядка снижало концентрацию гистамина, вызывающую полумаксимальную активацию фермента (2×10^{-7} против 2×10^{-5} М); степень активации в присутствии ГТФ достигала 250—300%. На основании этих результатов можно предположить, что состояние N-белка, с которым взаимодействует ГТФ, опре-

деляет функциональные свойства гистаминчувствительной желудочной АЦ. Что же касается характеристики взаимодействия фермента с лигандом, то степень кооперативности, вычисленная по методу Хилла, оказалось равной 0,65, что свидетельствует об отрицательном влиянии присоединения к АЦ первых молекул гистамина на присоединение всех последующих.

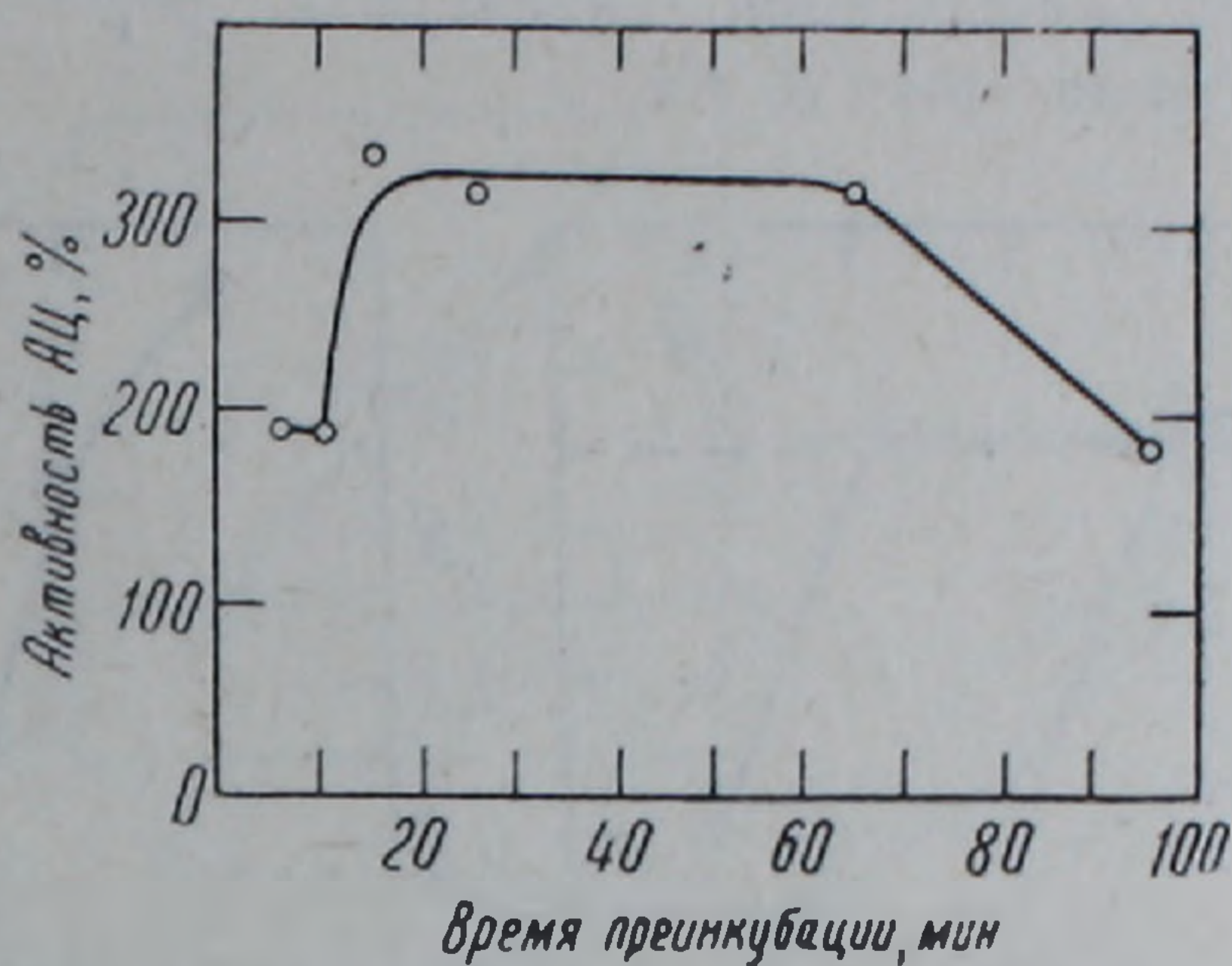


Рис. 1. Зависимость активации гистаминчувствительной аденилатциклазы от времени преинкубации с гистамином. Инкубационная среда содержала ГТФ (10^{-5} М). Содержание белка в пробе 160 мкг

