

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

Զ Ե Կ Ո Ւ Յ Ց Ն Ե Ր
Д О К Л А Д Ы

XLVIII, № 2

1969

Խմբագրական կոլեգիա

Редакционная коллегия

Է. Գ. ԱՅՐԻՆՅԱՆ, կենսաբանական գիտությունների բեկնածու, Ա. Թ. ԲԱՐԱՅԱՆ, ըստ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Ա. ԹԱԼԱԼՅԱՆ, ըստ ԳԱ քղրակից-անդամ, Վ. Մ. ԹՈՒԼՅԱՆ, ըստ ԳԱ քղրակից-անդամ, Վ. Հ. ՀԱՄԲԱՐՉՈՒՄՅԱՆ, ակադեմիկոս, Վ. Հ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, ըստ ԳԱ քղրակից-անդամ (պատ. խմբագրի տեղակալ), Ս. Հ. ՄԻՐՋՈՅԱՆ, ըստ ԳԱ քղրակից-անդամ, Ս. Ս. ՄԿՐՏՉՅԱՆ, ըստ ԳԱ ակադեմիկոս, Ա. Գ. ՆԱԶԱՐՈՎ, ըստ ԳԱ ակադեմիկոս (պատ. խմբագիր), Օ. Մ. ՍԱԳՈՆՋՅԱՆ, ըստ ԳԱ քղրակից-անդամ, Մ. Լ. ՏԵՐ-ՄԻՔԱՅԵԼՅԱՆ, ըստ ԳԱ քղրակից-անդամ:

В. А. АМБАРЦУМЯН, академик, Э. Г. АФРИКЯН, кандидат биологических наук, А. Т. БАБАЯН, академик АН АрмССР, В. О. КАЗАРЯН, чл.-корр. АН АрмССР (зам. отв. редактора), С. А. МИРЗОЯН, чл.-корр. АН АрмССР, С. С. МКРТЧЯН, академик АН АрмССР, А. Г. НАЗАРОВ, академик АН АрмССР (отв. редактор), О. М. САПОНДЖЯН, чл.-корр. АН АрмССР, А. А. ТАԼԻՄԼԻԱՆ, чл.-корр. АН АрмССР, В. М. ТАРАЯН, чл.-корр. АН АрмССР, М. Л. ТЕР-МИКАЕЛЯН, чл.-корр. АН АрмССР.

Բ Ո Վ Ա Ն Դ Ա Կ Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

էջ

ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Կ. Վ. Վիրաբյան — Պոլինոմիալ օպերատորային փնջերի մի դասի համար Ռ-ապատիկ լրիվության մասին 63

ԿԻՐԱՌԱԿԱՆ ՄԱԹԵՄԱՏԻԿԱ

Ս. Մ. Մխիթարյան — Առաջին սեռի գծային ինտեգրալ հավասարումների մի քանի դասերի էֆեկտիվ լուծման ու էրանց հետ կապված դիֆերենցիալ հավասարումների մասին 71

ՖԻԶԻԿԱ

Լ. Լ. Կրուչինսկի, Ֆ. Պ. Սաֆարյան — Բյուրեղների և բազմատոմ մոլեկուլների բազմապատիկ և բաղադրիչ հաճախականությունների տեսության շուրջը 79

ԱՆՍՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

Վ. Մ. Խառայան, Ս. Վ. Վարդանյան — Պերոենատ իոնի փոխազդեցությունը հիմնային ներկ նիլյան կապույտի հետ 83

ՈՐԳԱՆԱԿԱՆ ՔԻՄԻԱ

Վ. Ի. Իսազուլյանց, Ի. Ն. Պոկրովսկայա, Ս. Վ. Խոմկո, Ա. Գ. Շիլնիկովա, Ն. Ա. Ջալսարովա — Կամֆենի կոնդենսացումը ֆորմալդեհիդի հետ ԿՄ-2-ի ներկայությամբ 99

ՀՆԷԱԱՇԽԱՐՀԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ

Յու. Վ. Սայադյան — Շիրակի զոգավորության բուսականության պատմությանը և կլիմայական պայմանների փոփոխումները ստորին-միջին շորորդական ժամանակաշրջանում 93

ԱՇԽԱՐՀԱԳՐՈՒԹՅՈՒՆ

Գ. Բ. Կրիզոբյան — Հայկական ՍՍՀ լանդշաֆտների ուղղաձիգ դոտիականության ստրուկտուրայի հիմնական տիպերն ու ենթատիպերը 97

ԳԵՈՔԻՄԻԱ

Ք. Ս. Շարոյան — Լիթիումի և ուրիդիումի բաշխման օրինաչափությունները Բարդուշատի լեռնաշղթայի գրանիտոիդներում 101

ԲԻՈՔԻՄԻԱ

Մ. Ա. Տեր-Կարապետյան, Ս. Մ. Ինջիկյան — Candida chevalieri-ի ադապտացիան վայրենի նկատմամբ 103

ԱԳՐՈՔԻՄԻԱ

Վ. Լ. Անանյան, Բ. Գ. Մնացականյան, Լ. Ա. Աբաբադյան — Պարարտանյութերի ազդեցությունը կայուն և ռադիոակտիվ (ՄՈ—54) մանդանի կուտակման վրա, ալպիական մարգագետինների բույսերի մեջ 115

ԿԵՆՏԱՆԱԲԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Է. Ս. Հաբուբյանյան — նոր տեսակ Amblysetus Berlese, 1904 «Լուի» (Parasitiformes, Phytoseiidae) 120

ԲԵՇԿԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

Մ. Ս. Մարտիկյան — Պապավերինի ազդեցությունը ձվարանի արյան ծավալային հոսքի արագության վրա նորմայում և վաղոպրեհասինային սպաղմի պայմաններում 124

СОДЕРЖАНИЕ

МАТЕМАТИКА

- Г. В. Вирабян—Об n -кратной полноте для одного класса полиномиальных операторных пучков 65

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

- С. М. Мхитарян—Об эффективном решении некоторых классов линейных интегральных уравнений первого рода и связанных с ними дифференциальных уравнений 71

ФИЗИКА

- Л. Л. Крушинский, Ф. П. Сафарян—К теории обертонов и составных тонов в инфракрасных спектрах кристаллов и многоатомных молекул 79

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- В. М. Тараян, С. В. Вартамян—О взаимодействии перренат-иона с основным красителем «нильским голубым» 85

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

- В. И. Исагулянц, И. Е. Покровская, С. В. Хомко, А. Г. Шильникова, Н. А. Захарова—Конденсация камфена с формальдегидом в присутствии КУ-2 89

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

- Ю. В. Саядян—К истории растительности Ширакской котловины и изменения климатических условий в нижне-среднечетвертичное время 93

ГЕОГРАФИЯ

- Г. Б. Григорян—Основные типы и подтипы структуры высотной поясности ландшафтов Армении 97

ГЕОХИМИЯ

- К. С. Шаболян—Закономерности распределения лития и рубидия в гранитоидах Баргушатского хребта 101

БИОХИМИЯ

- М. А. Тер-Карапетян, С. М. Инджикян—Адаптация *candida chvalierii* к валину 108

АГРОХИМИЯ

- В. Л. Ананян, Б. Г. Мнацаканян, Л. А. Араратян—Влияние удобрений на накопление стабильного и радиоактивного ($Mn-54$) марганца в растениях альпийского луга 115

ЗООЛОГИЯ

- Э. С. Арутюнян—Новый вид рода *Amblyseius* Berlese, 1904 (*Parasitiformes*, *Phytoseiidae*) 120

МЕДИЦИНА

- М. С. Мартикян—Влияние папаверина на объемную скорость кровотока в сосудах яичника в норме и при вазопрессинновой спазме 124

УДК 517.9

МАТЕМАТИКА

Г. В. Вирабян

Об n -кратной полноте для одного класса полиномиальных операторных пучков

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Р. А. Александрияном 30/X 1968)

В работах М. В. Келдыша ⁽¹⁾ и других авторов установлен ряд критерий об n -кратной полноте системы собственных и присоединенных (с. и п.) элементов для различных классов полиномиальных операторных пучков.

В настоящей заметке рассматривается некоторый класс полиномиальных операторных пучков, к которым известные критерии не применимы. Тем не менее для этого класса тоже удастся установить n -кратную полноту системы с. и п. функций в соответствующем гильбертовом пространстве.

Рассмотрим следующий операторный пучок

$$L(\lambda) = \mathfrak{M}_n + \lambda \mathfrak{M}_{n-1} + \dots + \lambda^{n-1} \mathfrak{M}_1 + \lambda^n E. \quad (1)$$

Здесь $\mathfrak{M}_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$) операторы, действующие в гильбертовом пространстве $W_2^{(v)}(\Omega)$ по формуле ⁽²⁾

$$\mathfrak{M}_j = L_0^{-1} L_j \quad (j = 1, 2, \dots, n),$$

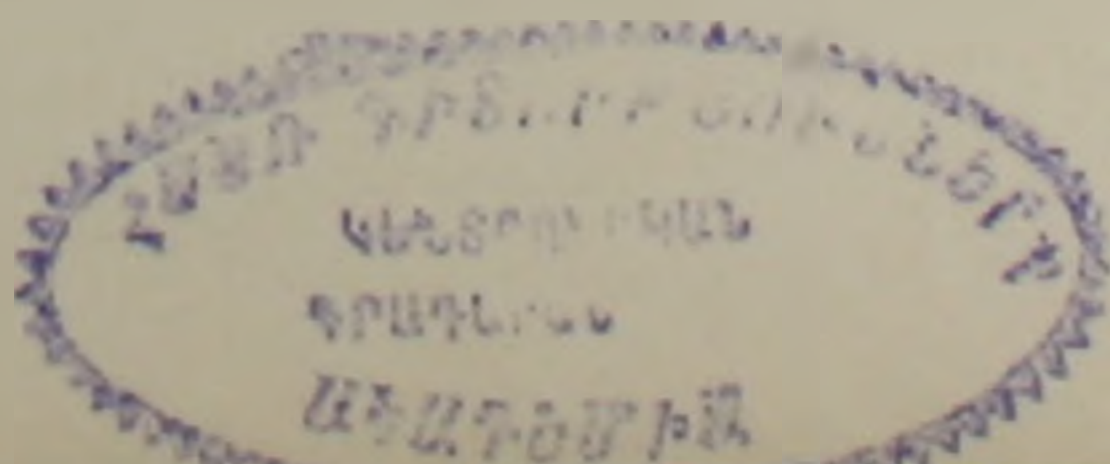
где

$$L_j = \sum_{l_1 + \dots + l_m = 2v} a_{l_1, \dots, l_m}^j \frac{\partial^{2v}}{\partial x_1^{l_1} \dots \partial x_m^{l_m}}, \quad (j=0, 1, 2, \dots, n),$$

однородные дифференциальные операторы с постоянными коэффициентами порядка $2v$, причем оператор L_0 эллиптический ⁽³⁾. L_0^{-1} оператор, обратный оператору L_0 при нулевых граничных условиях

$$u \Big|_{\partial\Omega} = \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{\partial\Omega} = \dots = \frac{\partial^{v-1} u}{\partial n^{v-1}} \Big|_{\partial\Omega} = 0; \quad (2)$$

$W_2^{(v)}(\Omega)$ — соболевское пространство функций, имеющих в области Ω суммируемые с квадратом обобщенные производные до порядка v и удовлетворяющие граничным условиям (2) в смысле теорем вложения С. Л. Соболева.



В дальнейшем предполагается, что область Ω есть m -мерный эллипсоид с граничной поверхностью $\partial\Omega$ ($\Gamma(x)=0$ — уравнение этой поверхности).

Теорема. Система собственных и присоединенных функций полиномиального операторного пучка (1) n -кратно полна в гильбертовом пространстве $W_2^{(\nu)}(\Omega)$.

Доказательство. Рассмотрим гильбертово пространство H , равное ортогональной сумме n экземпляров пространства $W_2^{(\nu)}(\Omega)$:

$$H = \underbrace{W_2^{(\nu)}(\Omega) \times \dots \times W_2^{(\nu)}(\Omega)}_n.$$

В пространстве H рассмотрим оператор $\mathfrak{M}$, заданный с помощью операторной матрицы

$$\mathfrak{M} = \begin{pmatrix} 0 & E & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & E & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & E \\ -\mathfrak{M}_n & -\mathfrak{M}_{n-1} & -\mathfrak{M}_{n-2} & \dots & \dots & \dots & \dots & -\mathfrak{M}_1 & \dots \end{pmatrix}.$$

E — единичный оператор в пространстве $W_2^{(\nu)}(\Omega)$.

Как известно ⁽⁴⁾, n -кратная полнота системы с. и п. функций операторного пучка (1) равносильна полноте корневых векторов операторной матрицы $\mathfrak{M}$ в гильбертовом пространстве H .

Перейдем к доказательству полноты системы корневых векторов оператора $\mathfrak{M}$ в H .

Обозначим через R_N — пространство всех полиномов от $x=(x_1, \dots, x_m)$, степени которых не превышают N (N — произвольное натуральное число).

Через R_N^0 , обозначим пространство всех тех полиномов из R_N , которые удовлетворяют граничным условиям (2) на поверхности эллипсоида Ω . Тогда пространство всех полиномов, удовлетворяющих граничным условиям (2), есть

$$R^0 = \bigcup_{N=2\nu}^{\infty} R_N^0.$$

Лемма 1. Если полином $p=p(x) \in R^0$ имеет степень n , то он имеет вид

$$p(x) = \Gamma^\nu(x) \cdot q(x),$$

где $\Gamma(x)$ левая часть уравнения поверхности эллипсоида Ω , а $q(x)$ — полином степени $n-2\nu$.

Доказательство. Обозначим через Δ^ν полигармонический оператор

$$\Delta^\nu = \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} + \dots + \frac{\partial^2}{\partial x_m^2} \right)^\nu.$$

В эллипсоиде Ω рассмотрим первую краевую задачу для этого оператора

$$\Delta^\nu u(x) = \Delta^\nu p(x), \quad (3)$$

$$u \Big|_{\partial\Omega} = \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{\partial\Omega} = \dots = \frac{\partial^{\nu-1} u}{\partial n^{\nu-1}} \Big|_{\partial\Omega} = 0, \quad (4)$$

$u(x)$ — искомая функция, а $p(x)$ — заданный полином из пространства $\overset{0}{R}$.

Ищем $u(x)$, заведомо удовлетворяющей граничным условиям (2), в виде

$$u(x) = \Gamma^\nu(x) q(x),$$

где $q(x)$ неизвестный полином степени $n - 2\nu$. Тогда из уравнения

$$\Delta^\nu \{ \Gamma^\nu(x) \cdot q(x) \} = \Delta^\nu p(x),$$

приравнивая соответствующие коэффициенты, получим неоднородную алгебраическую систему уравнений относительно неизвестных коэффициентов полинома $q(x)$, причем число уравнений и коэффициентов совпадают. Детерминант этой системы отличен от нуля, поскольку соответствующая однородная система имеет только нулевое решение в силу единственности решения первой краевой задачи для полигармонического уравнения. Поэтому неоднородная система имеет единственное решение.

Таким образом решение задачи (3), (4) имеет вид

$$u(x) = \Gamma^\nu(x) \cdot q(x),$$

где $q(x)$ уже известный полином степени $n - 2\nu$.

Но тогда из (3) опять в силу единственности решения первой краевой задачи заключаем

$$p(x) = \Gamma^\nu(x) \cdot q(x).$$

Лемма доказана.

Лемма 2. Для любого N каждый из операторов $\mathfrak{M}_j = L_0^{-1} L_j$ ($j = 1, 2, \dots, n$) отображает пространство $\overset{0}{R}_N$ в себя.

Лемма 3. Для любого N операторная матрица $\mathfrak{M}$ отображает пространство $\overset{0}{R} = \underbrace{\overset{0}{R}_N \times \dots \times \overset{0}{R}_N}_n$ в себя.

Согласно известной теореме из алгебры и в силу леммы 3, система корневых векторов оператора $\mathfrak{M}$ образует базис в конечномерном пространстве $\overset{0}{R}_N$ для любого N . Поэтому каждый вектор из пространства $\overset{0}{R} = \bigcup_{N=2\nu}^{\infty} \overset{0}{R}_N$ есть линейная комбинация корневых векторов оператора $\mathfrak{M}$. Таким образом, полнота системы корневых векторов оператора $\mathfrak{M}$ в $\overset{0}{H}$ будет установлена, если мы покажем, что замыкание пространства $\overset{0}{R}$ в метрике $\overset{0}{H}$ совпадает с пространством $\overset{0}{H}$. Легко усмотреть, что для этого достаточно доказать всюду плотность

пространства полиномов $\bar{R}^0$ в $\bar{W}_2^{(v)}(\Omega)$ в метрике этого пространства,

$$\bar{R}^0 = \bar{W}_2^{(v)}(\Omega). \quad (*)$$

Последнее соотношение без нарушения общности установим для m -мерного единичного шара Ω_0 с центром в начале координат.

Покажем сначала, что полиномами пространства $\bar{R}^0$, удовлетворяющими граничным условиям (2), можно равномерно аппроксимировать вместе с их производными до порядка v гладкие финитные функции в Ω_0 .

Пусть $\varphi(x_1, \dots, x_m)$ гладкая финитная в Ω_0 функция, тогда существует такое достаточно малое число $\delta > 0$, что $\varphi(x_1, \dots, x_m) = 0$ при $1 - \delta \leq r \leq 1$. Согласно известной теореме, обобщающей теорему Вейерштрасса из теории аппроксимации, для любого $\varepsilon > 0$ существует такой полином $Q(x) \in \bar{R}^0$, что

$$\max_{0 \leq r < 1} |\varphi(x_1, \dots, x_m) - Q(x_1, \dots, x_m)| < \frac{\varepsilon}{3}, \quad (8)$$

$$\max_{0 \leq r < 1} \left| \frac{\partial^k \varphi}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} - \frac{\partial^k Q}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} \right| < \frac{\varepsilon}{3}, \quad (9)$$

$$(i_1 + \dots + i_m = k, \quad k = 1, 2, \dots, v).$$

Из (8) и из финитности φ следует:

$$\max_{1-\delta \leq r \leq 1} |Q(x_1, \dots, x_m)| < \frac{\varepsilon}{3}, \quad (10)$$

$$\max_{1-\delta \leq r \leq 1} \left| \frac{\partial^k Q}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} \right| < \frac{\varepsilon}{3}, \quad (11)$$

$$(i_1 + \dots + i_m = k, \quad k = 1, 2, \dots, v).$$

Составим полином

$$P(x_1, \dots, x_m) = \{1 - [1 + (r^2 - 1)^{2v+1}]^M\} \cdot Q(x_1, \dots, x_m),$$

который, очевидно, при каждом целом положительном M имеет вид (7) и следовательно принадлежит пространству $\bar{R}^0$. Легко заметить, что, выбирая M достаточно большим, получим:

$$\max_{0 \leq r < 1-\delta} |[1 + (r^2 - 1)^{2v+1}]^M \cdot Q(x_1, \dots, x_m)| < \frac{\varepsilon}{3}, \quad (12)$$

$$\max_{0 \leq r < 1-\delta} \left| \frac{\partial^k \{[1 + (r^2 - 1)^{2v+1}]^M \cdot Q\}}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} \right| < \frac{\varepsilon}{3}. \quad (13)$$

Наконец, в силу (8), (10), (12) имеем:

$$\begin{aligned} \max_{0 \leq r < 1} |\varphi(x_1, \dots, x_m) - P(x_1, \dots, x_m)| &\leq \max_{0 \leq r < 1} |\varphi(x_1, \dots, x_m) - \\ &- Q(x_1, \dots, x_m)| + \max_{0 \leq r < 1-\delta} |[1 + (r^2 - 1)^{2v+1}]^M \cdot Q| + \\ &+ \max_{0 \leq r < 1} \left| \frac{\partial^k \varphi(x_1, \dots, x_m)}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} - \frac{\partial^k P(x_1, \dots, x_m)}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} \right| < \varepsilon. \end{aligned}$$

Аналогично в силу (9), (11), (13) имеем:

$$\max_{0 \leq k \leq n} \left| \frac{\partial^k \varphi(x_1, \dots, x_m)}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} - \frac{\partial^k p(x_1, \dots, x_m)}{\partial x_1^{i_1} \dots \partial x_m^{i_m}} \right| < \varepsilon.$$

Таким образом, полиномами из пространства $\overset{0}{R}$ можно аппроксимировать гладкие финитные в Ω функции в смысле сходимости $C^r(\Omega)$ и следовательно в метрике пространства $\overset{0}{W}_2^{(r)}(\Omega)$.

Но, как известно, гладкие финитные функции сами в свою очередь образуют плотное множество в пространстве $\overset{0}{W}_2^{(r)}(\Omega)$. Соотношение (*) и следовательно теорема доказаны.

В заключение заметим, что в работе (5) нами фактически установлена двукратная полнота системы собственных функций для квадратичного операторного пучка (1) при $n=2$, $v=1$.

Приведем одно применение доказанной теоремы.

Рассмотрим в эллипсоиде Ω следующую смешанную задачу;

$$\frac{\partial^n}{\partial t^n} L_0 u + \frac{\partial^{n-1}}{\partial t^{n-1}} L_1 u + \dots + \frac{\partial}{\partial t} L_{n-1} u + L_n u = 0, \quad (14)$$

$$u \Big|_{t=0} = \varphi_0(x), \quad \frac{\partial u}{\partial t} \Big|_{t=0} = \varphi_1(x), \quad \dots, \quad \frac{\partial^{n-1} u}{\partial t^{n-1}} \Big|_{t=0} = \varphi_{n-1}(x), \quad (15)$$

$$u \Big|_{\partial\Omega} = \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{\partial\Omega} = \dots = \frac{\partial^{n-1} u}{\partial n^{n-1}} \Big|_{\partial\Omega} = 0, \quad (16)$$

где $u = u(t, x)$, $x = (x_1, \dots, x_m)$, $0 \leq t < +\infty$.

Предполагается, что начальные функции $\varphi_j(x)$ ($j=0, 1, 2, \dots, n-1$) принадлежат пространству $\overset{0}{W}_2^{(v)}(\Omega)$.

Применяя с обеих сторон уравнения (14) оператор L_0^{-1} , мы можем задачу (14)–(16) переписать в операторной форме

$$\frac{d^n}{dt^n} u + \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} \mathfrak{M}_1 u + \dots + \frac{d}{dt} \mathfrak{M}_{n-1} u + \mathfrak{M}_n u = 0, \quad (14)$$

$$u \Big|_{t=0} = \varphi_0, \quad \frac{du}{dt} \Big|_{t=0} = \varphi_1, \quad \dots, \quad \frac{d^{n-1} u}{dt^{n-1}} \Big|_{t=0} = \varphi_{n-1}, \quad (15)$$

$$u(x, t) \in \overset{0}{W}_2^{(v)}(\Omega) \text{ для всех } t \in [0, +\infty), \quad (16)$$

Как показано в работах (1,3), из n -кратной полноты системы с. и п. функций полиномиального операторного пучка (1) следует полнота так называемых элементарных решений задачи (14)–(16).

Таким образом из вышедодказанной теоремы следует существование полной системы элементарных решений для смешанной задачи в случае эллипсоидальных областей.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР
Ереванский государственный
университет

Պոլինոմիալ օպերատորային փնջերի մի դասի համար n -ապատիկ լրիվության մասին

Աշխատանքում դիտարկվում է պոլինոմիալ օպերատորային փնջերի մի դաս, որոնց նկատմամբ n -ապատիկ լրիվության հայտնի հայտանիշները կիրառելի չեն:

Այնուամենայնիվ հաջողվում է և այդ դասի համար ապացուցել սեփական և միակցված ֆունկցիաների n -ապատիկ լրիվությունը էլիպսոիդալ տիրույթներում:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Գ Ի Վ Կ Ա Ն Ո Ւ Ի Յ Ո Ւ Ն

¹ М. В. Келдыш, ДАН, СССР № 77, (1951). ² Г. В. Вирабян, Кандидатская диссертация, 1965. ³ К. Миранда, Уравнения с частными производными эллиптического типа, М., 1957. ⁴ М. Г. Крейн, Г. К. Лангер, Труды межд. симп. по прим. т. ф. к. п. в механике сплошной среды, Изд. „Наука“, 1965. ⁵ Г. В. Вирабян, ДАН АрмССР, т. XLIII, № 1 (1966).

УДК 518

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

С. М. Мхитарян

Об эффективном решении некоторых классов линейных
 интегральных уравнений первого рода и связанных
 с ними дифференциальных уравнениях

(Представлено академиком АН Армянской ССР Н. Х. Арутюняном 23/X 1968)

Заметка посвящена решению методом М. Г. Крейна некоторых классов интегральных уравнений первого рода и связанных с ними дифференциальных уравнений. Предварительно приводится один общий результат М. Г. Крейна, относящийся к связи между интегральными уравнениями с ядрами, зависящими от разности аргументов, и дифференциальными уравнениями. Отправляясь от этого результата, составляются для рассматриваемых интегральных уравнений первого рода соответствующие им дифференциальные системы. Фундаментальные функции эквивалентных им канонических систем образуют в пространстве $L^2(0, T)$ двумерных вектор-функций, по-видимому, новый класс ортогональных полных систем функций. В качестве иллюстрирующего примера приведены формулы разложения двумерной вектор-функции из $L^2(0, \infty)$ по функциям Уиттекера.

1. В своих исследованиях (1-4) по обратным задачам спектральной теории дифференциальных операторов М. Г. Крейн, в частности, получил следующие результаты.

Пусть $K(t) = \overline{K(-t)}$ ($-2T < t < 2T$) — измеримая, локально суммируемая функция, удовлетворяющая следующему условию: при любом r ($0 \leq r < T$) интегральное уравнение

$$q(t, r) + \int_{-r}^r K(t-s) q(s, r) ds = 1$$

имеет единственное ограниченное (а значит и непрерывное) решение* $q(t, r)$. Для любого комплексного λ положим

$$\chi(r, \lambda) = \frac{\lambda}{2} \int_{-r}^r q(s, r) e^{-\lambda s} ds. \quad (1)$$

* Это условие эквивалентно условию положительной определенности в квадрате $T < t, s < T$ эрмитового ядра $K(t-s)$ (см. (6) гл. IV, § 8).

Функция $\chi(r, \lambda)$ оказывается решением дифференциальной системы

$$\frac{d}{dr} \left(\frac{1}{p(r)} \frac{d\chi}{dr} \right) + [\lambda^2 + 2\lambda l(r)] \frac{\chi}{p(r)} = 0, \quad \chi(0, \lambda) = 0, \quad \chi'(0, \lambda) = \lambda, \quad (2)$$

где $p(r) = |q(r, r)|^2$, $l(r) = -\frac{d}{dr} \operatorname{Arg} q(r, r)$ ($0 \leq r < T$).

Эту дифференциальную систему можно преобразовать к канонической системе из двух уравнений, после чего получаются формулы обобщенного преобразования Фурье для произвольной двумерной вектор-функции из $L_H^2(0, T)$. Они имеют вид

$$F(\lambda) = \int_0^T \|f_1(r), f_2(r)\| H(r) \begin{pmatrix} \Phi(r, \lambda) \\ \Psi(r, \lambda) \end{pmatrix} dr, \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} f_1(r) \\ f_2(r) \end{pmatrix} = \int_{-\infty}^{\infty} F(\lambda) \begin{pmatrix} \Phi(r, \lambda) \\ \Psi(r, \lambda) \end{pmatrix} d\sigma(\lambda), \quad (4)$$

где

$$H(r) = \begin{pmatrix} \frac{1}{p(r)} & V^2(r)p(r)V(r)p(r) \\ V(r)p(r) & p(r) \end{pmatrix},$$

$$V(r) = -2 \int_0^r \frac{l(t)}{p(t)} dt, \quad \begin{pmatrix} \Phi \\ \Psi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -V(r) & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \chi(r, \lambda) \\ \frac{d\chi}{dr} / p(r) \end{pmatrix}.$$

$d\sigma(\lambda)$ ($\sigma(\lambda) = \sigma(\lambda - 0)$, $\sigma(0) = 0$ — $-\infty < \lambda < \infty$) — ортогональная спектральная функция граничной задачи (2). Если $T = \infty$, то функция $\sigma(\lambda)$ единственным образом определяется из представления:

$$\int_0^t (t-s) K(s) ds = \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 + \frac{i\lambda t}{1+\lambda^2} - e^{i\lambda t} \right) \frac{d\sigma(\lambda)}{\lambda^2} + \left(i\gamma - \frac{1}{2} \operatorname{sign} t \right) t,$$

где γ — некоторое вещественное число. А если $T < \infty$, то, вообще говоря, для определения функции $\sigma(\lambda)$ (спектра задачи (2)) следует добавить граничное условие на конце $r = T$, например, следующее $\chi'(T, \lambda) = 0$.

Приведенный результат М. Г. Крейна имеет место и для определенных классов интегральных уравнений первого рода. В этом случае вместо ограниченности решения $q(t, r)$ следует требовать его интегрируемость (см. (1)), причем $p(r)$ будет уже определяться равенствами

$$p(r) = M'(r), \quad \text{где } M(r) = \frac{1}{2} \int_{-r}^r q(s, r) ds, \quad (5)$$

Из-за недостатка места этот результат был изложен в (3) лишь для случая вещественного $K(t)$. М. Г. Крейн любезно предоставил автору возможность по первоначальному тексту статьи (3) познакомиться с излагаемым результатом и указать на возможность его вывода из (4).

а граничные условия $\chi'(0, \lambda) = \lambda$, $\chi'(T, \lambda) = 0$ заменяются соответственно условиями

$$\lim_{r \rightarrow 0} \left(\frac{1}{p} \frac{d\chi}{dr} \right) = \lambda, \quad \lim_{r \rightarrow T} \left(\frac{1}{p} \frac{d\chi}{dr} \right) = 0.$$

На основе указанной связи между интегральными и дифференциальными уравнениями М. Г. Крейн предложил новый метод решения интегральных уравнений (5-7).

2. Рассматриваемые нами интегральные уравнения первого рода имеют вид

$$\int_{-a}^a K(t-s) \varphi(s) ds = f(t), \quad (6)$$

где эрмитово ядро $K(t-s)$ порождается одной из следующих семи функций $K(t)$ ($-2T < t < 2T$):

$$1) \quad \ln \frac{1}{2 \sin \frac{|t|}{2}} - \frac{i\pi}{2} \operatorname{th} \pi \mu \operatorname{sign} t \quad (T \leq \pi; \quad -\infty < \mu < \infty);$$

$$2) \quad \ln \frac{1}{2 \operatorname{sh} \frac{|t|}{2}} - \frac{i\pi}{2} \operatorname{th} \pi \mu \operatorname{sign} t \quad (T \leq 2 \ln(1 + \sqrt{2}); \quad -\infty < \mu < \infty);$$

$$3) \quad \ln \operatorname{ctg} \frac{|t|}{4} - \frac{i\pi}{2} \operatorname{th} \pi \mu \operatorname{sign} t \quad (T \leq \pi; \quad -\infty < \mu < \infty);$$

$$4) \quad \ln \operatorname{cth} \frac{|t|}{4} - \frac{i\pi}{2} \operatorname{th} \pi \mu \operatorname{sign} t \quad (T \leq \infty; \quad -\infty < \mu < \infty);$$

$$5) \quad (1 - i\mu \operatorname{sign} t) / |t|^h \quad \left(T = \infty; \quad 0 < h < 1; \quad |\mu| < \operatorname{tg} \frac{\pi h}{2} \right);$$

$$6) \quad (1 - i\mu \operatorname{sign} t) e^{\frac{ih t}{2}} / \left(2 \sin \frac{|t|}{2} \right)^h \quad \left(T \leq \pi; \quad 0 < h < 1; \quad |\mu| < \operatorname{tg} \frac{\pi h}{2} \right);$$

$$7) \quad (1 - i\mu \operatorname{sign} t) e^{\frac{ih t}{2}} / \left(2 \operatorname{sh} \frac{|t|}{2} \right)^h \quad \left(T \leq \infty; \quad 0 < h < 1; \quad |\mu| < \operatorname{tg} \frac{\pi h}{2} \right).$$

Здесь T такое число, что квадрат $-T < t, s < T$ является максимальной областью положительной определенности соответствующего ядра. Оно может определяться из равенства: $M(T) = \infty$.

Отметим еще четыре ядра, порождаемые следующими функциями*

$$8) \quad 1 / \left(2 \sin \frac{|t|}{2} \right)^h; \quad 9) \quad 1 / \left(2 \operatorname{sh} \frac{|t|}{2} \right)^h;$$

* Они получаются из 6) и 7).

$$10) e^{\frac{it}{2}} / \left(2 \sin \frac{|t|}{2} \right)^h; \quad 11) (1 - i\mu \operatorname{sign} t) / \left(2 \operatorname{sh} \frac{|t|}{2} \right)^h.$$

Приведем выражение $q(t, a)$ — решений интегральных уравнений (6) при $f(t) \equiv 1$ соответственно случаям 1)–6):

$$1) \frac{1}{A_\mu(a)} \cos \left(\frac{t}{2} - i\mu a \right) \left(\sin \frac{a-t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}-i\mu} \left(\sin \frac{a+t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}+i\mu},$$

где

$$A_\mu(a) = \frac{\pi}{2 \operatorname{ch} \pi\mu} \left[B_{\exp(2ia)} \left(\frac{1}{2} - i\mu, 0 \right) + B_{\exp(2ia)} \left(\frac{1}{2} + i\mu, 0 \right) + 2i \operatorname{Im} \psi \left(\frac{1}{2} + i\mu \right) - 2\psi \left(\frac{1}{2} - i\mu \right) + 2\psi(1) - 2 \ln 2 \sin a - 2\pi i \operatorname{th} \pi\mu - i\pi \right];$$

$$2) \frac{1}{B_\mu(a)} \operatorname{ch} \left(\frac{t}{2} - i\mu a \right) \left(\operatorname{sh} \frac{a-t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}-i\mu} \left(\operatorname{sh} \frac{a+t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}+i\mu},$$

где

$$B_\mu(a) = \frac{\pi}{2 \operatorname{ch} \pi\mu} \left\{ 2 \operatorname{Re} \left[B_{\exp(2a)} \left(\frac{1}{2} + i\mu, 0 \right) \right] + 2i \operatorname{Im} \psi \left(\frac{1}{2} + i\mu \right) - 2\psi \left(\frac{1}{2} - i\mu \right) + 2\psi(1) - 2 \ln 2 \operatorname{sh} a - 2\pi i \operatorname{th} \pi\mu \right\};$$

$$3) \frac{\operatorname{ch} \pi\mu}{\pi [Q_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\cos a) + Q_{-\frac{1}{2}+i\mu}(\cos a)]} \times \\ \times \left(\sin \frac{a-t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}-i\mu} \left(\sin \frac{a+t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}+i\mu};$$

$$4) \frac{\operatorname{ch} \pi\mu}{\pi [Q_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\operatorname{ch} a) + Q_{-\frac{1}{2}+i\mu}(\operatorname{ch} a)]} \times \\ \times \left(\operatorname{sh} \frac{a-t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}-i\mu} \left(\operatorname{sh} \frac{a+t}{2} \right)^{-\frac{1}{2}+i\mu};$$

$$5) C_\mu (a-t)^{\alpha+i\beta} (a+t)^{\alpha-i\beta}, \text{ где } C_\mu = \sin \pi h / 2\pi \times$$

$$\times \sqrt{\sin^2 \frac{\pi h}{2} - \mu^2 \cos^2 \frac{\pi h}{2}},$$

$$\alpha + i\beta = -\frac{1}{\pi} \operatorname{arc} \sin [1 + i\mu C_\mu];$$

$$6) 2^{h-1} C_\mu e^{-\alpha\beta} e^{-\frac{h-1}{2}it} \left(\sin \frac{a-t}{2} \right)^{\alpha+i\beta} \left(\sin \frac{a+t}{2} \right)^{\alpha-i\beta}.$$

По формуле (5) получим соответствующие выражения $M(a)$:

$$1) \pi / \operatorname{ch} \pi\mu A_\mu(a); \quad 2) \pi / \operatorname{ch} \pi\mu B_\mu(a);$$

$$3) \quad P_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\cos a)/[Q_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\cos a) + Q_{-\frac{1}{2}+i\mu}(\cos a)];$$

$$4) \quad P_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\operatorname{ch} a)/[Q_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\operatorname{ch} a) + Q_{-\frac{1}{2}+i\mu}(\operatorname{ch} a)];$$

$$5) \quad 2^{2\alpha} C_{\mu} a^{2\alpha+1} / \Gamma(\alpha+1+i\beta)^2 / \Gamma(2\alpha+2);$$

$$6) \quad 2^{h-2} C_{\mu} (\sin a)^{2\alpha+1} e^{i\left(\alpha+\frac{h-1}{2}\right)a} \frac{|\Gamma(\alpha+1+i\beta)|^2}{\Gamma(2\alpha+2)} \times \\ \times F\left(\alpha+\frac{h-1}{2}, 1+\alpha-i\beta; 2\alpha+2; 1-e^{2ia}\right).$$

В этих формулах $B_*(x, y)$ означает неполную бэта-функцию ⁽⁸⁾, $\psi(z)$ и $\Gamma(z)$ — функции Эйлера ⁽⁸⁾, $P_{\nu}(z)$ и $Q_{\nu}(z)$ — функции Лежандра первого и второго рода ⁽⁸⁾, $F(a, b; c; z)$ — гипергеометрическая функция ⁽⁸⁾.

В случаях 1), 2), 4) и 5) выражения $q(t, a)$, когда $\mu=0$, были получены М. Г. Крейном ⁽⁶⁾ при помощи контурных интегралов. Приведенные выражения $q(t, a)$ (для случаев* 1)–5) см. ⁽⁹⁾), получены путем дальнейшего развития этого метода.

Интегральными уравнениями (6) в случаях 1)–4) описываются некоторые плоские контактные задачи теории упругости с учетом сил сцепления или трения ⁽⁹⁾. Интегральное уравнение (6) в случае 5) встречается в плоских контактных задачах нелинейной теории ползучести, исследованных в работе Н. Х. Арутюняна ⁽¹¹⁾ и в работе Н. Х. Арутюняна и М. М. Манукяна ⁽¹²⁾.

Коль скоро известны выражения $q(t, a)$, решения интегральных уравнений (6) для любого $f(t)$ в случаях** 1)–6) могут быть получены по известному правилу М. Г. Крейна (см. ⁽⁶⁾, гл. IV, § 8).

3. Для составления соответствующих дифференциальных систем (2) приведем выражения функции $i(r)$. Они будут***:

$$1) \quad -\frac{2\mu \sin r + \operatorname{sh} 2\mu r}{4\left(1 + \operatorname{tg}^2 \frac{r}{2} \operatorname{th}^2 \mu r\right) \cos^2 \frac{r}{2} \operatorname{ch}^2 \mu r} - \mu \operatorname{ctgr};$$

$$2) \quad \frac{2\mu \operatorname{shr} + \sin 2\mu r}{4\left(1 + \operatorname{th}^2 \frac{r}{2} \operatorname{tg}^2 \mu r\right) \operatorname{ch}^2 \frac{r}{2} \cos^2 \mu r} - \mu \operatorname{cth} r;$$

$$3) \quad -\mu \operatorname{ctg} r; \quad 4) \quad -\mu \operatorname{cth} r; \quad 5) \quad \beta/r; \quad 6) \quad \frac{h-1}{2} + \beta \operatorname{ctg} r.$$

* Случай 3), когда $\mu=0$ рассмотрено в ⁽¹⁰⁾.

** В случаях 7), 8), 9) и 11) функции $q(t, a)$ имеют довольно сложный вид и не выражаются через известные специальные функции. Тем не менее, решения уравнений (6) в указанных случаях могут быть получены по правилу М. Г. Крейна.

*** В обсуждаемых нами случаях $q(t, r)$ состоит из двух множителей, один из которых при $t=r$ обращается в бесконечность. Следует считать, что аргумент этого множителя равен нулю.