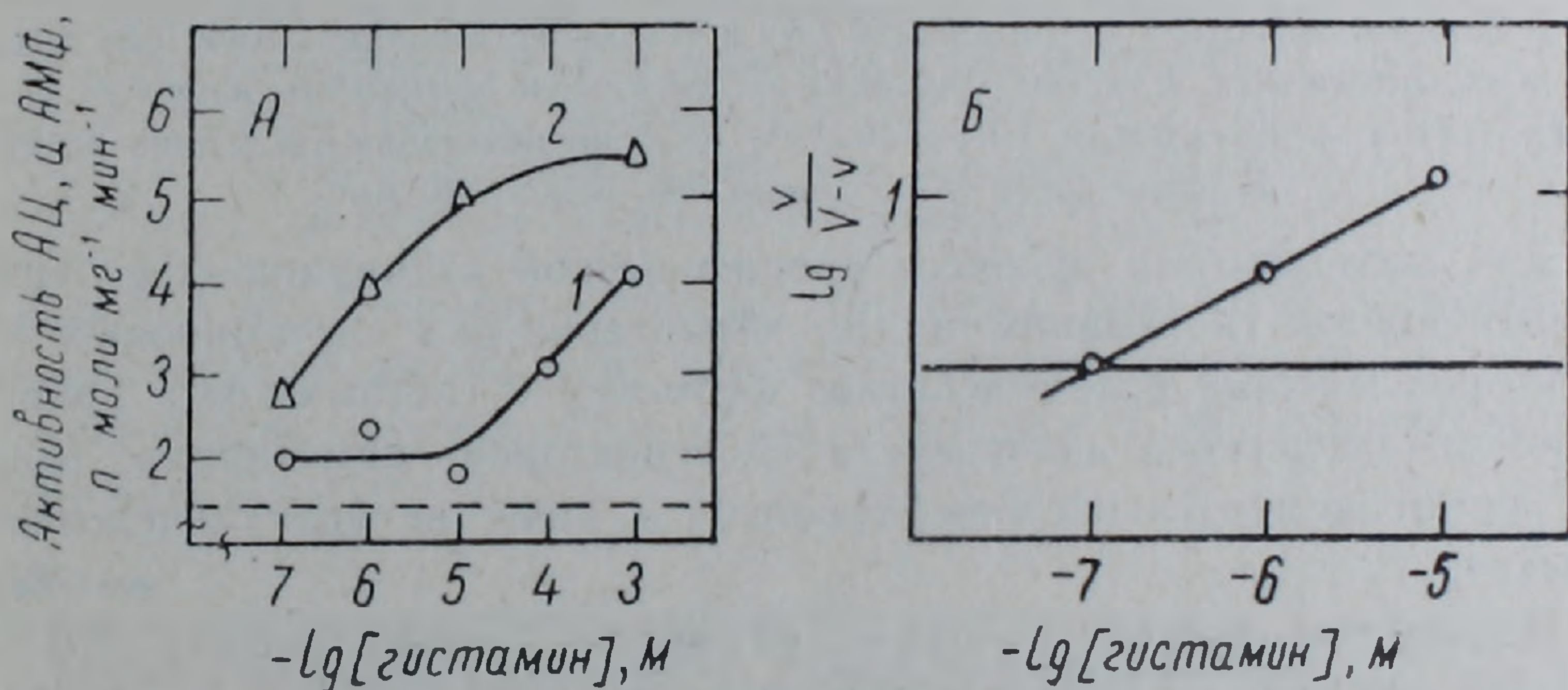


Рис. 2. Влияние ГТФ на взаимодействие аденилатциклазы с гистамином (А) и определение характера кооперативного взаимодействия фермента с гистамином (Б). А, 1—взаимодействие в отсутствие ГТФ; 2—взаимодействие в присутствии ГТФ (10^{-5} М). Б—график Хилла. Содержание белка в пробах—120 мкг

Результаты исследования влияния аденозина на активность АЦ представлены на рис. 3. Аденозин существенно влиял на активность фермента, ингибируя его в относительно высоких концентрациях (10^{-4} — 10^{-3} М), однако этот эффект модификатора оказывался существенно усиленным в случае, если в системе содержался гуаниловый нуклеотид (ГТФ, 10^{-5}). В таких условиях, во-первых, не наблюдалось активации фермента, во-вторых, потенцировался эффект аденозина, ингибирующее действие которого проявлялось в концентрациях 10^{-6} — 10^{-5} М. Это свидетельствует о том, что, как и постулируется в литера-

туре, аденозин в высоких концентрациях действует, ингибируя фермент через рецепторы, находящиеся на каталитической субъединице (низкое сродство, высокая концентрация модификатора), в присутствии же гуаниловых нуклеотидов ингибирующее действие опосредуется N-белком (высокое сродство, низкие концентрации модификатора). По-видимому, механизм низкого сродства реализуется и в случае ингибирования гистаминстимулированной активности фермента в отсутствие гуанилового нуклеотида (рис. 3, Б).

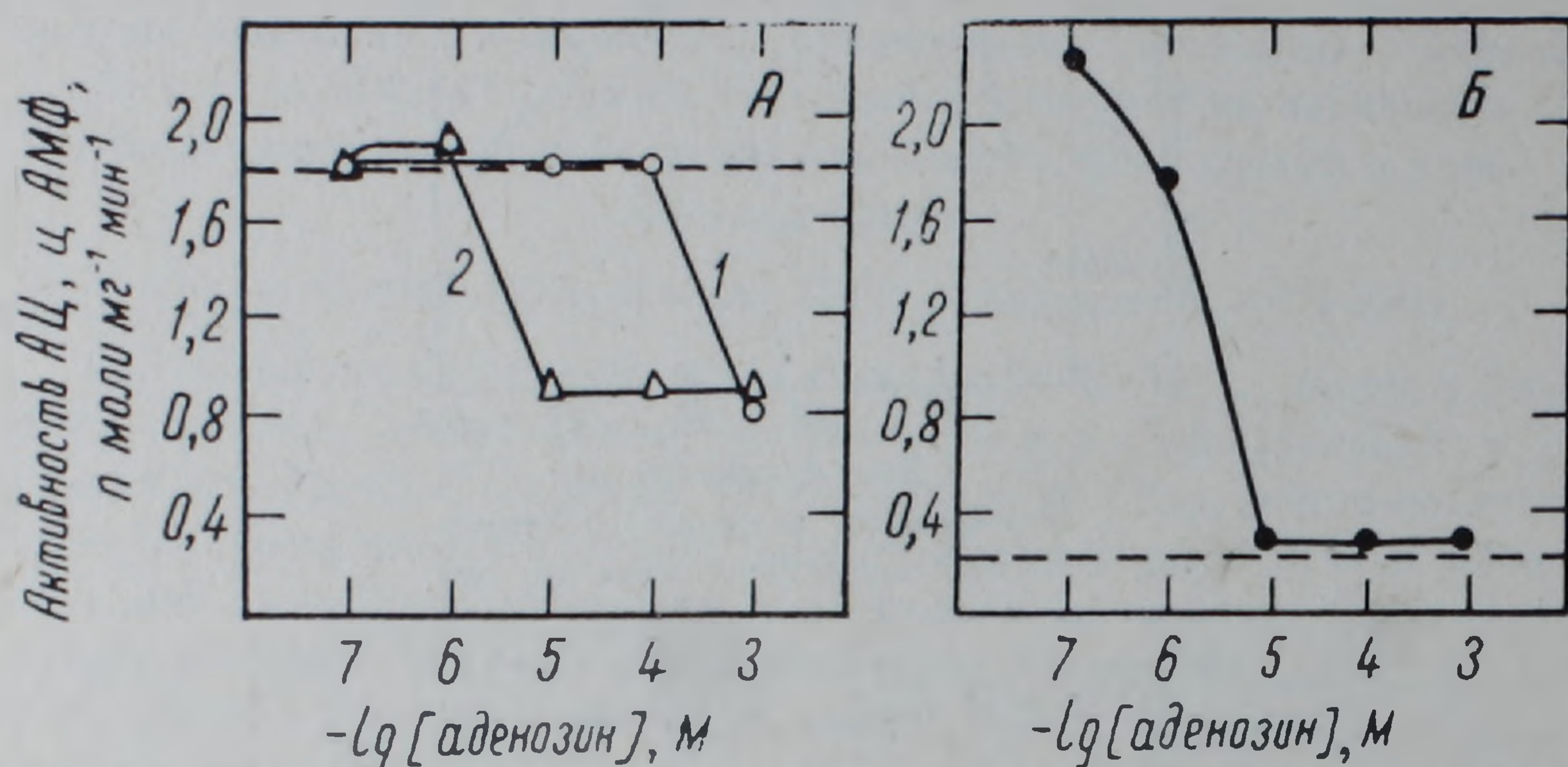


Рис. 3. Влияние аденозина на базальную (А) и гистаминстимулированную (Б) активность аденилатциклазы. Влияние аденозина на базальную активность измерено в отсутствие (1) и в присутствии ГТФ (10^{-5}M) (2); концентрация гистамина в серии Б равна $1 \times 10^{-3} \text{M}$, содержание белка 140 мкг

Для исследования процесса специфической активации АЦ париетальных клеток гистамином и для характеристики гистаминовых H_2 -рецепторов изучали взаимодействие фермента с гистамином в присутствии специфического антагониста H_2 -рецепторов—циметидина, вещества, применяемого в гастроэнтерологии в качестве антиульцерозного средства.