Фундаментальные функции $\chi(r, \lambda)$, получающиеся по формуле (1) соответственно имеют вид

$$\begin{aligned}
 & 1) \frac{\lambda\pi}{2 \operatorname{ch} \pi\mu A_\mu(r)} \left[e^{i\lambda r} F\left(-\lambda, \frac{1}{r} + i\mu; 1; 1 - e^{-2ir}\right) + \right. \\
 & \quad \left. + e^{-i\lambda r} F\left(\lambda, \frac{1}{2} - i\mu; 1; 1 - e^{-2ir}\right) \right]; \\
 & 2) \frac{\lambda\pi}{2 \operatorname{ch} \pi\mu B_\mu(r)} \left[e^{i\lambda r} F\left(-i\lambda, \frac{1}{2} + i\mu; 1; 1 - e^{-2r}\right) + \right. \\
 & \quad \left. + e^{-i\lambda r} F\left(i\lambda, \frac{1}{2} - i\mu; 1; 1 - e^{-2r}\right) \right]; \\
 & 3) \frac{\lambda e^{-\mu r} e^{-\left(\frac{1}{2} + \lambda\right)ir}}{Q_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\cos r) + Q_{-\frac{1}{2}+i\mu}(\cos r)} F\left(\frac{1}{2} + \lambda, \frac{1}{2} - i\mu; 1; 1 - e^{-2ir}\right); \\
 & 4) \frac{\lambda e^{i\mu r} e^{-\left(\frac{1}{2} + i\mu\right)ir}}{Q_{-\frac{1}{2}-i\mu}(\operatorname{ch} r) + Q_{-\frac{1}{2}+i\mu}(\operatorname{ch} r)} F\left(\frac{1}{2} + i\lambda, \frac{1}{2} - i\mu; 1; 1 - e^{-2r}\right); \\
 & 5) 2^{h-1} C_\mu |\Gamma(\alpha + 1 + i\beta)|^2 \left(\frac{r}{\lambda}\right)^\alpha M_{i\beta, \alpha + \frac{1}{2}}(-2i\lambda r)/(-i)^{\alpha+1} \Gamma(2\alpha + 2); \\
 & 6) 2^{h-2} C_\mu |\Gamma(\alpha + 1 + \beta)|^2 \lambda e^{\left(i\alpha + \frac{h+1}{2} + i\lambda\right)r} (\sin r)^{2\alpha+1} \times \\
 & \quad \times F\left(\alpha + \frac{h+1}{2} + i\lambda, 1 + \alpha - i\beta; 2\alpha + 2; 1 - e^{2ir}\right)/\Gamma(2\alpha + 2).
 \end{aligned}$$

Здесь через $M_{\lambda, \rho}(z)$ обозначена функция Уиттекера ⁽³⁾.

Полученные выражения для $M(r)$, $l(r)$ и $\chi(r, \lambda)$ в указанных случаях позволяют выписать формулы (3) и (4) обобщенного преобразования Фурье. В качестве примера рассмотрим случай 5). В этом случае имеет место представление

$$\frac{1 - i\mu \operatorname{sign} t}{|t|^h} = \frac{\Gamma(1-h)}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{i\lambda t} \left(\sin \frac{\pi h}{2} - \mu \cos \frac{\pi h}{2} \operatorname{sign} \lambda \right) |\lambda|^{h-1} d\lambda, \quad (-\infty < t < \infty)$$

с неотрицательной спектральной плотностью при $|\mu| < \operatorname{tg}(\pi h/2)$, в силу чего порождаемое левой частью эрмитово ядро является положительно определенным в квадрате $-\infty < t, z < \infty$. Таким образом, рассматриваемом случае $T = \infty$, а спектральная функция $\sigma(\lambda)$ выражается формулой:

$$\sigma(\lambda) = \frac{\Gamma(1-h)}{\pi} \int_0^\lambda \left(\sin \frac{\pi h}{2} - \mu \cos \frac{\pi h}{2} \operatorname{sign} \tau \right) |\tau|^{h-1} d\tau.$$

Формулы (3) и (4) обобщенного преобразования Фурье в данном случае будут иметь вид:

$$F(\lambda) = \int_0^\infty \|f_1(r), f_2(r)\| \begin{pmatrix} (\alpha^2 + \beta^2)/\lambda D_\mu r^{2\alpha} & \beta \\ \beta & \lambda D_\mu r^{2\alpha} \end{pmatrix} \times \\ \times \begin{pmatrix} \lambda D_\mu \varphi(r, \lambda) \\ r^{-\alpha} \frac{d}{dr} [r^\alpha \varphi(r, \lambda)] - \frac{\lambda \beta}{r} \varphi(r, \lambda) \end{pmatrix} dr, \\ S(r) \begin{pmatrix} f_1(r) \\ f_2(r) \end{pmatrix} = \frac{\Gamma(1-h)}{\pi} \int_{-\infty}^\infty F(\lambda) \begin{pmatrix} \lambda D_\mu \varphi(r, \lambda) \\ r^{-\alpha} \frac{d}{dr} [r^\alpha \varphi(r, \lambda)] - \frac{\lambda \beta}{2} \varphi(r, \lambda) \end{pmatrix} \times \\ \times \left(\sin \frac{\pi h}{2} - \mu \cos \frac{\pi h}{2} \operatorname{sign} \lambda \right) |\lambda|^{h-1} d\lambda,$$

где $\varphi(r, \lambda) = M_{i\beta, \alpha + \frac{1}{2}}(-2i\lambda r)$, $S(r) = \alpha^2 (2\alpha + 1)^2 (-2i\lambda r)^{2\alpha+2} / r^2$,

$$D_\mu = (2\alpha + 1) C_\mu |\Gamma(\alpha + 1 + i\beta)|^2 / \Gamma(2\alpha + 2), \operatorname{arc} \sin [(1 + i\mu) C_\mu] \geq 0.$$

Когда $\mu=0$, эти формулы переходят в известные формулы интегрального преобразования Ханкеля.

Считаю своим приятным долгом выразить искреннюю признательность член-корр. АН УССР М. Г. Крейну за руководство работой.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР
Одесский инженерно-строительный институт

Ս. Մ. ՄԵԼԻՔԱՆՅԱՆ

Առաջին սեռի գծային ինտեգրալ հավասարումների մի բանի դասերի
էֆեկտիվ լուծման ու հրանց հետ կապված դիֆերենցիալ հավասարումների
մասին

Մ. Գ. Կրեյնի առաջարկած մեթոդով (5,6) հոդվածում կառուցվում են էրմիտյան կորիդ-ներով (6) ինտեգրալ հավասարումների էֆեկտիվ լուծումները: Ընդամին այդ կորիդները չափված են արգումենտների տարբերությունից ու ձևավորվում են բերված 1) — 2) ֆունկցիաներից մեկնու-մեկով:

Նշված ինտեգրալ հավասարումների լուծմանն են բերվում առաձգականության տեսության հարակցման կամ շփման ուժերի հաշվառումով (տես (3) ու ն. հ. Հարությունյանի դրվածքով աղբի ոչ-գծային տեսության) (տես (11,12)) հսկման մի քանի խնդիրների հետազոտությունը:

Նախապես բերվում է Մ. Գ. Կրեյնի՝ արգումենտների տարբերությունից կախված կորիդներով ինտեգրալ հավասարումների ու դիֆերենցիալ հավասարումների միջև եղած կապին վերաբերող մի ընդհանուր արդյունք: Հիմնվելով այդ արդյունքի վրա, կազմվում են առաջին սեռի նշված ինտեգրալ հավասարումներին համապատասխանող դիֆերենցիալ սիստեմները: Վերջիններին համարժեք կանոնական սիստեմների հիմնադիր ֆունկցիաները երկչափ վեկտոր-ֆունկցիաների $L^2(0,T)$ տարածության մեջ կազմում են սրթոգոնալ լրիվ ֆունկցիաների, ըստ երևույթին նոր դար: Որպես օրինակ բերված են $L^2(0,\infty)$ տարածությանը պատկանող կամայական երկրաչափ վեկտոր-ֆունկցիայի ըստ Ուիթենկերի ֆունկցիաների վերլուծության բանաձևերը:

¹ М. Г. Крейн, ДАН СССР, т. 94, № 6, (1954). ² М. Г. Крейн, ДАН СССР, т. 97, № 1 (1954), ³ М. Г. Крейн, ДАН СССР, т. 105, № 3 (1955), ⁴ М. Г. Крейн, ДАН СССР, т. 105, № 4 (1955), ⁵ М. Г. Крейн, ДАН СССР, т. 100, № 3 (1955), ⁶ И. Ц. Гохберг, М. Г. Крейн, Теория вольтерровых операторов в гильбертовом пространстве и ее приложения, „Наука“, 1967. ⁷ С. М. Мхитарян, Мат. исслед. Кишинев. 3: 1 (7) (1968). ⁸ И. С. Градштейн, И. М. Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений, Физматгиз, М., 1962. ⁹ С. М. Мхитарян, „Известия АН АрмССР“, механика, т. 3, № 6 (1968). ¹⁰ Г. Я. Попов, Известия АН СССР, Механика, № 4 (1965), ¹¹ Н. Х. Арутюнян, ПММ, т. 23, № 5 (1959). ¹² Н. Х. Арутюнян и М. М. Макукян, ПММ, т. 27, № 5 (1963).

УДК 535.341

ФИЗИКА

Л. Л. Крушинский, Ф. П. Сафарян

К теории обертонов и составных тонов в инфракрасных спектрах кристаллов и многоатомных молекул

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Г. С. Саакяном 8/VII 1968)

1. В работе ⁽¹⁾ был использован метод двухвременных (температурных) функций Грина ⁽²⁾ для расчета параметров (положения, интенсивности и формы полос) основных тонов в ИК спектрах кристаллов и многоатомных молекул.

Исследование обертонов и составных тонов требует вычисления Фурье-образов корреляционных функций (а следовательно, и функции Грина) высших порядков по отношению к фононным (вибронным) операторам b, b^{+*} .

В соответствии с формулой Кубо, коэффициент поглощения на частоте $\omega_\alpha + \omega_\beta$ (обертоны и суммарные частоты) равен

$$\begin{aligned} \sigma_{\omega_\alpha + \omega_\beta}(\omega) = \text{const} \cdot \omega \left\{ \chi^3 \sum_{\alpha, \alpha', \beta} M_{\alpha\beta}^{(2)} M_{\alpha'}^{(1)} [\langle b_\alpha b_\beta, b_{\alpha'}^+ \rangle + \langle b_\alpha b_\beta, b_{\alpha'} \rangle] + \right. \\ \left. + \chi^4 \sum_{\alpha, \alpha', \beta, \beta'} M_{\alpha\beta}^{(2)} M_{\alpha'\beta'}^{(2)} [\langle b_\alpha b_\beta, b_{\alpha'} b_{\beta'} \rangle + \langle b_\alpha b_\beta, b_{\alpha'}^+ b_{\beta'} \rangle + \langle b_\alpha b_\beta, b_{\alpha'} b_{\beta'}^+ \rangle + \right. \\ \left. + \langle b_\alpha b_\beta, b_{\beta'}^+ b_{\alpha'}^+ \rangle] + \dots \right\}, \end{aligned} \quad (1)$$

а коэффициент поглощения на разностной частоте —

$$\begin{aligned} \sigma_{\omega_\alpha - \omega_\beta}(\omega) = \text{const} \cdot \omega \left\{ \chi^3 \sum_{\alpha, \alpha', \beta} M_{\alpha\beta}^{(2)} M_{\alpha'}^{(1)} [\langle b_\alpha b_\beta^+, b_{\alpha'}^+ \rangle + \langle b_\alpha b_\beta^+, b_{\alpha'} \rangle] + \right. \\ \left. + \chi^4 \sum_{\alpha, \alpha', \beta, \beta'} M_{\alpha\beta}^{(2)} M_{\alpha'\beta'}^{(2)} [\langle b_\alpha b_\beta^+, b_{\alpha'} b_{\beta'} \rangle + \langle b_\alpha b_\beta^+, b_{\alpha'}^+, b_{\beta'} \rangle + \right. \\ \left. + \langle b_\alpha b_\beta^+, b_{\alpha'} b_{\beta'}^+ \rangle + \langle b_\alpha b_\beta^+, b_{\alpha'}^+ b_{\beta'}^+ \rangle] + \dots \right\}. \end{aligned} \quad (2)$$

* Все обозначения статьи ⁽¹⁾ сохранены.

2. Для вычисления коэффициента поглощения на суммарной частоте $\omega_a + \omega_\beta$ необходимо найти функции Грина $\ll b_a b_\beta / A \gg_E$, где A — составлено из b, b^+ -операторов в соответствии с правой частью равенства (1). Все эти функции Грина имеют одинаковую структуру, различаясь лишь выражениями, стоящими в числителе. Переход к Фурье-образу соответствующей корреляционной функции дает

$$\ll b_a b_\beta / A \gg_E = \frac{I_{a\beta}(A)}{E - \chi^2(\bar{\omega}_a + \bar{\omega}_\beta) - \chi^4 M_{a\beta}(E)}. \quad (3)$$

В этой формуле, очевидно, $M_{a\beta}$ (полученное заменой в соответствующих членах M_a из (3) величин типа $(E - a)^{-1}$ их главными значениями) определяет сдвиг полосы поглощения, отвечающей возникновению двух фононов (виброна) ω_a и ω_β ; $I_{a\beta}(\omega)$ — относительную интенсивность полосы в максимуме.

Поляризационный оператор $M_{a\beta}(E)$ можно представить в виде суммы трех слагаемых

$$M_{a\beta}(E) = R_{a\beta}^{(1)} + R_{a\beta}^{(2)} + R_{a\beta}^{(3)}. \quad (5)$$

Первое слагаемое $R_{a\beta}^{(1)}$ определяет сдвиг максимума полосы поглощения из-за ангармонических взаимодействий. В свою очередь $R_{a\beta}^{(1)}$ состоит из двух частей, одна из которых $R_{a\beta}^{(1)}(1)$ — дает постоянный сдвиг, не зависящий от E и от структуры фононного спектра, вторая — $R_{a\beta}^{(1)}(2)$ — существенно определяется структурой колебательного спектра:

$$R_{a\beta}^{(1)}(1) = 3 \sum_{\nu} B_{a\alpha\beta\beta}^{*(4)}(\nu, \nu) n_{\nu} (1 + v_a + v_\beta) + 3 \sum_{\nu} \sum_{\gamma} (B_{a\alpha\gamma\gamma}^{*(4)}(\nu, \nu) + B_{\beta\beta\gamma\gamma}^{*(4)}(\nu, \nu)) n_{\nu} (1 + 2v_\gamma); \quad (6a)$$

$$R_{a\beta}^{(1)}(2) = R_{\beta}^{(1)}(E - \chi^2 \bar{\omega}_a) + R_{\alpha}^{(1)}(E - \chi^2 \bar{\omega}_\beta) + S_{\beta\alpha}(E) + S_{\alpha\beta}(E) + T_{a\beta}^{(1)}(E)(1 + v_a + v_\beta) \quad (6b)$$

$$R_{\sigma}^{(1)}(E) = \chi^2 \sum_{\gamma, \delta} \frac{9}{4} \left[\sum_{\nu} (B_{\alpha\gamma\delta}^{*(3)}(\nu, \nu) n_{\nu})^2 (1 + v_a + v_\delta) \left(\frac{1}{E - \chi^2(\bar{\omega}_\gamma + \bar{\omega}_\delta)} - \frac{1}{E + \chi^2(\bar{\omega}_\gamma + \bar{\omega}_\delta)} \right) - 2 \sum_{\nu} (B_{\alpha\gamma\delta}^{*(3)}(\nu, \nu) n_{\nu})^2 \frac{v_j - v_\delta}{E - \chi^2(\bar{\omega}_j - \bar{\omega}_\delta)} + \sum_{\nu, \mu} B_{\alpha\alpha\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) (B_{\gamma\delta\delta}^{*(3)}(\mu, \mu) (1 + 2v_\gamma) \cdot \left(\frac{1}{E - \chi^2(\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\gamma)} - \frac{1}{E - \chi^2(\bar{\omega}_\beta - \bar{\omega}_\gamma)} \right) \right]$$

$$S_{a\beta}^{(1)}(E) = \chi^2 \sum_{\gamma} \frac{9}{4} \left[\sum_{\mu, \nu} 2B_{\beta\beta\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{a\alpha\gamma}^{*(3)}(\mu, \mu) n_{\nu} n_{\mu} \cdot \left(\frac{1 + v_\beta + v_\gamma}{E - \chi^3(\bar{\omega}_a + \bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\gamma)} - \frac{v_a - v_\gamma}{E - \chi^2(\bar{\omega}_a + \bar{\omega}_\beta - \bar{\omega}_\gamma)} \right) + 2 \sum_{\nu} (B_{a\beta\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) n_{\nu})^2 \cdot \left(\frac{1 + v_\beta + v_\gamma}{E - \chi^2(2\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\gamma)} - \frac{v_a - v_\gamma}{E - \chi^2(2\bar{\omega}_\beta - \bar{\omega}_\gamma)} \right) + \sum_{\nu, \mu} B_{\beta\beta\alpha}^{*(3)}(\nu, \nu) B_{a\gamma\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) \cdot \right]$$

$$\cdot \frac{n_\nu n_\mu (1+2v_\gamma)}{E - \chi^2 \bar{\omega}_\beta} + \sum_{\mu, \mu'} B_{\beta\gamma\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) B_{\alpha\alpha\beta}^{*(3)} n_\nu n_\mu \frac{1+2v_\gamma}{E - \chi^2 (2\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\alpha)} \Big|;$$

$$T_{\alpha\beta}^{(1)}(E) = \chi^2 \sum_\gamma' \frac{9}{2} \sum_\nu (B_{\alpha\beta\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) n_\nu)^2 \left(\frac{1}{E - \chi^2 \bar{\omega}_\gamma} - \frac{1}{E + \chi^2 \bar{\omega}_\gamma} \right),$$

Второе слагаемое в (5) учитывает неадиабатическую связь квазинормальных осцилляторов, определяемую недиагональными (по фоновым индексам) коэффициентами $B_{\alpha\beta}^{*(2)}(\nu, \nu')$.

$$R_{\alpha\beta}^{(2)} = \sum_\gamma' \sum_{\nu, \nu'} \left\{ |B_{\beta\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu')|^2 \left[\frac{n_\nu (1+v_\gamma) - n_{\nu'} v_\gamma}{E - \varepsilon_{\nu'} + \varepsilon_\nu - \chi^2 (\bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\gamma)} + \right. \right.$$

$$\left. + \frac{n_\nu v_\gamma - n_{\nu'} (1+v_\gamma)}{E - \varepsilon_{\nu'} + \varepsilon_\nu - \chi^2 (\bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\gamma)} \right] + |B_{\alpha\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu')|^2 \times$$

$$\times \left[\frac{n_\nu (1+v_\gamma) - n_{\nu'} v_\gamma}{E - \varepsilon_{\nu'} + \varepsilon_\nu - \chi^2 (\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\gamma)} + \frac{n_\nu v_\gamma - n_{\nu'} (1+v_\gamma)}{E - \varepsilon_{\nu'} + \varepsilon_\nu - \chi^2 (\bar{\omega}_\beta - \bar{\omega}_\gamma)} \right] \quad (7)$$

(штрих над символом первой суммы означает пропуск слагаемых с $\gamma = \alpha, \gamma = \beta$). Вклад $R_{\alpha\gamma}^{(2)}$ существен лишь при наличии близких уровней электронного возбуждения (например, примесных), когда $\varepsilon_{\nu'} - \varepsilon_\nu \sim \sim \chi^2 (\bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\beta)$.