Циметидин, взятый в весьма невысоких концентрациях (10^{-8} — 10^{-6}M), оказывал существенный ингибирующий эффект на процесс активации АЦ гистамином, что свидетельствует о его высоком сродстве к ферменту (рис. 4, А). Построенный на основании экспериментальных данных вторичный график (график Шильда) позволяет оценить степень этого сродства: $K_{\text{ис}}$ для циметидина составляет $1,3 \times 10^{-8} \text{M}$.

Согласно литературным данным, агонисты β -адренергических рецепторов стимулируют активность АЦ в препаратах париетальных клеток (6).

В наших опытах введение изопротеренола в инкубационную среду также приводило к стимуляции аденилатциклазной активности. Исследование совместного действия изопротеренола и гистамина на АЦ париетальных клеток показало, что активация фермента агонистами H_2 - и β -рецепторов носит аддитивный характер.

Таким образом, на основании полученных данных выяснилось, что гистамин активирует АЦ, при этом полумаксимальная активация в

отсутствие ГТФ достигается при его концентрации $2 \times 10^{-5} \text{ M}$, а в присутствии 10^{-5} M ГТФ—при концентрации $2 \times 10^{-7} \text{ M}$. Специфический ингибитор гистаминовых H_2 -рецепторов—циметидин связывается с рецепторным участком фермента, $K_{\text{дис}} = 1,3 \times 10^{-8} \text{ M}$. ГТФ вызывает увеличение активации фермента в 2 раза, причем полумаксимальный эффект наблюдается при содержании ГТФ в инкубационной среде, рав-