Третье слагаемое в (5) определяется смешанной связью осцилляторов, обусловленной как величинами $B_{\alpha\beta}^{*(2)}(\nu, \nu')$, так и ангармоническими постоянными:

$$R_{\alpha\beta}^{(3)} = R_\alpha^{(3)}(E - \chi^2 \bar{\omega}_\beta) + R_\beta^{(3)}(E - \chi^2 \bar{\omega}_\alpha) + S_{\alpha\beta}^{(3)}(E) + S_{\beta\alpha}^{(3)}(E) +$$

$$+ T_{\alpha\beta}^{(3)}(E)(1+v_\alpha + v_\beta) \quad (8)$$

$$R_\alpha^{(3)}(E) = \frac{3}{2} \chi^2 \sum_{\gamma, \delta}' \sum_{\mu, \mu'} \left[B_{\gamma\delta}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\alpha\gamma\delta}^{*(4)}(\mu, \mu) n_\nu n_\mu (1+v_\gamma + v_\delta) \cdot \right.$$

$$\cdot \left(\frac{1}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\gamma + \bar{\omega}_\delta)} - \frac{1}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_\alpha - \bar{\omega}_\gamma - \bar{\omega}_\delta)} \right) -$$

$$- 2B_{\gamma\delta}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\alpha\gamma\delta}^{*(2)}(\mu, \mu) n_\nu n_\mu \cdot \frac{v_\gamma - v_\delta}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\gamma - \bar{\omega}_\delta)} +$$

$$\left. + B_{\alpha\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\gamma\delta\delta}^{*(4)}(\mu, \mu) n_\nu n_\mu \left(\frac{1}{E - \chi^2 \bar{\omega}} - \frac{1}{E + \chi^2 \bar{\omega}_\gamma} \right) \right]$$

$$S_{\alpha\beta}^{(3)} = \chi^2 \sum_\gamma' \sum_{\mu, \mu'} \left[2B_{\beta\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\alpha\beta\gamma}^{*(4)}(\mu, \mu) n_\nu n_\mu \left(\frac{1+v_\beta + v_\gamma}{E - \chi^2 (2\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\gamma)} - \right. \right.$$

$$\left. - \frac{v_\beta - v_\gamma}{E - \chi^2 (2\bar{\omega}_\beta + \bar{\omega}_\alpha - \bar{\omega}_\gamma)} \right) + B_{\beta\beta}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\alpha\gamma\gamma}^{*(4)}(\mu, \mu) n_\nu n_\mu \times$$

$$\times \frac{1+2v_\gamma}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\beta)} + B_{\alpha\beta}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\beta\gamma\gamma}^{*(4)}(\mu, \mu) n_\nu n_\mu \frac{1+2v_\gamma}{E - \chi^2 2\bar{\omega}_\beta} \Big].$$

* В эффективном гамильтониане соответствующие члены имеют второй порядок по χ .

$$T_{\alpha\beta}^{(3)} = \chi^2 \sum_{\gamma} \sum_{\mu, \nu} \left[B_{\alpha\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\beta\gamma}^{*(4)}(\mu, \mu) n_{\nu} n_{\mu} \left(\frac{1}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_{\beta} + \bar{\omega}_{\gamma})} - \frac{1}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_{\beta} - \bar{\omega}_{\gamma})} \right) + B_{\beta\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu) B_{\alpha\alpha\beta\gamma}^{*(4)}(\mu, \mu) n_{\nu} n_{\mu} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{1}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\gamma})} - \frac{1}{E - \chi^2 (\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\gamma})} \right) \right].$$

Выражение для константы затухания можно представить в виде

$$\Gamma_{\alpha\beta}(\omega_{\alpha} + \omega_{\beta}) = \gamma_{\alpha} + \gamma_{\beta} + \gamma'_{\alpha} + \gamma'_{\beta} + \gamma_{\alpha\beta}. \quad (9)$$

Величины γ_{α} и γ'_{α} связаны с неадиабатичностью:

$$\gamma'_{\alpha} = \sum_{\gamma} \sum_{\nu, \nu'} |B_{\alpha\gamma}^{*(2)}(\nu, \nu')|^2 \{ |n_{\nu} (1 + v_{\gamma}) - n_{\nu'} v_{\gamma}| \delta(\varepsilon_{\nu'} - \varepsilon_{\nu} - \chi^2 (\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\gamma})) + \\ + |n_{\nu} v_{\gamma} - n_{\nu'} (1 + v_{\gamma})| \delta(\varepsilon_{\nu'} - \varepsilon_{\nu} - \chi^2 (\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\gamma})) \} \quad (10)$$

они сколько-нибудь существенны лишь при благоприятном расположении (примесного) электронного уровня.

Величины γ_{α} , γ'_{α} характеризуют обычный распад фононных состояний из-за ангармоничности (^{3, 4}); они определяются постоянными ангармоничности $B^{(3)}$:

$$\gamma_{\alpha} = \sum_{\gamma, \delta} \sum_{\nu} (B_{\alpha\gamma\delta}^{*(3)}(\nu, \nu) n_{\nu})^2 [(1 + v_{\gamma} + v_{\delta}) \delta(\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\gamma} - \bar{\omega}_{\delta}) - \\ - (v_{\gamma} - v_{\delta}) \delta(\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\gamma} + \bar{\omega}_{\delta})] \quad (11)$$

и соответствуют распаду фонона α на два других (⁴).

Затухание $\gamma_{\alpha\beta}$ по своей природе близко к γ_{α} , однако оно специфично лишь для составных тонов и отражает противоположный процесс — распад коррелированной пары фононов на один фонон:

$$\gamma_{\alpha\beta} = 2 \sum_{\gamma} \sum_{\nu} (B_{\alpha\beta\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) n_{\nu})^2 [(1 + 2v_{\gamma} + v_{\beta} - v_{\alpha}) \delta(\bar{\omega}_{\beta} - \bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\gamma}) + \\ + (1 + 2v_{\gamma} + v_{\alpha} - v_{\beta}) \delta(\bar{\omega}_{\beta} - \bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\gamma}) + (1 + v_{\alpha} + v_{\beta}) \delta(\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\beta} - \bar{\omega}_{\gamma})]. \quad (12)$$

Нетрудно заметить, что затухания γ_{α} и γ'_{α} фигурируют в соответствующих формулах для основных тонов в спектре ИК поглощения (¹).

Таким образом, ширина линии на частоте $\omega_{\alpha} + \omega_{\beta}$ в ИК спектре поглощения кристалла складывается из ширин фононных уровней α и β и специфичной „коллективной“ константы затухания $\gamma_{\alpha\beta}$.

Относительная интенсивность полос, отвечающих различным комбинациям частот ω_{α} и ω_{β} , определяется коэффициентом $P_{\alpha\beta}$, возникающим в результате суммирования величин $I_{\alpha}(A)$ из (3) в соответствии с формулой (1). Соответствующие выкладки дают

$$\sigma_{\omega_{\alpha} + \omega_{\beta}}(\omega) = \text{const} \times \\ \times \omega \frac{\chi^4}{\varepsilon} \sum_{\alpha, \beta} \frac{P_{\alpha\beta} \Gamma_{\alpha\beta}(\omega_{\alpha} + \omega_{\beta})}{[\omega - (\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\beta}) - \chi^2 \bar{M}_{\alpha, \beta}(\omega_{\alpha} + \omega_{\beta})]^2 + [\chi^2 \Gamma_{\alpha, \beta}(\omega_{\alpha} + \omega_{\beta})]^2}, \quad (13)$$

причем

$$P_{\alpha\beta} = M_{\alpha\beta}^{(2)} \left\{ 2 M_{\alpha\beta}^{(2)} + \sum_{\gamma}' (1 + v_{\alpha} + v_{\beta}) \sum_{\nu} B_{\alpha\beta\gamma}^{*(3)} (\nu, \nu) n_{\nu} \cdot \left(\frac{1}{\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\beta} - \bar{\omega}_{\gamma}} - \frac{1}{\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\beta} + \bar{\omega}_{\gamma}} \right) M_{\gamma}^{(1)} I + 2 \sum_{\nu} B_{\alpha\gamma}^{*(2)} (\nu, \nu) n_{\nu} \cdot \left(\frac{1 + v_{\beta} + v_{\gamma}}{\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\beta}} + \frac{v_{\gamma} - v_{\beta}}{\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\gamma}} \right) M_{\beta\gamma}^{(2)} \right\}. \quad (14)$$

Тривиальные множители, связанные с т. н. „нулевой амплитудой“ $\bar{Q}_2^0$ включены, по определению, в коэффициенты разложения $M(b, b^+)$.

Как видно из формулы (14), влияние ангармоничности (многомодовые эффекты) резко возрастает, когда сумма частот $\omega_{\alpha} + \omega_{\beta}$ совпадает с одной из частот колебательного спектра. При этом интенсивность обертона или составного тона резко возрастает (этот эффект известен в литературе под названием резонанса Ферми см., например, (5)). Простой резонанс ($\omega_{\alpha} \simeq \omega_{\beta}$), очевидно, в нашем приближении (с точностью до членов $\sim \chi^4$) будет существен лишь при наличии неадиабатической связи между нормальными модами.

3. Вычисление коэффициента поглощения на разностной частоте $\omega_{\alpha} - \omega_{\beta}$ требует знания функций Грина типа $\langle\langle b_{\alpha} b_{\beta}^+ / B \rangle\rangle_E$, где B составлено из b, b^+ операторов в соответствии с формулой (2). Структура выражений для этих функций Грина аналогична структуре (3); поэтому для коэффициента поглощения можно записать следующее соотношение:

$$\sigma_{\omega_{\alpha} - \omega_{\beta}}(\omega) = \text{const} \cdot \frac{\chi^4}{\pi} \sum_{\alpha, \beta} \frac{P_{\alpha\beta} + \Gamma_{\alpha\beta} + (\omega_{\alpha} - \omega_{\beta})}{[\omega - (\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\beta}) - \chi^2 M_{\alpha\beta} + (\omega_{\alpha} - \omega_{\beta})]^2 + [\chi^2 \Gamma_{\alpha\beta} + (\omega_{\alpha} - \omega_{\beta})]^2} \quad (15)$$

Входящая в эту формулу величина $P_{\alpha\beta+}$ по-прежнему зависит от коэффициентов разложения $M(b, b^+)^*$, постоянных ангармоничности, структуры фононного (вибронного) спектра и ангармонических поправок:

$$P_{\alpha\beta+} = M_{\alpha\beta}^{(2)} \left\{ 2 M_{\alpha\beta}^{(2)} + \sum_{\gamma}' \left[3 \sum_{\nu} B_{\alpha\beta\gamma}^{*(3)} (\nu, \nu) n_{\nu} (v_{\beta} - v_{\alpha}) \cdot \left(\frac{1}{\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\beta} - \bar{\omega}_{\gamma}} - \frac{1}{\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\beta} + \bar{\omega}_{\gamma}} \right) M_{\gamma}^{(1)} + \sum_{\nu} B_{\alpha\gamma}^{*(2)} (\nu, \nu) n_{\nu} \left(\frac{1}{\bar{\omega}_{\alpha} - \bar{\omega}_{\gamma}} - \frac{1}{\bar{\omega}_{\alpha} + \bar{\omega}_{\gamma}} \right) \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (1 + v_{\beta} + v_{\gamma}) M_{\beta\gamma}^{(2)} \right] \right\}. \quad (16)$$

Поляризационный оператор $M_{\alpha\beta+}$ имеет структуру аналогичную (5), однако надо заменить $1 + v_{\alpha} + v_{\beta}$ на $v_{\beta} - v_{\alpha}$, изменить знак перед коэффициентами $B_{\beta\beta\gamma\gamma}^{*(4)}$ в (6а), $|B_{\beta\gamma}^{*(2)}|^2$ в (7) и знак перед членами R_3

* Отличие от нуля высших (второго и следующих) членов разложения $M(b, b^+)$ в ряд по b, b^+ часто называют электрической ангармоничностью. При учете этих членов обертоны и составные тоны возникают и для гармонически колеблющихся ядер.

в (6б) и (8). В членах $S_{\alpha\beta}$ формулы (6б) и (8) надо сделать замену ω_α на $-\omega_\alpha$ и E на $-E$, а в членах $S_{\beta\gamma}$, $T_{\alpha\beta}^{(3)}$ этих формул и в формуле (7) — замену $\bar{\omega}_\beta$ на $-\bar{\omega}_\beta$. В членах R_α формулы (6б) и (8) надо подставить $E + \chi^2 \bar{\omega}_\beta$ вместо $E - \chi^2 \bar{\omega}_\beta$.

Что касается затухания, то

$$\Gamma_{\alpha\beta\gamma}(\omega_\alpha - \omega_\beta) = \gamma_\alpha - \gamma_\beta + \gamma'_\alpha - \gamma'_\beta + \gamma_{\alpha\beta\gamma}$$

выражения для γ_α , γ'_α приведены нами выше (см. (10), (11)).

$$\gamma_{\alpha\beta\gamma} = 2 \sum_{\gamma} \sum_{\nu} (B_{\alpha\beta\gamma}^{*(3)}(\nu, \nu) n_\nu)^2 \{ (v_\beta - v_\alpha) [\delta(\bar{\omega}_\alpha - \bar{\omega}_\beta - \bar{\omega}_\gamma) - \delta(\bar{\omega}_\alpha - \bar{\omega}_\gamma + \bar{\omega}_\beta)] + (v_\alpha + v_\beta - 2v_\gamma) \delta(\bar{\omega}_\alpha + \bar{\omega}_\beta - \bar{\omega}_\gamma) \}. \quad (18)$$

Если рассмотреть случай колебаний примесного центра (α и β — моды локальных колебаний) и считать, следовательно $v_\alpha \ll 1$, $v_\beta \ll 1$, то затухания (11) и (18) и выражения для смещений совпадают с соответствующими результатами работы (¹).

ИОХ Академии наук СССР
ИФН Академии наук Армянской ССР

Լ. Լ. ԿՐՈՒՇԻՆՍԿԻ, Ֆ. Պ. ՍԱՖԱՐԻԱՆ

Բյուրեղների և բազմատոմ մոլեկուլների բազմապատիկ և բաղադրիչ հաճախականությունների տեսության շուրջը

Օգտագործելով երկամասնակային (չերմաստիճանային) Գրինի ֆունկցիաների մեթոդը և հիմք ունենալով Բորն-Օպենհայմերի ճշգրիտ համընկնող վերլուծած ըստ փոքր χ պարամետրի, հաշվված է բյուրեղների և բազմատոմ մոլեկուլների կլանման սպեկտրները բազմապատիկ և բաղադրիչ հաճախականությունների վրա:

Կլանման գործակիցները, այդ հաճախականությունների վրա, տարբեր են 0-ից, շնորհիվ այն բանի, որ ոչ հարմոնիկ և ոչ ադիարատիկ գործակիցների ներկայությունը սխտեմի համընկնողների մեջ, խախտում են հարմոնիկ օսցիլիատորի շոկման կանոնները:

Ստացված և ուսումնասիրված է այդ կլանման գծերի սպեկտրային բնութագրերը (ինտենսիվությունը, մարսիմոմի դիրքը, գծի լայնությունը): Ցույց է տրված ոչ ադիարատիկության և ոչ հարմոնիկության ազդեցությունը այդ բնութագրերի վրա:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ Л. Л. Крушинский, Ф. П. Сафарян, ДАН АрмССР т. 48, № 1 (1969). ² В. Л. Бонч-Бруевич, С. В. Тябликов, Метод функций Грина в статистической механике М., 1961. ³ М. А. Кривоглаз, И. П. Пинкевич, Опт. и спектр., 23, 571 (1967). ⁴ P. Kwok, P. Miller, Phys. Rev. 146, 592 (1966). ⁵ Г. Герцберг, Колебательные и вращательные спектры многоатомных молекул, стр. 234. М., 1949.

УДК 546.719+667.622

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

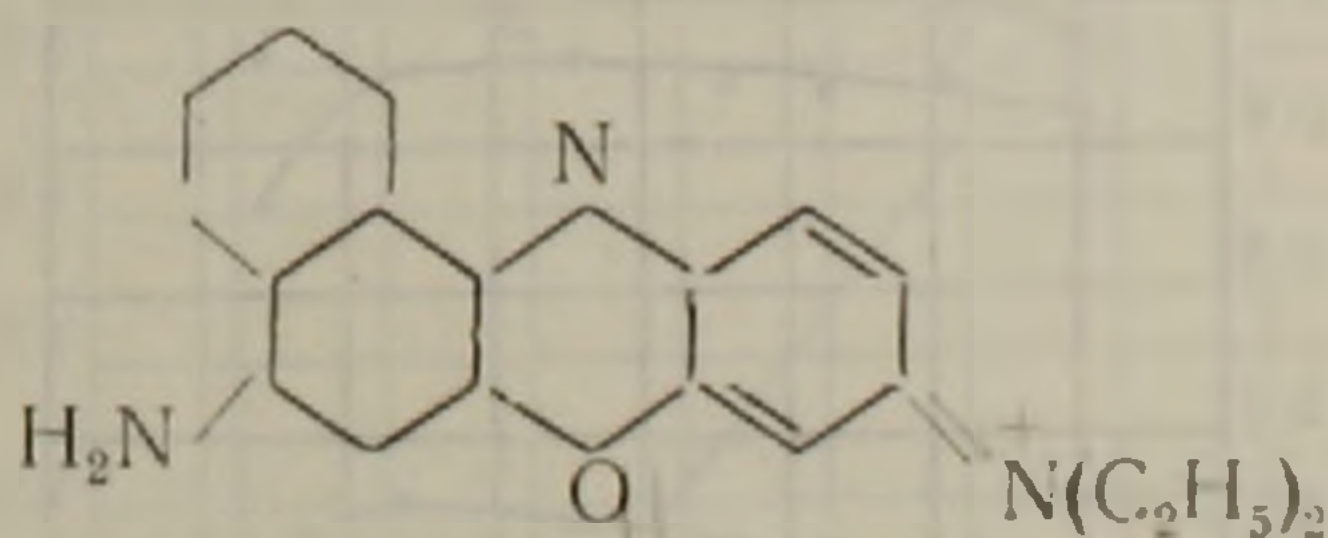
Член-корреспондент АН Армянской ССР В. М. Тараян, С. В. Вартанян

О взаимодействии перренат-иона с основным
 красителем «нильским голубым»

(Представлено 11/VII 1968)

Ранее проведенными исследованиями было показано, что перренат-ион взаимодействуя с тиазиновыми красителями образует соединения, которые в виде ионных ассоциатов экстрагируются из фосфорнокислой среды. Полученные экстракты интенсивно окрашены и могут быть использованы для экстракционно-фотометрического определения малых количеств рения (^{1,2}).

Данные с применением для указанной цели красителей оксазинового ряда в литературе отсутствуют. Представляло интерес выяснить различие в реакционной способности тиазиновых и оксазиновых красителей, что по-видимому могло быть обусловлено заменой атома серы в соответствующих соединениях атомом кислорода. С этой целью изучено взаимодействие перренат-иона с оксазиновым красителем — кислая сернокислая соль амино-нафтодиэтил-аминофеноксазина («Нильский голубой А»).



Опыты показали, что этот реагент взаимодействует с рением (VII) в фосфорнокислой среде. Образующееся соединение экстрагируется дихлорэтаном.

На рис. 1 приведены спектры поглощения дихлорэтановых экстрактов красителя и его соединения ($\text{pH} \approx 5,6$).

Экстракт чистого красителя имеет красную окраску и максимумы на кривой его светопоглощения наблюдаются при 530—550 нм и 650 нм. Дихлорэтановый экстракт соединения перренат-иона с красителем окрашен в синий цвет, а максимум его светопоглощения отмечается при 650 нм. В присутствии серной и в особенности соляной кислоты резко

повышается извлечение чистого красителя. Поэтому при определении оптимальных значений pH водной фазы, заданное значение pH создавалось с помощью фосфорной кислоты или фосфатных буферных растворов и контролировалось потенциометрически.

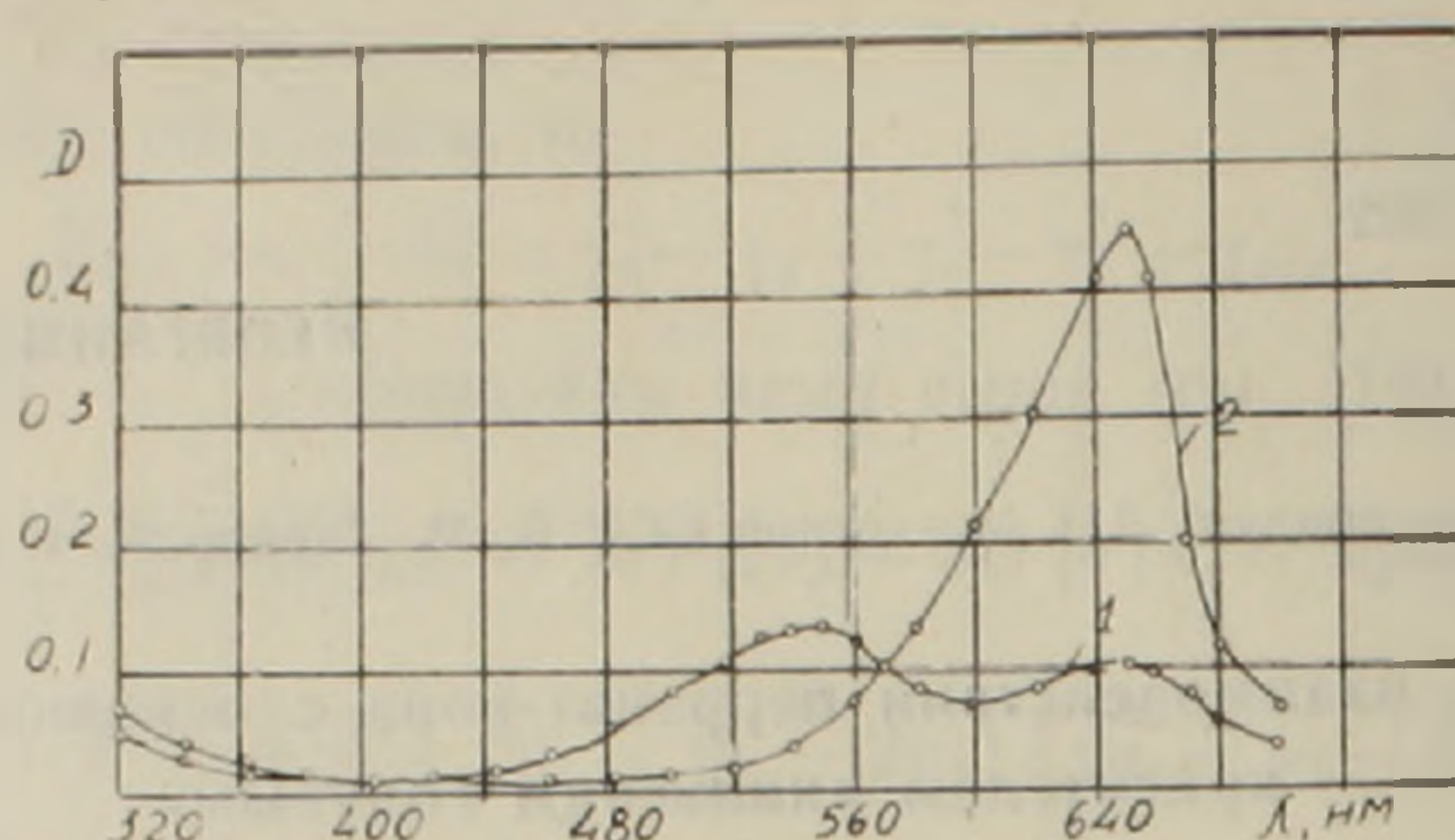


Рис. 1. Кривые светопоглощения дихлорэтановых экстрактов: 1— $4,8 \cdot 10^{-5}$ М раствора «нильского голубого» по отношению к дихлорэтану; 2—соединения перренат-иона с «нильским голубым» по отношению к холостому $[KReO_4] = 2,16 \cdot 10^{-6}$ М, $[крас.] = 4,8 \cdot 10^{-5}$ М (pH=5,6; $l=10$ мм).

Исследуемое соединение рения экстрагировалось дихлорэтаном из водной фазы в интервале значений pH 0,8—6,6. В делительную воронку помещали 1 мл раствора содержащего 10 мкг рения, 0,5 мл 0,1-процентного раствора красителя и соответствующим буферным раствором разбавляли до объема 25 мл. Затем добавляли 10 мл дихлорэтана и взбалтывали 1 мин. После разделения фаз оптическая плотность дихлорэтанового экстракта измерялась при 650 нм. Раствором сравнения служил экстракт реактива.

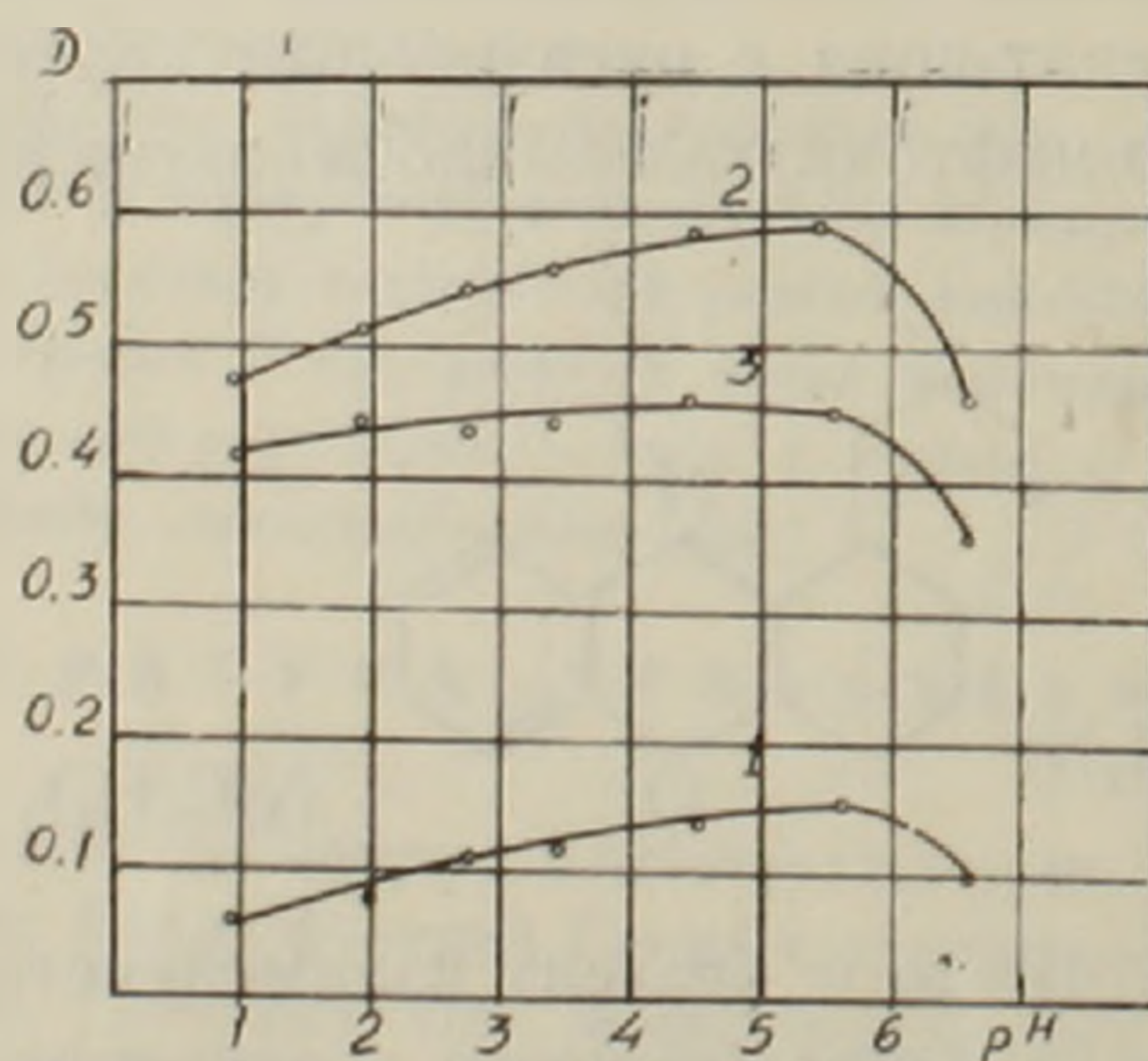


Рис. 2. Оптическая плотность дихлорэтанового экстракта в зависимости от кислотности водной фазы (среда фосфорнокислая): 1—красителя по отношению к чистому экстрагенту; 2—соединения по отношению к чистому экстрагенту; 3—дифференциальная кривая.

Из приведенных на рис. 2 данных следует, что наивысшее и постоянное значение оптической плотности наблюдается в интервале значений pH 1,9—5,7. Заметно высокий коэффициент распределения исследуемого соединения между органической и водной фазами, позволил ограни-

читься однократной экстракцией. Для практического полного извлечения рення достаточен 20-кратный избыток красителя. Окраска дихлорэтанового экстракта устойчива и сохраняется в течение 24 часов. Подчиняемость закону Бера соблюдается в интервале 0—20 $\mu\text{г Re}/10 \text{ мл}$

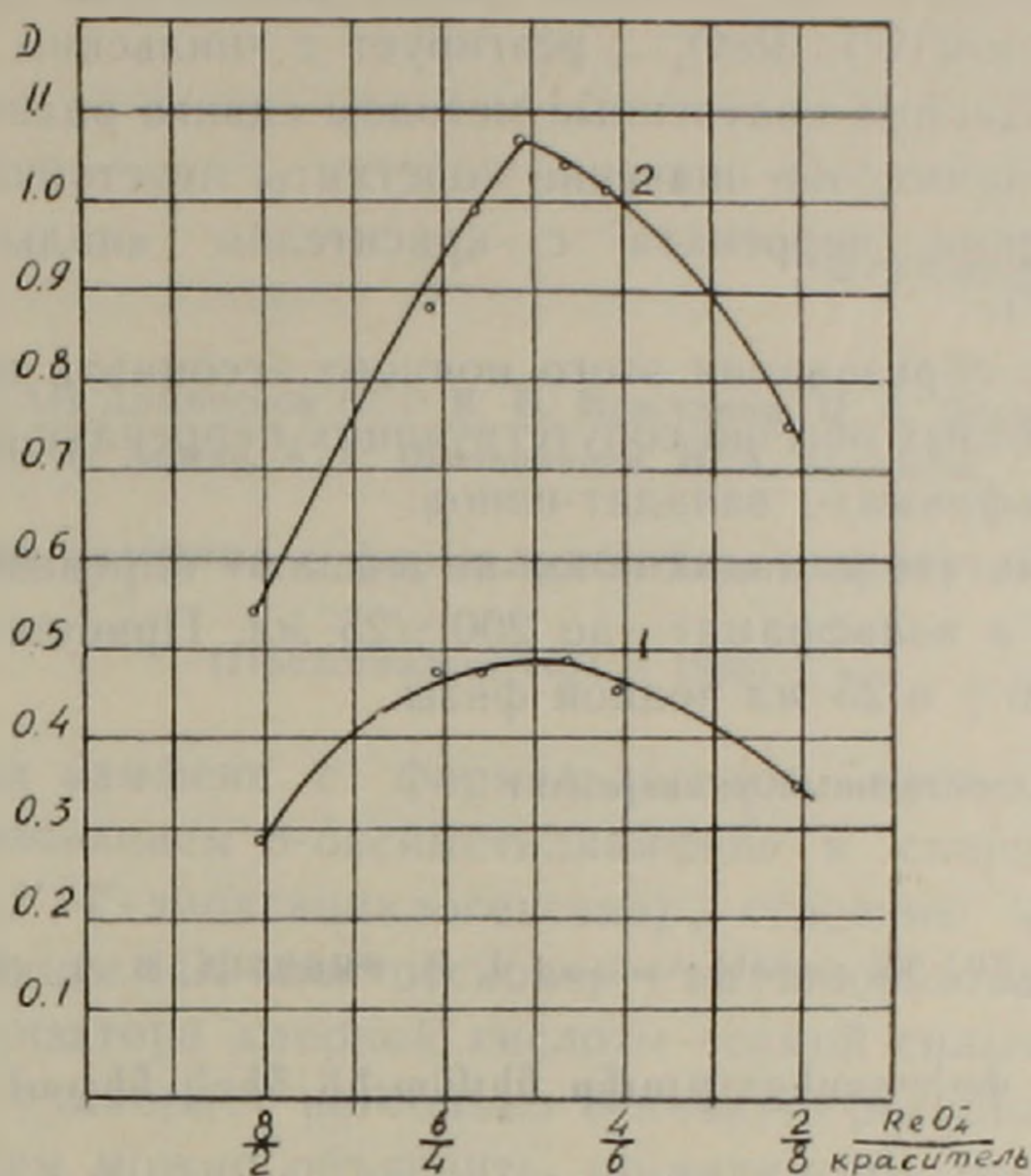


Рис. 3. Кривые состав-оптическая плотность дихлорэтанового экстракта системы перренат—„нильский голубой“ при общей молярной концентрации: 1— $2,7 \cdot 10^{-5} \text{ M}$; 2— $5,4 \cdot 10^{-5} \text{ M}$.

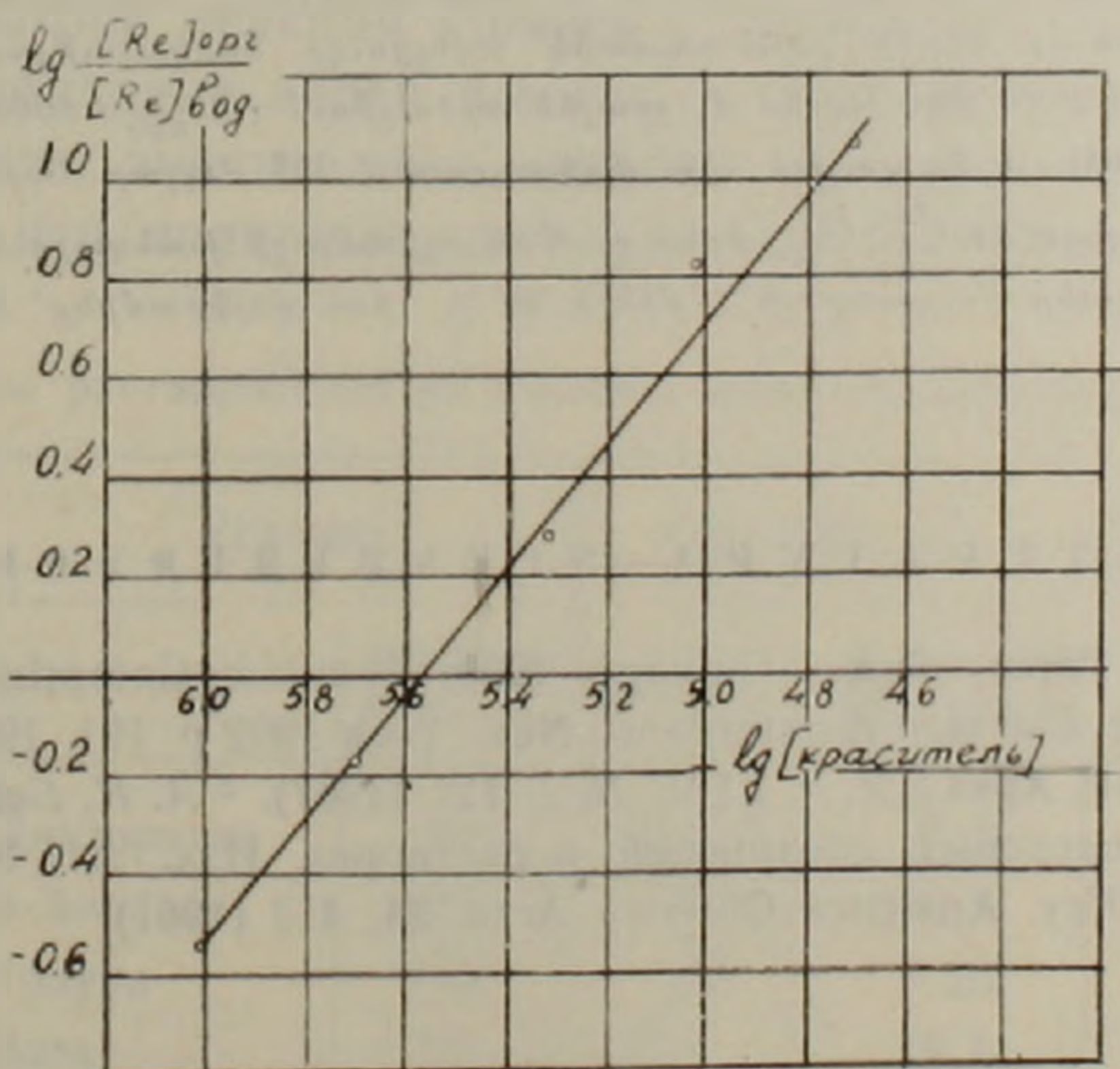


Рис. 4. Логарифмический график зависимости образования комплекса от концентрации „нильского голубого“. $[Re]_{\text{орг}}$ -концентрация соединения перрената с красителем в органической фазе, $[Re]_{\text{вод}}$ -концентрация перрената в водной фазе, $[\text{краситель}]$ —равновесная концентрация „нильского голубого“ в водной фазе.

дихлорэтана. Кажущийся коэффициент молярного погашения дихлорэтановых экстрактов ассоциата рения с красителем, полученный методом насыщения равен $\bar{\epsilon} = 8 \cdot 10^4$.

Состав образующегося соединения был установлен методом изо-молярных серий (рис. 3), методом сдвига равновесия (рис. 4) и препаративным методом^(3,4). ReO_4^- — реагирует с «нильским голубым» соотношением 1:1. Данные полученные методом сдвига равновесия, позволили рассчитать примерное значение константы неустойчивости образующегося соединения перрената с красителем «нильским голубым» ($K_{\text{н.ст.}} \approx 2,7 \cdot 10^{-6}$).

В условиях образования этого ионного ассоциата изучалось также поведение некоторых обычно сопутствующих перренату ионов, а именно: молибдат-, вольфрамаг-, ванадат-ионов.

Установлено, что ванадат-ионы не мешают определению перрената до 400 γ /25 мл, а вольфрамаг—до 200 γ /25 мл. Присутствие молибдена допустимо до 50 γ в 25 мл водной фазы.

Ереванский государственный университет

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ Իդրակից-անդամ Վ. Մ. ԽԱՌԱՅԱՆ, Ս. Վ. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

Պերոենատ իոնի փոխադրեցությունը հիմնային ներկ նիլյան կապույտի հետ

Պարզվել է, որ օրսագինային ներկ նիլյան կապույտը փոխադրում է պերոենատ իոնի հետ առաջացնելով ֆոսֆորաթթվային միջավայրում դիբորեթանով էքստրակվող իոնական ասոցիատ։
Որոշվել են միացության առաջացման օպտիմալ պայմանները և բաղադրությունը։

Մաքսիմում լուսակլոնումը ներկի դիբորեթանային էքստրակտի համար համապատասխան հանվազ էքստրակցիայով ներկի քանապատի կազմելու է ներկայությամբ։ Բերիի օրենքին $\text{pH} = 1,9 - 5,7$ ։ Պերոենատ իոնը պորձնականորեն ամբողջությամբ օրգանական ֆազ է անցնում միանվազ էքստրակցիայով ներկի քանապատիկ ավելցուկի ներկայությամբ։ Բերիի օրենքին ենթարկումը դիտվում է 0,20 մկգ $\text{Re } 25$ մլ ջրային լուծույթում ($\epsilon_{650} = 80000$)։

Պերոենատ իոնը նիլյան կապույտի հետ փոխադրում է 1:1 մոլյար հարաբերությամբ։

Որոշմանը խանգարում են Cl^- , SO_4^{2-} իոնները։ Վանադիումը չի խանգարում մինչև 400 γ /25 մլ։ Մոլիբդենի ներկայությունը թույլատրելի է մինչև 50 γ , իսկ վոլֆրամինը՝ 200 γ 25 մլ ջրային լուծույթում։

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

- ¹ S. Tribalat, Papers Symp. Chikago, 1960; Rhenium Compilation of papers edited by B. W. Gonser Elsevier Amsterdam—New York 1962 p. 191, 199. ² В. М. Тараян, С. В. Вартанян, ДАН АрмССР, т. XLV, № 2, 121 (1967). ³ А. К. Бабко, Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах Изд. АН УССР, Киев, 1955. ⁴ Z. Culkin, J. P. Riley, Analitica Chimica Acta, 24, 413 (1961).

С. В. Хомко, А. Г. Шильникова, Н. А. Захарова

(Представлено 10/VII 1968)

Таблица 1

Взято в реакцию, г		Условия		Получено, г		Степень превращения камфена, %	Выход продук- тов от веса кам- фена, %
камфен	формаль- дегид	растворитель	темпера- тура °С	камфен	фр. 100—115,5		
28	24	Дихлорэтан	83	8,5	9,8	70	35
28	24	р-Диоксан	102	5,6	16,3	80	58,2
28	24	Толуол	110	25	1,25	10,7	4,5
28	24	Вода	95	3,5	19,1	87,5	68,2

89

камфена с формальдегидом значительно повышается при добавлении воды, поэтому в дальнейшем конденсацию терпенов на катионите КУ-2 проводили с водным раствором формальдегида (36%-ным формалином). Условия: продолжительность опыта — 6 час., количество КУ-2 — 15% на смесь исходных реагентов.

Камфен в контролируемых условиях реакции (табл. 1) в результате перегруппировки Наметкина частично превращается в изоборнеол. Образование последнего не является неожиданным, так как известно, что катионно-обменные смолы являются эффективными катализаторами гидратации (³).

Анализ и разделение продуктов конденсации камфена с формальдегидом методом препаративной газожидкостной хроматографии показали, что основным направлением реакции является образование спиро-/2,2-диметилнорборнан-3, 1'-(2', 4'-диоксациклогексана)/, 8-оксиметилкамфена и его полуацеталя.

Структура спиро-/2,2-диметилнорборнан-3, 1'-(2', 4'-диоксациклогексана)/ установлена превращением его в 8-оксиметилкамфен и подтверждена ИК-спектром. Соединения, содержащие 1,3-диоксановое кольцо в своей структуре, способны превращаться в соединения разных классов. Так, восстановлением (¹) над медно-хромовым катализатором получили 3-оксиэтил-2,2-диметилнорборнан. Образование другого продукта реакции — 8-оксиметилкамфена может протекать через соответствующий 1,3-диол. Из литературных данных известно, что при комнатной температуре диол и диоксан образуются параллельно. Однако при более высоких температурах (95° в наших опытах) возможно их взаимопревращение (⁵).

В условиях реакции диол чрезвычайно легко дегидратируется до 8-оксиметилкамфена, который при взаимодействии с формальдегидом дает полуацеталь. Строение 8-оксиметилкамфена и его полуацеталя подтверждено их превращением в камфенилон в результате озонолиза, что свидетельствует о сохранении терпенового остатка в продуктах реакции Принса с камфеном.