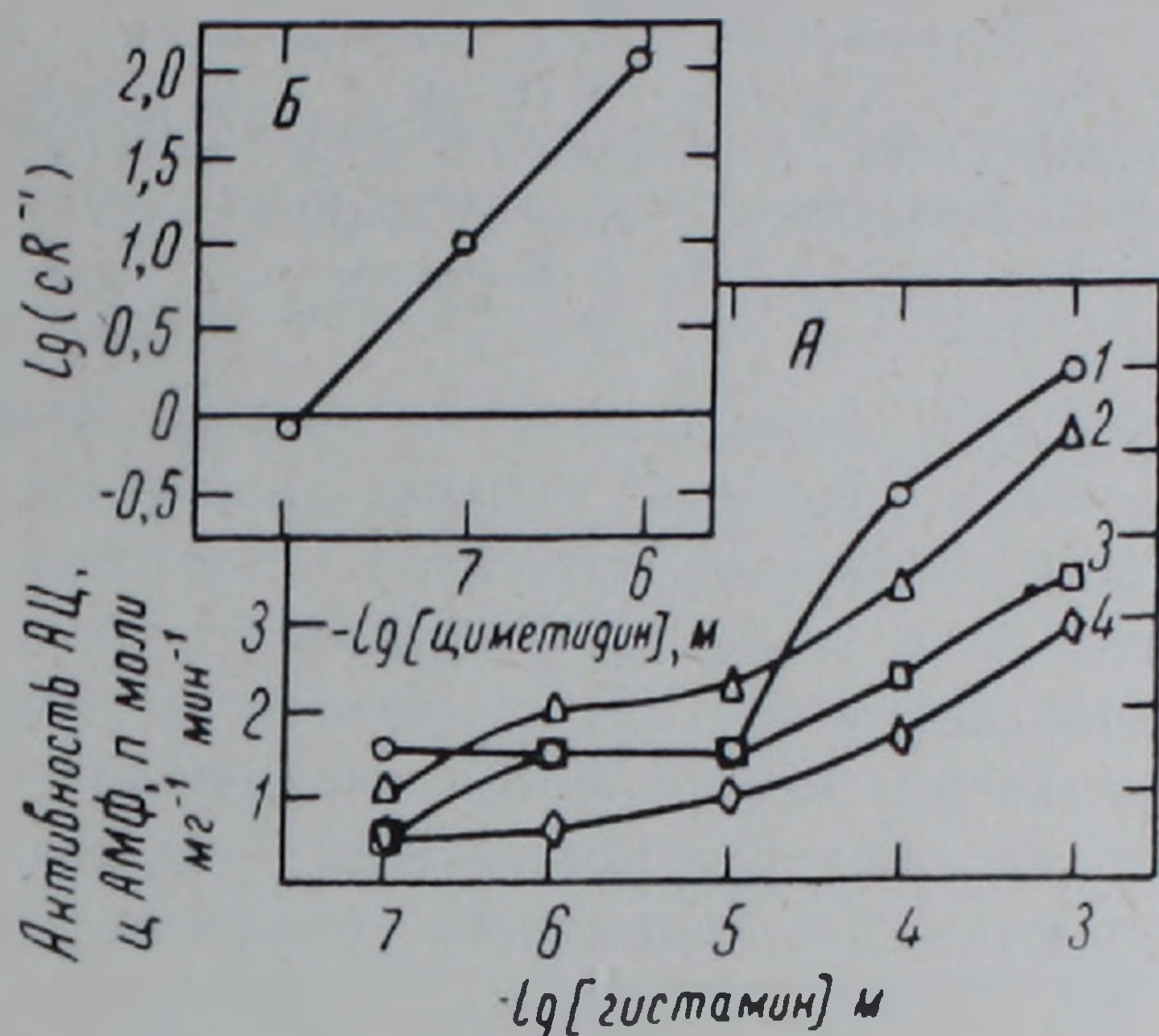


Рис. 4. Активация аденилатциклазы гистамином в отсутствие (1) и в присутствии увеличивающихся концентраций циметидина (2— 10^{-6} M , 3— 10^{-7} M , 4— 10^{-6} M). Определение $K_{\text{дис}}$ по методу Шильда (Б). Содержание белка в пробах 110 мкг

ном $1 \times 10^{-7} \text{ M}$. Аденозин—сильный ингибитор базальной и гистамин-стимулированной активности фермента. Полумаксимальное ингибиторное действие аденозина на АЦ в отсутствие ГТФ достигается при концентрации $4 \times 10^{-6} \text{ M}$.

Ереванский государственный медицинский институт
Военно-медицинская ордена Ленина Краснознаменная академия
им. С. М. Кирова

Վ. Տ. ԻՎԱՆՅԱՆ, Հ. Ա. ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Օ. Գ. ԱՅԵՆՎԱ, Տ. Լ. ԿՈՆԻՉԵՎԱ, Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Ադենոզինի, գուանիլ նուկլեոտիդների, β -ադրենոկոնեցեպտորների
ազոնիստների և H_2 -հիստամինադեցեպտորների անտագոնիստների
ազդեցությունն առնետի ստամոքսի պարիետալ բջիջների
հիստամինազգայուն ադենիլատցիկլազայի վրա

Ստամոքսի պարիետալ բջիջների ադենիլատցիկլազան կանոնավորում է
ստամոքսի աղաթթվի արտադրությունը:

Ցույց է տրված, որ հիստամինը խթանում է ադենիլատցիկլազայի ակ-
տիվությունը, իսկ հիստամինի H_2 -ռեցեպտորների ինհիբիտոր ցիմետի-
դինը՝ կապվում է ֆերմենտի ռեցեպտոր տեղամասի հետ: Գուանիլինո-

Ֆոսֆատը երկու անգամ բարձրացնում է ադենիլատցիկլազայի ակտիվությունը, իսկ ադենոզինը՝ ընդհակառակն, զգալիորեն ընկճում ֆերմենտի ակտիվությունը: Ֆերմենտի վրա խթանիչ հզոր ազդեցություն ունի β -ադրենոսեցեպտորների մեդիատոր իզոպրոտերենոլը:

ЛИТЕРАТУРА—ԻՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

¹ D. Fromm e. a., Gastroenterol, v. 2, p. 453—462 (1975). ² F. Brennan e. a., Proc. Soc. Exp. Biol. Med., v. 3, p. 725—730 (1975). ³ J. B. Harris, D. Alonso, Fed. Proc., v. 24, p. 1368—1376 (1965). ⁴ M. Rodbell e. a., in: Advances in cyclic nucleotide research, New York, Raven Press, v. 5, p. 3—29 (1975). ⁵ В. І. Иващенко и др., ДАН АрмССР, т. 85, №3 (1987). ⁶ W. J. Thompson e. a., Amer. J. Physiol., v. 1, p. 76—84 (1981).

УДК 612.53.58

ФИЗИОЛОГИЯ

Р. А. Арутюнян

Влияние периферического и центрального введения гистамина на температурный гомеостаз органов «ядра» организма

(Представлено академиком АН Армянской ССР О. Г. Баклаваджяном 20/IV 1987)

Литературные данные (¹⁻⁹) показывают, что несмотря на имеющиеся успехи в изучении влияния различных медиаторов на терморегуляционные особенности организма, многое в этой проблеме остается все еще мало изученным. В частности, мало данных о роли гистамина в регуляции температурного гомеостаза организма. Имеются сведения, что терморегуляционный эффект гистамина зависит от таких факторов, как доза, температура животного и среды, вид животного, скорость проникновения гистамина через гемато-энцефалический барьер и т. д.

В свете сказанного было интересно изучить изменение температуры органов «ядра» организма у ненаркотизированных кроликов в хронических опытах как при системном введении в организм гистамина, так и при его микроинъекции в терморегуляционные центры переднего и заднего гипоталамуса.

Изучение этого вопроса имеет также практическое значение, поскольку спектр действия гистамина весьма широк и он обладает выраженным фармакологическим и токсическим эффектом. Присутствие его в количествах, превышающих «физиологические» нормы, нередко вызывает нарушение нормальной жизнедеятельности организма, возникновение патологических явлений и расстройство функций.

Методом многочасовой высокочувствительной термометрии у ненаркотизированных кроликов определяли влияние периферического (внутривенного) и центрального (внутригипоталамического) введения гистамина дигидрохлорида на изменение температуры «ядра» организма в области переднего и заднего гипоталамуса, печени, брюшной полости, прямой кишки и внутришейных мышц.

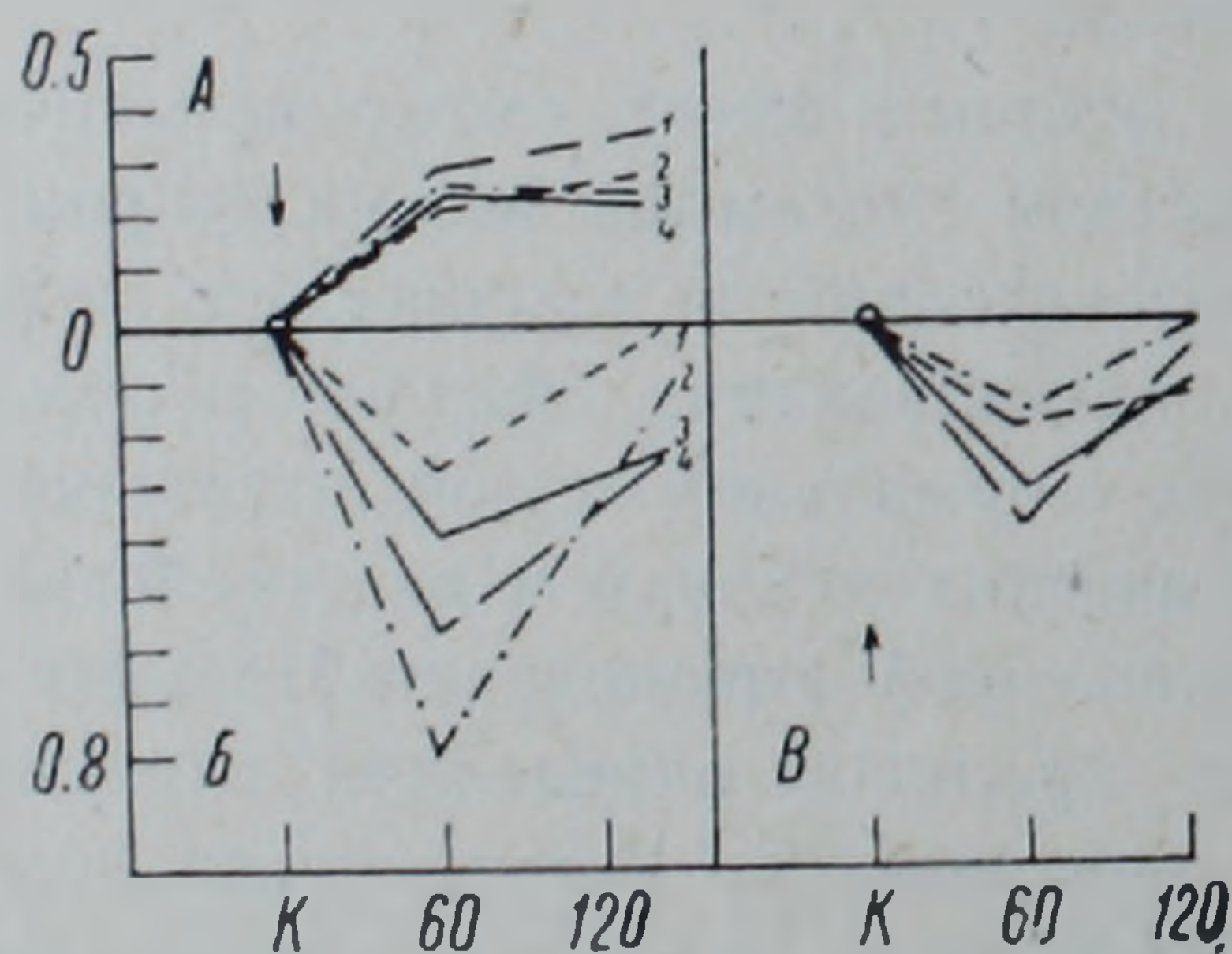
Для определения температуры органов «ядра» организма «рабочие» спай медноконстантановых термопар (диаметр каждой проволоки 0,1 мм) предварительно, за 6—7 дней до опытов, под нембуталовым наркозом вживляли в медиально-преоптическую область переднего гипоталамуса по координатам А₃, Л_{1.5}, Н₁₄ и в медиально-мамиллярную область заднего гипоталамуса по координатам Р₃, Л₁, Н₁₇ согласно атласу (¹⁰), а также в печень и брюшную полость. Для внутригипоталамического введения гистамина вставляли две канюли из инъекционной иглы. Концы от термопар и канюль помещали в специальную коробочку, фиксированную на спине и черепе протакрилом. «Свободные»