Таким образом, конденсация камфена с формальдегидом, катализируемая катионитом КУ-2, отличается более мягкими условиями протекания реакции, большей селективностью процесса по сравнению с гомогенными катализаторами применяемыми в этой реакции (¹).

В трехгорлую колбу, снабженную механической мешалкой, холодильником и термометром, помещали 28 г камфена, 67 мл 36%-го формалина, 10 г КУ-2 и перемешивали в течение 6-ти часов при температуре кипения реакционной смеси (95—97°C). После окончания реакции катионит КУ-2 отфильтровывали, а продукты реакции перегоняли с водяным паром. Из продуктов перегонки помимо исходных (т. кип. 30—40° при 5 мм, 3,5 г) выделяли изоборнеол (т. пл. п-нитробензоата — 129—130°, лит. данные (¹): т. пл. п-нитробензоата — 131°C)

и фракцию с т. кип. $100-115^\circ$ при 5 мм — 19,1 г. Эта фракция, по данным хроматографического анализа, представляла собой сложную смесь продуктов реакции, которую не удалось разделить вакуумной перегонкой. Методом препаративной ГЖХ из фракции $100-115^\circ$ при 5 мм выделены и идентифицированы:

1. 8-оксиметилкамфен, $n_D^{20} - 1,4980$ $d_4^{20} - 0,9812$ MR_D найдено — 49,55; вычислено — 49,66

Найдено $\%:$ C — 79,08 H — 10,92 $C_{11}H_{17}OH$ вычислено, $\%:$ C — 79,52, H — 10,84 3,5-динитробензоат: т. пл. $88-89^\circ$.

Лит. данные (¹): т. кип. $100-105^\circ$ при 5 мм, $n_D^{25} - 1,5015$ $d_4^{25} - 0,9799$. В ИК-спектре наблюдаются полосы поглощения при $3045, 1680\text{ см}^{-1}$ (тризамещенная двойная связь), $3625, 3470\text{ см}^{-1}$ (ОН-группа), $1362, 1391\text{ см}^{-1}$ (гем-диметильная группа).

2. Спиро-/2,2-диметилнорборнан-3,1-(2,4-диоксациклогексан)/, $n_D^{20} - 1,4929$ $d_4^{20} - 1,0452$ MR_D найдено — 54,38 вычислено — 54,30
Найдено $\%:$ C — 73,59 H — 10,33. $C_{12}H_{20}O_2$ вычислено, $\%:$ C — 73,43 H — 10,27 лит. данные (¹): т. кип. $103-105^\circ$ при 2 мм, $n_D^{25} - 1,4870$, $d_4^{25} - 1,0303$

Характерный рисунок ИК-спектра в области $1200-900\text{ см}^{-1}$ и полосы поглощения при 1380 и 1367 см^{-1} свидетельствуют о наличии 1,3-диоксанового кольца и гем-диметильной группы в структуре данного соединения.

3. Полуацеталь 8-оксиметилкамфена, $n_D^{20} - 1,5010$ $d_4^{20} - 1,0507$ MR_D найдено — 55,10 вычислено — 54,85
Найдено $\%:$ C — 73,81 H — 10,28 $C_{12}H_{20}O_2$ вычислено $\%:$ C — 73,67. H — 10,27% ОН-групп — 7,8 (по Церевитинову), вычислено — 8,7%.

В ИК-спектре присутствуют полосы поглощения при $3625, 3570, 3470\text{ см}^{-1}$ (ОН-группа), $1390, 1370\text{ см}^{-1}$ (гем-диметильная группа), $1160, 1040, 948\text{ см}^{-1}$ ($-\text{C}-\text{O}-\text{C}-$), $1680, 3045\text{ см}^{-1}$ (тризамещенная двойная связь).

Московский институт нефтехимической
и газовой промышленности
им. И. М. Губкина

Հայկական ՍՍՀ ԳԱ ակադեմիկոս Վ. Ի. ԻՍԱԳՈՒԼՅԱՆՅ, Ի. Ե. ՊՐԿՐՅԱՎՍԿԱՅԱ, Ս. Վ. ԽՈՐԿՈՒ,
Ա. Գ. ՇԻՆԻԿՈՎԱ, Ն. Ա. ԶԱԽԱՐՈՎԱ

Կամֆենի կոնդենսացումը ֆորմալդեհիդի հետ KY-2-ի ներկայությամբ

Սույն աշխատանքում ցույց է տրված KY-2-ի որպես կատալիզատորի օգտագործման հնարավորությունը Պրինսի սեպիցիայում նաև կամֆենի դեպքում: Ռեակցիայի հիմնական ուղղու-

Քլուններն են հանդիսանում սպիրո (2,2դիմեթիլնորբոնսոն-3,1'—(2',4'-դիօքսացիկլոհեքսա-
նի, 8-օքսիմեթիլկամֆենի և վերջինիս կիսաացետալի առաջացումը: Վերջին միացությունը նր-
կարագրվում է առաջին անգամ: Ստացված միացությունների կառուցվածքը հաստատված է
ինչպես քիմիական ճանապարհով, այնպես էլ ինֆրակարմիր սպեկտրոսկոպիայի տվյալներով:

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

¹ Y. Watanabe, Nippon Kagaku Zasshi. 81, 827 (1960). ² В. И. Исагуляни
С. В. Хомко, ЖПХ XL1, 665 (1968). ³ В. И. Исагуляни, М. Г. Сафаров, Авт. свид.
СССР 547 841 (1963). ⁴ L. Dolby, J. Am. Chem. Soc., 27, 2971 (1962). ⁵ C. C. Price, J.
Am. Chem. Soc., 71, 2860 (1949). ⁶ Ph. S. Bailey, Chem. Ber. 88, № 6, 795 (1955).

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

УДК 581.526

Ю. В. Саядян

К истории растительности Ширакской котловины и изменения климатических условий в нижне-среднечетвертичное время

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. О. Гулканяном 27/I 1968 г.)

Дно Ширакской котловины выполнено сзерными и озерно-речными отложениями нижне-среднечетвертичного возраста, мощность которых свыше 300 м. Детальное изучение вещественного состава и литологических особенностей этих отложений позволило нам выделить три литологических комплекса, соответствующих трем стадиям развития древнего Ширакского озера: нижний озерно-речной, средний — озерный и верхний озерно-речной.

Анализ спорово-пыльцевых спектров современной растительности данной области показывает, что они в общем правильно отражают характер исходного растительного покрова и должны быть правдивы для древней флоры региона в целом*.

Анализ полученных спорово-пыльцевых спектров указанных древнеозерных отложений (фиг. 1) позволяет нам установить четыре последовательные фазы развития растительных формаций в рассматриваемой области, соответствующие двум основным этапам изменения климата (табл. 1). Снизу вверх эти фазы следующие: лесная и степная, степная, лесная, степная. Первые три фазы соответствуют времени существования окского оледенения на Русской равнине, а последняя — началу лихвинского межледникового.

На наш взгляд, смена растительного покрова и изменения климата Армении в четвертичный — ледниковый период были связаны с историей оледенения Русской равнины и тем самым отражали общепланетарные изменения климата. В то же время важным регулирующим фактором, очевидно, были и тектонические движения.

Если это так, то отложения, соответствующие времени окского оледенения, накапливались при относительно прохладной и влажной обстановке, характерной для условий плювиального режима. За это время наблюдается трехкратное колебание климата, соответствующее времени развития первых трех фаз растительных формаций. Вначале, в период

* Спорово-пыльцевой анализ наших проб любезно выполнила Н. С. Соколова.

развития лесной и степной фазы, климат рассматриваемой области был относительно прохладным и влажным. Растительность была подчинена вертикальной поясности. Степи располагались в нижнем поясе и были представлены, в основном, лебедовыми и разнотравьем. Леса располагались выше степей, основной древостой которых составляли: береза, сосна и ель. Из высших споровых растений в обоих поясах преобладали

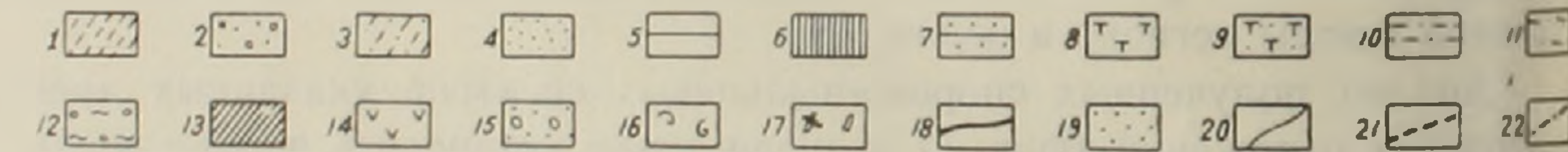
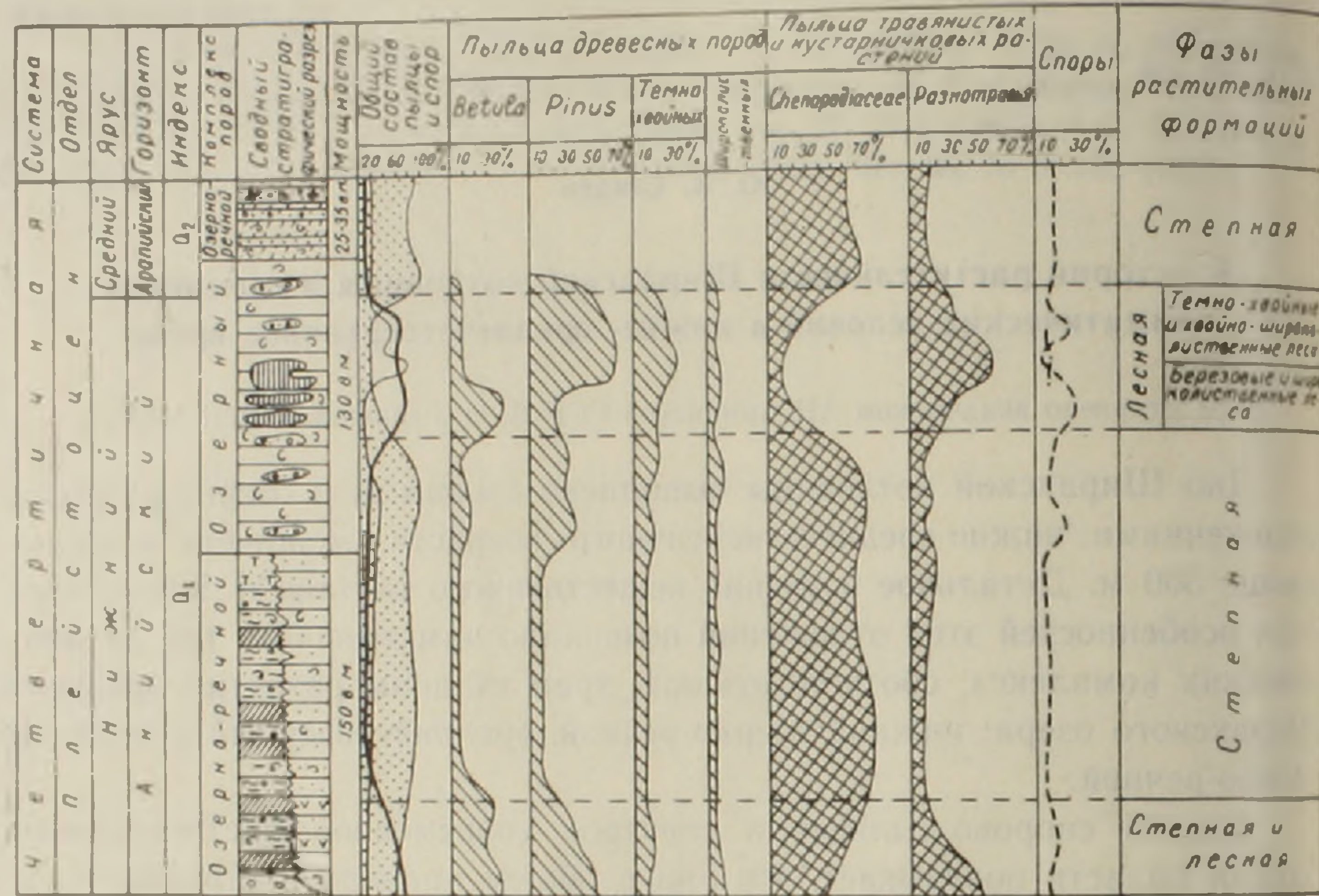


Схема изменения процентного состава пыльцы и спор наиболее характерных элементов растительного покрова Ширакской котловины в период накопления древнеозерных отложений.

1—алевролиты; 2—песчанисто-гравелито-галечные образования; 3—алевриты; 4—пески; 5—глины различные; 6—диатомовые глины; 7—чередующиеся слои галечников, гравелитов, песчаных, алевритовых и глинистых пород; 8—туфы вулканические; 9—туфовые пески; 10—туфопесчаники и туфогравелиты; 11—туфоалевролиты; 12—пемзовые породы; 13—глинистые породы; 14—лавовые горизонты; 15—валунные конгломераты и конгломераты; 16—пресноводная фауна; 17—кости ископаемых млекопитающих; 18—сумма пыльцы древесных растений; 19—сумма пыльцы травянистых растений и кустарников; 20—сумма спор; 21—споры папоротников; 22—споры сфагновых мхов.

зеленые мхи и папоротники. В дальнейшем, в период развития степной фазы климат области несколько потеплел и уменьшилась влажность. Леса постепенно исчезли и на смену им пришла степная растительность, преобладающими компонентами которой были лебедовые и разнотравье. В период развития лесной фазы произошло новое похолодание и увлажнение области. В начале фазы преобладали березовые и широколиственные (преимущественно дубово-вязовые) леса, затем темно-хвойные

(ель, пихта, тсуга) и хвойно-широколиственные леса. Под пологом леса произрастали представители разнотравной растительности. Заметно увеличилась роль папоротниковых и появились сфагновые мхи.

Древнеозерные отложения, соответствующие времени лихвинского межледниковья, накапливались в гораздо более теплых и менее увлажненных условиях, чем предыдущие. Растительность была представлена степной формацией, где основными компонентами являлись лебедовые и разнотравье, а высшие споровые были представлены зелеными мхами и папоротниками.

С Х Е М А

сопоставления растительных формаций и изменения климатических условий
Ширакской котловины и смежных областей во время накопления
древнеозерных отложений

Время	Комплексы пород		Ф а з ы растительных формаций		Эпоха	Изменения климатических условий
А н и й с к о е (окское)	Арапийское (лихвинское)	Верхний озерно-речной	С т е п н а я		Межплувнальная	Потепление и уменьшение влажности
	Средний—озерный	Л е с н а я	Темно-хвойные и хвойно-широколиственные леса		П л ю в н а л ь н а я	Похолодание и увеличение влажности
			Березовые и широколиственные леса (преимущественно дубово-вязовые)			
	Нижний озерно-речной	С т е п н а я		Лесная и степная		Относительно прохладные и влажные условия

В несколько более теплых и засушливых условиях накапливались и погребенные почвы, залегающие непосредственно на древнеозерных отложениях (1).

Таким образом, во время накопления древнеозерных отложений и погребенных почв в рассматриваемой области устанавливаются четыре последовательные фазы развития растительных формаций, соответствующие двум основным этапам изменения климата, характеризующегося

либо влажными, либо сухими условиями, иначе пльвиальной и межпльвиальной эпохами.

Этот вывод подтверждает и сопряженный анализ других природных фактов. Благодаря комплексному анализу разреза древнеозерных отложений Ширакской котловины нами впервые для плейстоценовых континентальных отложений Закавказья выделяются два новых стратиграфических горизонта — анийский и арапийский, время накопления которых укладывается в рамки пльвиальной и межпльвиальной эпох ⁽²⁾.

Институт геологических наук
Академии наук Армянской ССР

Յու Վ. ՍԱՅԱԴՅԱՆ

Շիրակի գոգավորության բուսականության պատմությունը և կլիմայական պայմանների փոփոխումները ստորին-միջին շորորդական ժամանակաշրջանում

Շիրակի գոգավորության ստորին-միջին շորորդական լճային նստվածքների սպորաժաղկափոշու ստացված սպեկտրի անալիզը մեզ ներառություն է տալիս տարբերել տվյալ շրջանում բուսականության ֆորմացիաների զարգացման շորս ֆազ, որոնք համապատասխանում են կլիմայական փոփոխումների երկու հիմնական էտապների, իրենց շորս հաջորդական ֆազերով: Ներքևից վեր այդ ֆազերը հետևյալներն են.

1) անտառային և տափաստանային, համեմատաբար ցուրտ և խոնավ կլիմայական պայմաններ, 2) տափաստանային, մասնակի տաքացում և խոնավության նվազում 3) անտառային, ցրտեցում և խոնավության բարձրացում, 4) տափաստանային, տաքացում և խոնավության նվազում:

Առաջին երեք ֆազերը համապատասխանում են Ռուսական հարթավայրի օկայի սառցապատման, իսկ վերջինը՝ լիսվինի միջսառցապատային ժամանակաշրջանին:

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

¹ Ю. В. Саядян, „Известия АН АрмССР“, Науки о Земле, 1—2 (1968). ² Ю. В. Саядян, „Известия АН АрмССР“, Науки о Земле“, 3, 1969.

ГЕОГРАФИЯ

УДК 911.2

Г. Б. Григорян

Основные типы и подтипы структуры высотной
 поясности ландшафтов Армянской ССР

(Представлено академиком АН Армянской ССР С. С. Мкртчяном 24/VII 1968)

Характер структуры высотной поясности ландшафтов Армянской ССР очень разнообразен. Географическое местоположение, вторгающиеся многочисленные и разнообразные воздушные потоки (тропические, субтропические, бореальные и др.), природные условия окружающих регионов (Иранское нагорье, Кура-Араксинская низменность, большая часть Армянского нагорья и др.) и местные факторы способствовали появлению на территории республики разных типов и подтипов структуры высотной поясности ландшафтов.

В общих чертах по характеру выражения структуры высотной поясности ландшафтов, на территории Армянской ССР выделяются два региона: центральная часть территории (вулканические ландшафты так называемого Североармянского вулканического нагорья) и окаймляющие ее с северо-востока и юго-востока хребты системы М. Кавказа, характеризующиеся преобладанием горно-лесных ландшафтов на палеозойских складчато-глыбовых средневысотных и высоких горных хребтах, имеющих, в основном, восточные и юго-восточные макро-экспозиции склонов.

Хребты, окаймляющие Армянское вулканическое нагорье с севера и востока (восточные и юго-восточные части территории), имеют восточно-закавказский тип структуры высотной поясности (1, 2).

В указанном типе нижний пояс составляет аридное редколесье (с преобладанием шибляковых зарослей), отчетливо выражен лесной пояс. Горные степи не образуют самостоятельного пояса, а наблюдается лишь остепнение горных лугов. В лесах мало колхидских элементов (в южной части региона преобладают гирканские элементы). Нет подпояса хвойных лесов. Лесные ландшафты выше сменяются горно-луговыми — субальпийскими и альпийскими. Горно-нивальный пояс выражен только на отдельных вершинах хребтов в юго-восточной части региона.

Восточно-закавказский тип структуры высотной поясности ландшафтов, для хребтов системы М. Кавказа, это лишь самая общая схема.

Наблюдается ряд отклонений, связанных с историей формирования территории и влиянием ряда других факторов. Так, структуры поясности ландшафтов северо-восточной и юго-восточной частей хребтов, окаймляющие Армянское нагорье, отличаются друг от друга. Отличия обусловлены меньшей высотой гор восточной части. В связи с этим здесь отсутствует субнивальный пояс, а альпийский пояс выражен фрагментарно. В юго-восточной части ландшафты субальпийского пояса принимают лугово-степной характер.

На формирование структуры высотной поясности ландшафтов юго-восточной части значительно воздействуют тропические и субтропические континентальные воздушные потоки Иранского нагорья и «умеряющее» влияние Каспийского моря.

Итак, в пределах восточно-закавказского типа структуры поясности на территории Армянской ССР выделяются два подтипа: в восточной и северо-восточной части М. Кавказа — иджеванский; в юго-восточной части — зангезурский.

Структура поясности ландшафтов иджеванского подтипа такова. Пояса снизу вверх:

а) сухой горно-степной; б) остепненно-редколесной; в) горно-лесной; г) субальпийский луговой; д) альпийский луговой (встречается фрагментарно).

Зангезурский подтип структуры имеет следующую последовательность чередования высотных ландшафтных поясов:

а) полупустынный; б) сухой горно-степной; в) остепненно-редколесной; г) горно-лесной; д) остепненно-луговой; е) субальпийский луговой; ж) альпийский луговой; з) горно-нивальный.