спан термонар помещали в ультратермостат типа У—10, где поддерживалась эталонная температура. Термонары, определяющие температуру прямой кишки и внутришейных мышц, прикрепляли к животному перед каждым опытом. Запись температуры исследуемых точек производилась в течение всего опыта 12-канальным самопишущим потенциометром типа ЭПП—09МЗ, который был подключен к выходу фотоэлектрического усилителя типа Ф—116/2 с чувствительностью измерения температуры $0,02^{\circ}\text{C}$.

Опыты проводились в двух сериях. В первой серии изучалось внутривенное, а во второй—внутригипоталамическое влияние гистамина на изменение температуры органов «ядра» организма в пределах температуры среды $20\text{—}25^{\circ}\text{C}$. Опыты каждой серии состояли из двух частей. В первой части в течение 30 мин проводили контрольную регистрацию температуры органов «ядра» организма, затем внутривенно (в дозе 250 мкг/кг , в объеме $0,17\text{ мл/кг}$) или внутригипоталамически (в дозе 44 мкг/кг , в объеме $0,05\text{ мл/кг}$) вводили гистамин, после чего начиналась вторая часть опыта, во время которой в течение 2 ч продолжали регистрацию температуры исследуемых точек. На 10 кроликах живой массой 3000 г проведено 46 опытов, причем 26 опытов проведено в первой серии экспериментов, а 20—во второй.

Опытами первой серии установлено, что внутривенное введение гистамина вызывает выраженный гипертермический эффект и в течение 2 ч температура прямой кишки, внутришейных мышц, печени и брюшной полости повышается в пределах $0,22\text{—}0,33^{\circ}\text{C}$ (рисунок).

Результаты второй серии экспериментов показали, что в течение 60 мин после внутригипоталамического введения гистамина наступает



Изменение температуры органов «ядра» организма после введения гистамина внутривенно (А), в передний (Б) и задний (В) гипоталамус. А. 1—изменение температуры в печени; 2—во внутришейных мышцах; 3—в брюшной полости; 4—в прямой кишке. Б и В. 1—изменение температуры во внутришейных мышцах; 2—в переднем гипоталамусе; 3—в заднем гипоталамусе; 4—в прямой кишке. По оси абсцисс—контроль (К) и время опыта в мин, по оси ординат—уровень (ΔT) изменения температуры органов «ядра» организма в $^{\circ}\text{C}$

гипотермический эффект, который при введении гистамина в передний гипоталамус проявляется значительно сильнее, чем при его введении в задний гипоталамус. Действительно, из рисунка видно, что в первом случае температура прямой кишки, внутришейных мышц, заднего и переднего гипоталамуса снижалась в пределах $0,25-0,67^{\circ}\text{C}$, а во втором— $0,15-0,35^{\circ}\text{C}$, или вдвое меньше ($P < 0,05$). Гипотермический эффект носит временный характер и в течение 2 ч температурный гомеостаз органов «ядра» организма достигает исходного фона.

Дополнительные эксперименты с введением в гипоталамус физиологического раствора в объеме 0,05 мл/кг особых изменений в температуре органов «ядра» организма не выявили.

На основании полученных данных можно заключить, что терморегуляционный эффект гистамина зависит от путей его введения в организм. При внутривенном введении он вызывает гипертермический эффект, а при его введении в терморегуляционные центры гипоталамуса наблюдается гипотермический эффект. Механизм гипертермического эффекта внутривенного введения гистамина сложен и недостаточно изучен.