Большая часть территории Армянской ССР (вулканическое нагорье и западные склоны окружающих хребтов) характеризуется переднеазиатским типом структуры высотной поясности ландшафтов. Здесь пустынно-полупустынный нижний пояс сменяется поясом нагорных ксерофитов (сухих степей), горных степей и местами аридных редколесий на лавовых покровах. Выше по склонам тектогенно-вулканических горных массивов следуют пояса остепненных лугов и оротерофитов, субальпийских лугов, альпийских лугов, субнивальный и нивально-гляциальный (последний выражен только на г. Арагац). Горно-лесной пояс отсутствует. В пределах этого типа выделяются многочисленные подтипы, обусловленные разными факторами.

Для большей части Араратской котловины характерен ереванский подтип структуры высотной поясности ландшафтов. На нижних ступенях он начинается пустынным поясом, переходя в полупустыню, сухую горную степь, горную степь и в альпийские ландшафты (субальпийский и альпийский луговые пояса). Для южной части Араратской котловины и для бассейна р. Арпа характерен аренийский подтип структуры. Последовательность высотных поясов в пределах этого подтипа следующая:

а) полупустынный; б) сухой горно-степной; в) горно-степной; г) остепненно-редколесной; д) остепненно-луговой; е) субальпийский луговой; ж) альпийский луговой.

Северо-западная часть Армянского вулканического нагорья характеризуется ширакским подтипом структуры высотной поясности ландшафтов, где преобладает горно-степной пояс, постепенно переходящий на верхних ярусах склонов окружающих хребтов в субальпийский луговой ландшафт.

На северных и западных склонах массива Арагац, имеющих спектр структуры ширакского подтипа, выражены субальпийский и альпийский пояса.

Территория бассейна оз. Севан характеризуется своеобразной структурой высотной поясности ландшафтов—севанским подтипом переднеазнатского типа. Формирование этого подтипа обусловлено высотным положением региона, формами рельефа, замкнутостью территории и рядом других факторов. Структура севанского подтипа такова:

а) горно-степной; б) лугово-степной; в) субальпийский луговой; г) альпийский луговой (на вершине Аждаак выражен также субнивальный пояс).

Таблица 1

Основные типы и подтипы структуры высотной поясности ландшафтов на территории Армянской ССР

Типы	Подтипы	Территории, характеризующиеся соответствующей высотной поясностью ландшафтов
Восточно-закавказский	Иджеванский	Северо-восточная часть М. Кавказа (хребты, окаймляющие Армянское нагорье с северо-востока).
	Зангезурский	Южная часть М. Кавказа (Зангезурский хребет и его отроги: Баргушатский, Мегринский, Капутджухский и др.).
Переднеазнатский	Аренийский	Бассейн р. Арпа и южная часть Араратской котловины.
	Ереванский	Араратская котловина (бассейны рр. Веди, Азат, Раздан, Касах и др.).
	Ширакский	Северные и северо-западные части Армянского вулканического нагорья (Ширакская равнина, Артикское плато, Талинское плато, хребты Джавахетский, Ширакский, Гукасянский и др.).
	Севанский	Водосборный бассейн оз. Севан.
	Сисианский	Левобережный бассейн р. Воротан.

Бассейн р. Воротан находится в восточной части Армянского вулканического нагорья и прорезывает окружающие хребты. По характеру набора ландшафтных поясов он сходен с переднеазнатским типом структуры поясности ландшафтов и выделяется особым подтипом—сисианским. Для формирования сисианского подтипа структуры также большую роль играют относительная высота региона, ровность поверхности, замкнутость, геолого-литологические особенности территории и т. д. Последовательность ландшафтных поясов в структуре такова:

а) сухо-степной; б) горно-степной; в) субальпийский луговой; г) альпийский луговой.

Выделенные основные типы и подтипы структуры высотной поясности ландшафтов не являются территориально четко ограниченными.

Часто они переходят один в другой, создавая промежуточные виды и варианты структуры.

Общая схема основных типов и подтипов структуры высотной поясности ландшафтов на территории республики приводится в таблице 1.

Следует добавить, что несмотря на то, что западные и юго-западные склоны Памбакского хребта включены в область распространения переднеазнатского типа структуры высотной поясности ландшафтов, бассейн р. Мармарик (юго-восточная часть хребта) следует отнести к восточно-закавказскому типу, так как здесь отчетливо выражен горно-лесной пояс (дериваты гирканских лесов М. Кавказа). То же самое касается и лесных ландшафтов северного склона Баргушатского хребта в пределах бассейна р. Воротан.

Итак, в пределах Армянской ССР четко выделяются два типа структуры высотной поясности ландшафтов, которые и дают основания при физико-географическом районировании республики выделить два региона высокого ранга (1—Армянское вулканическое нагорье и 2—Окаймляющие хребты М. Кавказа). В пределах этих регионов дальнейшие расчленения (выделение регионов среднего ранга) должны проводиться на основании подтипов структуры поясности ландшафтов. Физико-географические регионы низкого ранга (районы и подрайоны) могут выделяться в соответствии с видами и вариантами (подвидами) структуры высотной поясности ландшафтов.

Институт геологических наук, Академии наук
Армянской ССР

Գ. Ր. ԿՐԻՊՈՐՅԱՆ

Հայկական ՍՍՀ լանդշաֆտների ուղղաձիգ գոտիականության ստրուկտուրայի հիմնական տիպերն ու ենթատիպերը.

Հանրապետության տերիտորիայում առանձնացվում են լանդշաֆտների ուղղաձիգ գոտիականության ստրուկտուրայի երկու տիպեր:

1. Արևելաանդրկովկասյան, որով բնութագրվում են հանրապետության սահմաններում Փ. Կովկասի լեռնային սիստեմին պատկանող լեռնաշղթաները:

2. Առաջավորասիական՝ բնութագրվում է հանրապետության մնացած ողջ տերիտորիան: Արևելաանդրկովկասյան տիպի սահմաններում առանձնացվում են երկու ենթատիպեր.

Իջևանի, որը բնորոշ է հյուսիս-արևելյան և Զանգեզուրի՝ հարավ-արևելյան շրջաններին: Առաջավորասիական տիպի սահմաններում անջատվում են հինգ ենթատիպեր.

Արենիի՝ բնորոշ է Արփա գետի ավազանին ու Արարատյան գոգավորության հարավային հատվածին, Երևանի՝ Արարատյան գոգավորությանը, Շիրակի՝ Հայկական հարթության բարձրավանդակի հյուսիսային ու հյուսիս-արևմտյան հատվածներին:

Л И Т Е Р А Т У Р А — Կ Ր Ս Կ Ա Ն Ո Ւ Ք Յ Ո Ւ Ն

¹ Н. А. Гвоздецкий, Геогр. сборник Львовск. гос. ун-та, вып. 4, 1957, ² Н. А. Гвоздецкий, Уч. записки Азерб. гос. ун-та, серия геолого-геогр. наук, № 5—6, 1962.

ГЕОХИМИЯ

УДК 550.4

К. С. Шабоян

Закономерности распределения лития и рубидия
 в гранитоидах Баргушатского хребта

(Представлено академиком АН Армянской ССР И. Г. Магакьяном 9/IX 1968)

В настоящем сообщении приводятся результаты изучения распределения лития и рубидия в двух разновозрастных гранитоидных комплексах Баргушатского хребта. Геохимия лития и рубидия в изверженных горных породах изучена достаточно хорошо. Многими исследователями установлена геохимическая связь первого с магнием, второго—с калием (1-4).

Район Баргушатского хребта входит в Центральную складчатую зону Армении, характеризующуюся интенсивной складчатостью и широким развитием третичных интрузий гранитоидного состава. В геологическом строении района принимают участие вулканогенно-осадочные породы верхнего девона, вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы эоцена и олигоцена.

Интрузивные породы Баргушатского хребта разделяются на два разновозрастных комплекса: верхнеэоценовый и нижнемиоценовый, формирование которых происходило в результате внедрения нескольких последовательных фаз. Согласно данным О. П. Гуюмджяна (5), подтвержденным нашими наблюдениями, устанавливается следующая последовательность формирования пород: I фаза—оливиновые габбро, троктолиты; II фаза—габбро, монцониты, снениты; III фаза—гранодиориты, кварцевые диориты; IV фаза—граносиениты. Нижнемиоценовый комплекс представлен порфировидными гранодиоритами и гранитами. Геолого-петрографические особенности интрузивных пород района изучены хорошо и освещены в ряде работ (6,7).

Определение содержания лития и рубидия производилось методом пламенной фотометрии в лаборатории ИМГРЭ. Чувствительность метода для рубидия $5 \cdot 10^{-3} \%$, для лития— $1 \cdot 10^{-4} \%$, точность метода $\pm 7 \%$.

Изучение распределения лития по минералам пород Баргушатского хребта показало следующее. Наиболее высокие содержания лития установлены в биотитах, содержащих от 0,001 до 0,0045%, в среднем 0,0021% лития (шесть определений). Содержание лития в роговых обманках не-

высокое и колеблется от 0,0006 до 0,0007%, т. е. от двух до семи раз ниже, чем в биотитах. Невысокими содержаниями лития характеризуются также полевые шпаты (от 0,00025 до 0,0007%).

Составление баланса распределения лития (табл. 1) показало, что от 40 до 75% лития породы связано с биотитами. В последних содержание лития в несколько раз больше, чем в породах. В тех разностях пород, где основным темноцветным минералом является роговая обманка,

Таблица 1

Распределение лития в минералах пород Баргушатского хребта

Минерал	Содержание минерала в породе, ‰	Содержание Li в минерале, ‰	Количество Li, приходящееся на минерал при пересчете на 1% породы	% Li, приходящийся на минерал	Общее содержание Li в породе, ‰
---------	---------------------------------	-----------------------------	---	-------------------------------	---------------------------------

Роговообманковый гранодиорит (проба № 427)

Кварц	18	—	—	—	—
Полевые шпаты	60	0,0004	0,00024	48,0	—
Роговая обманка	20	0,0007	0,00014	30,0	—
Сумма			0,00038	78,0	0,0005

Граносиенит (проба № 425)

Кварц	13	—	—	—	—
Полевые шпаты	72	0,0007	0,0005	54,0	—
Биотит	10	0,0035	0,00035	40,0	—
Сумма			0,00085	94,0	0,0009

Граносиенит (проба № 424)

Кварц	12	—	—	—	—
Полевые шпаты	70	0,0003	0,00021	26,2	—
Биотит	15	0,0045	0,00067	75,0	—
Сумма			0,00088	101,2	0,0008

Граносиенит (проба № 285)

Кварц	12	—	—	—	—
Полевые шпаты	70	0,0003	0,00021	35,0	—
Биотит	15	0,0025	0,00037	62,5	—
Сумма			0,00058	97,5	0,0006

с последней связано 30% лития породы. В таких случаях основными носителями лития являются полевые шпаты, несмотря на то, что содержание лития в них всегда меньше, чем в породе. Таким образом, основным минералом-концентратором и минералом-носителем лития в исследуемых породах является биотит (в биотитовых разностях). Преимуществ-

венное накопление лития в биотитах по сравнению с другими железомagneзными силикатами (пироксен, роговая обманка) отмечается многими исследователями. Так, согласно данным Сена и др. (8), содержание лития в биотите из норита Южно-Калифорнийского батолита в четыре раза больше, чем в ассоциирующем с ним авгите. В биотите из пироксено-слюдяного диорита Шотландии лития в 50 раз больше, чем в пи-

Таблица 2
Распределение лития и рубидия в гранитоидах Баргушатского хребта

Комплексы	Интрузив- ные фазы	№ образцов	Название породы	Содержание, ‰		Среднее содержа- ние по фазе, ‰	
				Li	Rb	Li	Rb
Верхнеэоценовый	I	2501	Оливиновое габбро	0,0003	0,001	0,00067	0,010
	II	1017	Биотитовое габбро	0,0008	0,005		
		1001	Биотитовое габбро	0,0006	0,003		
		Среднее	Монцонит	0,0007	0,004		
		1012		0,0007	0,010		
		2450		0,0008	Не опр.		
		Среднее	Сиенит	0,00075	0,010		
		1002		0,0007			
		1010		0,0007			
		1023		0,0003			
		1018		0,0007			
	1020	0,0005					
	2364	0,0009					
	III	Среднее	Диорит	0,00065	0,013	0,0005	0,004
		420		0,0003	0,002		
		747		0,0004	0,003		
		Среднее	Кварцевый диорит	0,0003	0,0025		
		289		0,0005	0,003		
		432		0,0005	0,002		
		433		0,0003	0,004		
		290		0,0003	0,003		
		691		0,0009	0,003		
		Среднее	Роговообм. гранодиорит	0,0005	0,003		
		427		0,0005	0,004		
		519		0,0008	0,006		
		520		0,0005	0,004		
		1022		0,0003	0,005		
		1007		0,0005	0,006		
IV	Среднее	Граносиенит	0,0005	0,005	0,0007	0,008	
	424		0,0008	0,007			
	425		0,0009	0,007			
	390		0,0006	0,009			
	285		0,0006	0,010			
Нижнео- ценовый	Среднее	Биотит—роговообм. гранит	0,0007	0,008			
	А		0,002	0,010			
	Б		0,002	0,010			

роксене из этой же породы (³). Н. Е. Залашкова в роговых обманках гранодиорита (Вост. Забайкалье) отмечает в 10 раз меньше лития, чем в биотите этой породы (⁹). По данным Л. В. Таусона (⁴), в роговых обманках гранитоидов Сусамырского батолита содержание лития в среднем в 10 раз ниже, чем в ассоциирующих с ними биотитах. Преимущественное накопление лития в биотитах по сравнению с пироксенами и роговыми обманками объясняется их структурными особенностями. В биотитах связь магния с гидроксильной группой теснее, чем в амфиболах. Благодаря большой основности, связь лития с гидроксильными группами биотитов будет более прочной, чем у магния. Поэтому замещение магния литием в них должно происходить легче, чем в других минералах (⁴). Кроме того, согласно данным Г. Рамберга (⁴), литий как катион стремится к более тесным ионным связям и будет предпочтительно входить в те соединения, в которых у него с кислородом более тесная ионная связь. В слюдах магний с кислородом имеет связь более ионную, чем в роговых обманках или пироксенах. В полевых шпатах литий, по всей вероятности, замещает натрий.

Таблица 3

Распределение рубидия по минералам некоторых пород
Баргушатского хребта

Минерал	Содержание минерала в породе, %	Содержание Rb в минерале, %	Количество Rb, приходящееся на минерал при пересчете на 1 г породы	% Rb, приходящий на минерал	Общее содержание Rb в породе, %
---------	---------------------------------	-----------------------------	--	-----------------------------	---------------------------------

Роговообманковый кварцевый диорит

Кварц	18	—	—	—	
Полевые шпаты	60	0,004	0,0024	80,0	
Роговая обманка	20	0,003	0,0006	20,0	
Сумма			0,003	100	0,003

Граносиенит

Кварц	13	—	—	—	
Полевые шпаты	72	0,008	0,0058	82,3	
Биотит	10	0,015	0,0015	21,4	
Сумма			0,0073	103,7	0,007

Данные по распределению лития в гранитоидных комплексах Баргушатского хребта, приведенные в табл. 2, показывают, что в породах верхнеэоценового комплекса содержание лития колеблется в пределах от 0,0003 до 0,0007%. При этом минимальное содержание лития установлено в оливиновых габбро первой интрузивной фазы. В породах второй интрузивной фазы содержание лития повышается. По отдельным фацональным разновидностям литий распределяется довольно равномерно. В пределах этой фазы, в ряду габбро—монцонит—сиенит, среднее содержание лития почти не меняется.

В породах третьей интрузивной фазы наблюдается уменьшение содержания лития. Последнее в этих породах колеблется в небольших пределах от 0,0003 до 0,0009%. При этом по среднему содержанию лития кварцевые диориты и гранодиориты не отличаются друг от друга. Уменьшение содержания лития в более кислых дифференциатах верхнеэоцевого комплекса, видимо, связано с характером их минералогического состава. Характерной особенностью пород третьей интрузивной фазы является присутствие роговой обманки в качестве темноцветного минерала. Роговая обманка, как было показано выше, в силу своих структурных особенностей не может концентрировать литий, вследствие чего породы с железомagneзиальным силикатом в виде роговой обманки содержат меньше лития по сравнению с биотитовыми разновидностями. Таким образом, обогащения литием более кислых дифференциатов (¹⁰), в породах Баргушатского хребта не происходит.

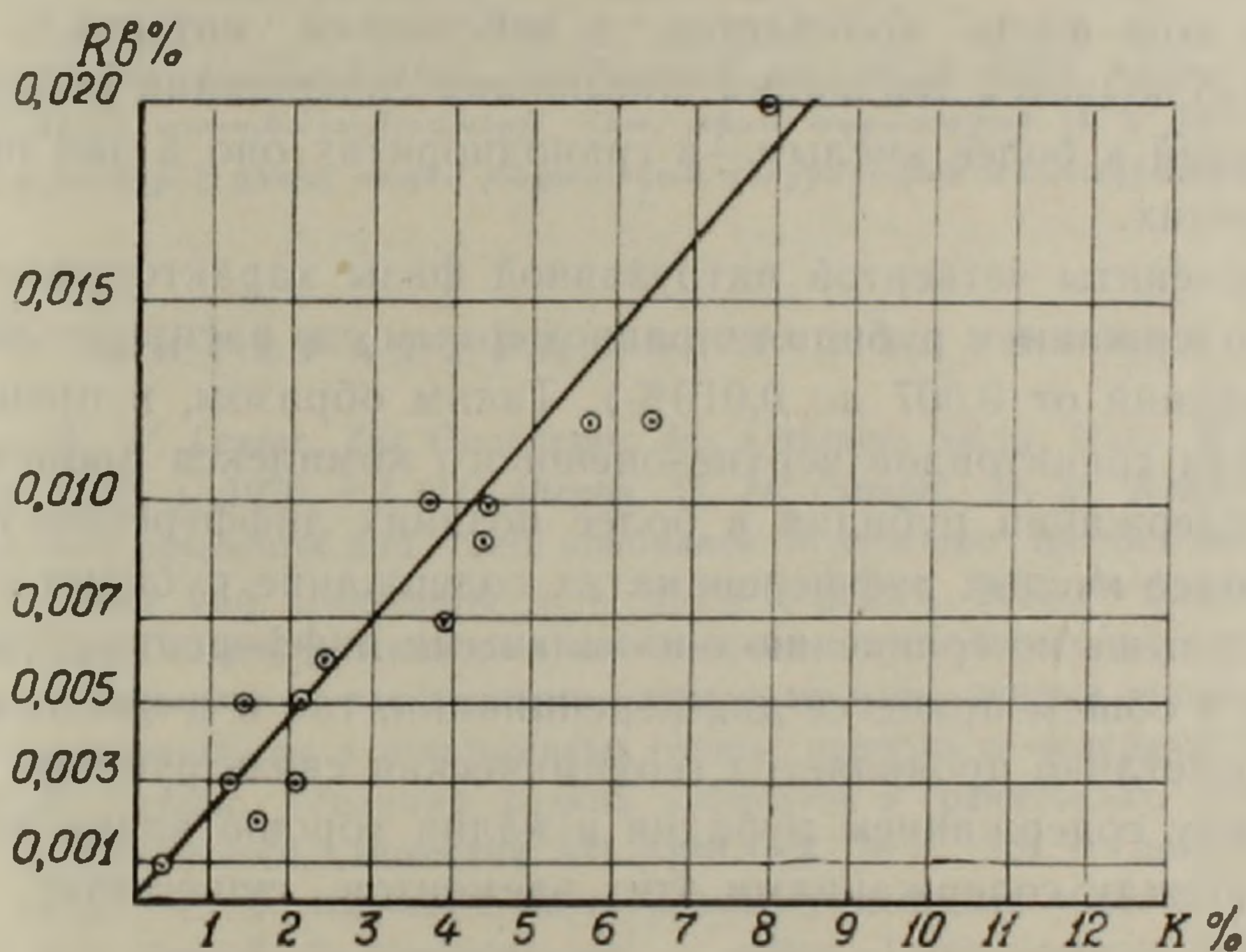


Рис. 1. График корреляции между содержаниями калия и рубидия в гранитоидах Баргушатского хребта.

В граносиенитах четвертой интрузивной фазы уровень содержания лития несколько выше по сравнению с породами предыдущей фазы. Вследствие этого среднее содержание лития в них больше (табл. 2).