Известно, что в нормальных условиях жизнедеятельности организма повышение уровня биологически активных веществ одного ряда по закону отрицательной обратной связи уравнивается сдвигами в содержании веществ противоположного ряда. Следовательно, надо предполагать, что повышение в крови концентрации гистамина как медиатора парасимпатического действия приводит к увеличению катехоламинов в организме и повышению активности симпатической нервной системы. Повышение активности последней усиливает химическую терморегуляцию и теплообразование в организме и повышает температурный уровень его «ядра». Такое заключение подтверждается заметным повышением температуры печени ($\text{ДТ}+0,33^{\circ}\text{C}$) и внутришейных мышц ($\text{ДТ}+0,27^{\circ}\text{C}$) как основных органов, играющих важную роль в процессе химической терморегуляции.

Механизм внутригипоталамической регуляции температурного гомеостаза гистамином также недостаточно выяснен. Известно, что в гипоталамусе наряду с адренореактивными, серотонинореактивными, ГАМК-реактивными нейронами имеются и гистаминореактивные рецепторы, которые по данным (¹¹), участвуют в регуляции температурного гомеостаза организма, причем при возбуждении центральных гистаминовых H_1 рецепторов у кошек наблюдается гипотермия, а при возбуждении центральных H_2 рецепторов—гипертермия.

Исходя из этих данных надо предполагать, что внутригипоталамическое введение гистамина возбуждает гипоталамические H_1 рецепторы и через них повышает активность гипоталамических теплочувствительных нейронов. Повышение активности последних снижает интенсивность химической терморегуляции организма, о чем свидетельствует снижение температуры внутришейных мышц как основных эффекторов теплообразования.

Из полученных данных можно также заключить, что гипотермический эффект центрального действия гистамина проявляется сильнее (в 2 раза) при введении гистамина в передний гипоталамус по срав-

нению с задним. Это дает основание предполагать, что гистамино-реактивные нейроны представлены в переднем гипоталамусе больше, чем в заднем. Такое предположение подтверждается и литературными данными (¹²), указывающими на наличие гистаминовых рецепторов в обоих отделах гипоталамуса.

Терморегуляционный эффект внутригипоталамического действия гистамина также носит временный характер, и изменяющиеся температурные показатели органов «ядра» организма восстанавливаются в течение 2 ч.

Институт физиологии им. Л. А. Орбели
Академии наук Армянской ССР

Թ. Ս. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

Հիստամինի ծայրամասային և կենտրոնական ներարկման ազդեցությունը օրգանիզմի «կոռեկտի» ջերմության հոմեոստազի վրա

Մատչելի է, որ հիստամինի ներերակային ներարկումը հարուցում է հիպերթերմիկ արդյունք ու լյարդի, որովայնի խոռոչի, պարանոցային մկանների և ուղղաղի ջերմությունը բարձրացնում $0,22-0,33^{\circ}\text{C}$:

Հիստամինի ներհիպոթալամոսային ներարկումը հարուցում է հիպոթերմիկ արդյունք և նշված օրգանների ու հիպոթալամոսի ջերմությունը իջեցնում $0,25$ -ից մինչև $0,67^{\circ}\text{C}$:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ О. Г. Баклавийан, Центральные механизмы гомеостаза. Руководство по физиологии. «Частная физиология нервной системы», Наука, М. с. 218—290 (1983).
² И. С. Баян и др., в сб.: Физиология и фармакология терморегуляции. Изд. Минского мед. ин-та, Минск, 1978. ³ В. Н. Гурин, в сб.: Физиология и фармакология терморегуляции. Изд. Минского мед. ин-та, Минск, 1978. ⁴ M. Fabini-Szebeli, J. Szebell, Acta physiol. Scand., fasc 1, p. 1—9 (1952). ⁵ W. G. Clare e. a., J. Physiol., v. 261, n. 1, p. 235—253 (1976). ⁶ P. Lomax, M. Green, in: Temperature regulation and drug action. Proc. Symp., Paris, 1974. ⁷ J. Andre, Histamine: endogen et thermoregulation. Biol., Rouen v. 166, p. 1366—1369 (1972). ⁸ N. E. Brezenof, Experimentia, v. 26, fasc 1, p. 51—52 (1970). ⁹ P. Svetman, Brain Research, v. 127, n. 1, p. 173—178 (1977). ¹⁰ C. K. Sawyer e. a., J. Comp. Neurology, v. 101, n. 3, p. 801—824 (1954). ¹¹ J. W. Blanc e. a., Mature, London, v. 236, p. 385—390 (1972). ¹² L. Finsh, Neuropharmacology, v. 16, n. 3, p. 211 (1977).