Граниты нижнемиоцевого комплекса характеризуются более повышенным содержанием лития (табл. 2), в четыре раза превышающим его содержание в гранодиоритах верхнеэоцевого комплекса.

Изучение распределения рубидия по минералам изученных пород показывает (табл. 3), что наиболее высокие концентрации рубидия имеются в биотитах. Однако основным минералом-носителем рубидия являются полевые шпаты. С ними связано 80% рубидия породы. В рогово-обманковых разностях полевые шпаты являются основными концентраторами и носителями рубидия. В калийсодержащих минералах (полевые

шпаты, биотит) рубидий, по всей вероятности, изоморфно замещает калий в силу их кристаллохимической близости ($K = 1,33A^\circ$, $Rb = 1,49A^\circ$).

Рассмотрение данных табл. 2 позволяет отметить следующие особенности распределения рубидия. В породах верхнеэоценового комплекса содержание рубидия колеблется в пределах от 0,001 до 0,02%. Минимальное содержание рубидия, как и следовало ожидать, установлено в оливиновом габбро первой интрузивной фазы. Низкое содержание рубидия в них, по-видимому, связано с трудностью гетеровалентного изоморфизма рубидия в ортосиликатах. В породах второй интрузивной фазы происходит увеличение содержаний рубидия, которые колеблются от 0,003 до 0,02%. При этом содержание рубидия возрастает от габбро к сиенитам параллельно повышению содержания калия. Содержание рубидия в породах третьей интрузивной фазы несколько ниже по сравнению с содержанием в породах предыдущей фазы, что, по-видимому, связано с более низким содержанием калия в первых. Содержание рубидия в породах этой фазы колеблется в небольшом интервале—0,003 до 0,006%. Наблюдается тенденция повышения содержания рубидия от основных фаций к более кислым—в гранодиоритах оно в два раза выше, чем в диоритах.

Граносиениты четвертой интрузивной фазы характеризуются более высоким содержанием рубидия и равномерным его распределением (пределы колебаний от 0,007 до 0,010%). Таким образом, в процессе дифференциации гранитоидов верхнеэоценового комплекса происходит увеличение содержания рубидия в более поздних дифференциатах. В последних более кислых дифференциатах содержание рубидия от пяти до восьми раз выше по сравнению с начальными дифференциатами. Вместе с тем, как в общем процессе дифференциации, так и в пределах отдельных фаз отчетливо проявляется геохимическая связь рубидия с калием. Связь между содержанием рубидия и калия хорошо видна на графике (рис. 1). Между содержаниями этих элементов существует линейная связь.

Порфировидные граниты и гранодиориты нижнемиоценового комплекса характеризуются более высоким содержанием рубидия (табл. 2).

Сравнение средних содержаний лития и рубидия в гранитоидных комплексах Баргушатского хребта со средними их содержаниями в главных типах пород по А. П. Виноградову ⁽¹⁾, показывает на резкую их обедненность этими элементами, что можно рассмотреть как отрицательную геохимическую специализацию.

Ереванский государственный
университет

Р. В. ЗАРЯН

Լիթիումի և ռուբիդիումի բաշխման օրինաչափությունները Բարգուշատի
լեռնաշղթայի գրանիտոիդներում

Լիթիումի և ռուբիդիումի բաշխման օրինաչափությունների ուսումնասիրությունը Բարգուշատի
լեռնաշղթայի վերին էոցենյան և ստորին միոցենյան հասակի գրանիտոիդային կոմպլեքսներում

ապարներում հեղինակին հանդեպը են հետևյալին.

Ինտրուզիվ ապարների բոլորի ապրունակող տարատեսակներում լիթիումի հիմնական կոնցենտրատորը և կրողը բոլորիս է: Վերջինիս հետ կապված է ապարի լիթիումի 45—75%, չորնբլենդային տարատեսակներում լիթիումի հիմնական կրողները և կոնցենտրատորները հանդիսանում են դաշտային շպատները:

Վերինէոցենյան կոմպլեքսի դիֆերենցման պրոցեսում լիթիումի ամենացածր ապրունակությունը հաստատված է առաջին ֆազի ապարներում: Առաջին ֆազի ապարներից դեպի հաջորդ ֆազերի ապարները լիթիումի ապրունակությունը փոխվում է՝ կախված ապարներում բոլորի տեղաբաշխումից: Ավելի բթու դիֆերենցիալներում լիթիումի հարստացում չի նկատվում:

Ռուբիդիումը կուտակվում է ուսումնասիրվող ապարների կալիում ապրունակող միներալներում՝ դաշտային շպատներում և բոլորիտում: Ռուբիդիումի հիմնական կրողը հանդիսանում է բոլորիտը, նրա հետ կապված է ապարի ռուբիդիումի մոտ 85%-ը:

Ուսումնասիրվող ապարներում ռուբիդիումի վարքագծի մեջ պարզորոշ կերպով արտահայտվում է նրա դեոքսիմիական կապը կալիումի հետ և ավելի ուշ դիֆերենցիալներում կուտակվելու տենդենց:

Ստորինէոցենյան կոմպլեքսի ապարները բնորոշվում են լիթիումի և ռուբիդիումի ավելի բարձր ապրունակությամբ, քան վերինէոցենյան կոմպլեքսի նույնատիպ ապարները, որը կրկին անգամ ընդգծում է նրանց հասակային տարբերությունը և ապացուցում է, որ այդ բաժանումը ճիշտ է:

Ուսումնասիրվող զբաղեցրած ապարների միջին տիպերում լիթիումի և ռուբիդիումի միջին ապրունակությունների հետ, խիստ աղքատացած են և լիթիումով և ռուբիդիումով, որը կարելի է դիտել որպես բացասական դեոքսիմիական մասնազիտացում:

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

- ¹ Strock, W. Lester, Zur Geochemie des Lithiums Nachr. Gess. Wiss. Gottingen, „Neu Folds“, N15, 1, 1936. ² L. H. Ahrens, W. H. Plinson, M. M. Kears, Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorites. Geochimica and cosmochim. acta, 2, № 4, p. 224, 1952. ³ С. П. Ноккольдс и Р. Л. Митчелл, Геохимия некоторых каледонских интрузивных пород: исследование связи между основными и рассеянными элементами изверженных пород и их минералов, Сб. Редкие элементы в изверженных горных породах и минералах. Изд. Ин. лит., 1952. ⁴ Л. В. Таусон, Геохимия редких элементов в гранитоидах, Изд. АН СССР, 1961. ⁵ О. П. Гюмджян, „Известия АН АрмССР“, № 3, 1967. ⁶ Геология Армянской ССР, т. 3, 1967. ⁷ С. С. Мкртчян, Зангезурская рудоносная область, Изд. АН Арм. ССР, 1958. ⁸ N. Sen, S. R. Nockolds and K. Allen, Trace elements in minerals from rocks of Californian Batholith, Geochim. et Cosmochim. acta, v. 16, №1/3, 1959. ⁹ Н. Е. Заламкова, Закономерности распределения бериллия, лития и рубидия в гранитах Восточного Забайкалья, Доклады на XXI международ. геол. конгрессе, 1960. ¹⁰ S. R. Nockolds and K. Allen, Geochemistry of some igneous rock series. Geochim et Cosmochim. Acta, v. 4, № 3, 1953. ¹¹ А. П. Виноградов, Закономерности распределения химических элементов в земной коре, Геохимия, № 7, 1962.

УДК 577.1 : 576.8.097

Академик АН Армянской ССР М. А. Тер-Карапетян, С. М. Инджикян

Адаптация *Candida chevalieri* к валину

(Представлено 25/VII 1968)

Способность дрожжевых организмов адаптироваться к новым источникам углерода в результате индуцированного синтеза карбогидраз была хорошо изучена за последние годы (¹).

Реже встречаются в литературе данные по адаптации дрожжевых организмов к новым источникам азота. К таковым относятся усвоение цистина и гомоцистина у автотрофных по метионину мутантов *Saccharomyces cerevisiae* (²), гаммааминомасляной кислоты у *Candida utilis* (³).

Адаптивный характер этих изменений устанавливался по ускорению латентного периода (лаг-фаза) в процессе размножения соответствующих организмов (^{4,5}) и, в одном случае, по постепенному усилению дыхания клеток в течение цикла роста культуры (³).

Ранее нами было показано, что среди исследуемых представителей дрожжей рода *Candida*, *C. chevalieri* (штамм №66) при разреженном посеве (менее 1 мг в 100 мл) в синтетическую среду, содержащую 1% глюкозы и валин в качестве единственного источника азота, начинает расщеплять глюкозу и размножаться не раньше 25—30 часов, в то время как в присутствии сульфата аммония к этому времени весь сахар оказывается уже израсходованным (⁶⁻⁸).

Указанное наблюдение и послужило основанием для систематического изучения возможности приспособления *C. chevalieri* к валину.

Для достижения этой цели применялись два известных приема: удлинение сроков инкубации культуры в синтетической среде, содержащей валин в качестве единственного источника азота, и пересев клеток, полученных в конце одного цикла роста (до полного израсходования сахара, что составляет около 8—10 поколений на цикл), в новую среду последовательно от 6 до 13 раз.

В настоящей работе изложены результаты двух из нескольких серий опытов, проведенных по адаптации *C. chevalieri* к DL-валину в вышеуказанных условиях инкубации.

Опыты проводились в синтетической среде, содержащей в качестве источника углерода глюкозу, а источника азота—сульфат аммония (ос-

новная среда) или DL-валин. Состав культуральной среды, способ подготовки посевного материала, постановка и условия опытов были описаны в предыдущих работах нашей лаборатории (8,9).

Опыты проведены в 50—100 мл среды, и ввиду ауксоавтотрофного характера испытуемой культуры (10), добавка витаминов группы В в среду не проводилась.

Таблица 1
Динамика расщепления глюкозы при выращивании *S. chevallieri* в присутствии DL-валина
Посев по пассажам: 0,5—1,0 мг в 100 мл среды

Пассажи (циклы)	Варианты*	Расщепленная глюкоза за указанные сроки инкубации											
		Опыт I Начало 18/XII 1961						Опыт III Начало 10/XII 1962					
I	Инкубация (час)	0	15	24	42	48	70	0	15	24	40	46	64
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$	457	50	430				540	110	446			
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Вал}_1$	457	0	0	32	65	393	540	0	0	33	82	457
II	Инкубация (час)	0	14	21	36	44	60	0	15	26	33	47	56
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$	470	45	279	460			485	75	480			
	$\text{Вал}_1 \rightarrow \text{Вал}_2$	470	0	27	62	124	462	485	0	0	50	182	442
III	Инкубация (час)	0	15	24	41	48	—	0	15	26	42	49	—
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$	507	55	434				505	115	472			
	$\text{Вал}_2 \rightarrow \text{Вал}_3$	507	0	27	188	481		505	0	52	222	437	
IV	Инкубация (час)	Культура выращивалась в течение 48 часов до полного израсходования глюкозы. Прделан посев для следующего пассажа						0	16	26	43	—	—
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$							485	67	421			
	$\text{Вал}_3 \rightarrow \text{Вал}_4$							485	12	85	437		
V	Инкубация (час)	0	14	20	24	36	—	0	18	24	39	—	—
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$	507	45	255	492			485	272	477			
	$\text{Вал}_4 \rightarrow \text{Вал}_5$	507	0	27	107	477		485	27	82	465		
VI	Инкубация (час)	0	15	20	34	—	—	0	24	28	33	—	—
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Вал}^{**}$	495	0	0	35	—	—	510	386	503			
	$\text{Вал}_5 \rightarrow \text{Вал}_6$	495	5	25	458			510	152	292	453		
VII	Инкубация (час)							0	24	26	29	31	—
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$							485	441	478			
	$\text{Вал}_6 \rightarrow \text{Вал}_7$							485	203	—	345	441	
VIII	Инкубация (час)							0	14	26	32	—	—
	$\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_4^+$							520	22	509			
	$\text{Вал}_7 \rightarrow \text{Вал}_8$							520	10	189	439		

* Индексы, поставленные с символом Вал, обозначают очередность пассажей.

** $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{Вал}$ вариант проведен для проверки свойства музейной культуры.

Адаптация культуры к валину оценивалась по интенсивности расщепления глюкозы в жидкой среде, общему количеству и экономическому коэффициенту синтеза биомассы $\left(\frac{\text{синтезированная биомасса}}{\text{расщепленная глюкоза}} \times 100 \right)$, а также по росту на агаровой синтетической среде, содержащей глюкозу и DL-валин.

1. *Расщепление глюкозы в присутствии валина.* Результаты двух серий опытов приведены в табл. 1.

Полученные данные показывают, что в условиях наших опытов, в течение первого пассажа в среде с валином исходная музейная культура после прохождения длительной лаг-фазы (около 30 часов), постепенно начинает расщеплять глюкозу.

При последовательных пересевах культуры из среды с законченным циклом роста в новую среду с валином, наблюдается постепенное сокра-

Таблица 2
Динамика расщепления глюкозы и синтеза биомассы музейной и адаптированной культурами *C. chevalieri*
Посев по пассажам: 6—10 мг в 100 мл среды

№ и дата пассажей	Продолжительность инкубации, час	Посев с музейной культуры			Посев с адаптированной культуры из указанного пассажа		
		Расщеплен-ная глюкоза, мг	Синтези-рованная био-масса, мг	Экономиче-ский коэф-фициент, %	Расщеплен-ная глюкоза, мг	Синтези-рованная био-масса, мг	Экономиче-ский коэф-фициент, %
IX (13/I 1963)	13	—	—	—	Посев из VIII пассажа		
	17	135	54	40	150	65	43
	22	190	91	48	250	115	46
	26	330	146	44	—	—	—
	37	998	326	33	1000	316	32
XII (31/I 1963)	10	25	11	44	—	—	—
	12	35	16	46	Посев из XI пассажа		
	26	255	115	45	80	32	42
	37	746	348	47	135	48	36
	41	905	373	41	900	371	41
XIII (12/II 1963)	10	25	8	32	—	—	—
	12	35	12,5	35	Посев из XII пассажа		
	27	245	112	46	70	24,5	35
	41	926	383	41	125	44	35
					929	364	39
					—	—	—

шение лаг-фазы и ускорение темпов расщепления глюкозы. После завершения процесса адаптации, что в условиях наших опытов происходит между 6 и 8 пассажами, продолжительность лаг-фазы культуры и скорость расщепления глюкозы достигают величин, близких к наблюдаемым в среде с сульфатом аммония.

Во всех пассажах, являющихся этапами приспособления исследуемой культуры, были изучены также темпы роста биомассы, о чем будет доложено ниже.

2. *Свойства адаптированной к валину культуры C. chevalieri*. Свойства адаптированной культуры синтезировать биомассу и темпы ее роста оценивались путем культивирования посевного материала, полученного в конце VIII, IX, X, XI и XII пассажей в жидкой среде с валином. В качестве контроля в такой же среде выращивалась музейная (неадаптированная) культура. Показатели обеих культур иллюстрируют коррелятивную связь между динамикой расщепления глюкозы и накоплением биомассы в трех циклах из указанной серии опытов. Темпы расщепления глюкозы и накопления биомассы фактически совпадают как у музейных, так и у адаптированных к валину культур из IX, XII и XIII пассажей.

При последовательных пассажах в синтетической среде с валином адаптированная культура полностью сохраняет свойство синтезировать биомассу с высоким экономическим коэффициентом.

Хранение культуры, адаптированной в 1963 году, на синтетической среде с агаром, содержащей валин, не вызвало никакого угнетения темпов роста как на этой же твердой среде, так и при периодических пересевах в жидкой среде. Адаптированная культура (опыт от 12/II 1963), в отличие от музейной, обильно растет на синтетической агаровой среде с валином в первые два дня после посева. Такой же рост у музейной культуры обычно наблюдается на сусло-агаре.

Одним из признаков, доказывающих наличие адаптации к валину, является темп роста культуры, оцениваемый по времени удвоения биомассы. Последняя рассчитывалась с помощью формулы, подобной той, которая применяется для определения времени деления клеток:

$$G_M = \frac{\log 2}{\log P_2 - \log P_1} \times t,$$

где t — интервал времени, P_1 — начальная биомасса и P_2 — биомасса в конце данного интервала.

Как показывают данные, приведенные в табл. 3, музейная и адаптированная культуры, внесенные в среду с DL-валином, сильно отличаются по темпам роста в первые 8—10 часов от начала инкубации, после чего время удвоения музейной культуры (I пассаж) постепенно приближается к времени удвоения адаптированной культуры.

Последние данные позволяют выдвинуть гипотезу о том, что свойство усваивать валин как единственный источник азота приобретается путем индукции в присутствии специфического субстрата. Образование биомассы в среде с валином за счет мутантов, могущих существовать в исходной культуре, фактически исключается, так как даже при допущении частоты мутации такого высокого порядка, как 10^{-3} — 10^{-5} , мутантные клетки не были бы в состоянии обеспечить накопление полученных количеств биомассы за данный период инкубации.

Это предположение, основанное на косвенных фактах, подтвердилось при разреженном посеве музейной культуры на синтетическую сре-

ду с агаром, содержащим в качестве единственного источника азота или сульфат аммония или DL-валин*. В обоих вариантах (в 15 повторностях каждый) выросло фактически одинаковое число колоний ($20 \pm 1,50 \pm 2$), в присутствии аммония на второй, а в присутствии валина на 3—4 день

Таблица 3
Динамика синтеза биомассы музейной и адаптированной к валину культуры *S. chevalieri*

№№ и дата пассажей	Продолжительность инкубации, час	Посев с музейной культуры (I пассаж)		Посев с адаптированной культуры	
		Биомасса	G _m -биомассы	Биомасса	G _m -биомассы
X (19/I 1963)	0	7,7	—	Посев с IX пассажа	
	6	10,1	15,3	7,1	—
	10	14,8	8,3	12,9	6,9
	24	163,8	4,0	32,7	3,0
XI (25/I 1963)				464,6	3,6
	Посев с X пассажа				
	0	9,0	—	9,2	—
	8	13,2	14,5	32,2	4,4
	10	14,8	12,0	49,1	3,3
XII (31/I 1963)	12	20,1	4,5	85,8	2,5
	24	89,8	5,5	401,2	5,4
	Посев с XI пассажа				
	0	10,8	—	9,0	—
	7	18,0	9,4	20,6	5,8
XIII (12/II 1963)	10	21,8	11,0	41,6	3,0
	12	26,8	6,6	56,8	4,4
	26	125,8	6,2	380,0	5,1
	Посев с XII пассажа				
	0	6,3	—	5,8	—
	8	11,8	8,8	22,2	4,1
	10	14,2	7,5	30,1	4,5
	12	18,5	5,2	49,8	2,8
	27	118,8	5,6	370,0	5,2

после посева. Это позволяет допустить, что колонии на валин-агаре образовались путем адаптирования подавляющего большинства (фактически всех) клеток музейной культуры.

Совокупность вышеприведенных фактов указывает на индуктивный характер приспособления культуры *S. chevalieri* к усвоению валина в качестве единственного источника азота.

Была испытана также возможность обратимости свойства усвоения валина, приобретенного в процессе инкубирования музейной культуры в присутствии данной аминокислоты, действующей как специфический субстрат, путем последовательного пересева адаптированной культуры в среду, содержащую сульфат аммония в качестве единственного источника азота (основная среда). Было проведено 6 пассажей, что соответствовало приблизительно 80—100 поколениям клеток.

* Опыты проведены при участии Ю. Г. Попова.

Для сравнения были поставлены 3 параллельные варианта, посевной материал которых был выращен в тех же условиях: посев музейной культуры в средах с аммонием и с валином и адаптированной—в среду с аммонием.

Данные одного из опытов, сведенные в табл. 4, показывают, что свойство расти в среде с валином необратимо при возвращении культуры в исходные условия азотного питания.

Таблица 4

Динамика расщепления глюкозы и синтеза биомассы адаптированной культурой после 6 пассажей в среду с аммонием (опыт от 15/V 1968 г.)

Посевной материал: 0,5 мг в 100 мл среды; исходная глюкоза—11130

В а р и а н т ы	Время ин- кубации, час	Расщеплен- ная глюко- за, мг	Синтезиро- ванная био- масса, мг
Среда с NH_4^+ —Музейная культура	16	255	95
	20	703	253
	24	1102	391
Среда с валином —Музейная культура	30	30	13,2
	34	50	19,0
	45	260	89,7
	52	610	222,0
	68	1102	348,0
—Адаптированная куль- тура	18	10	4,5
	22	35	11,6
	26	50	15,8
	30	190	41,0
	34	524	124,0
	40	1110	324,0
—Адаптированная куль- тура после пассажей на аммоний	18	30	11,0
	22	55	24,5
	26	190	68,0
	30	540	132,0
	34	930	285,0

Наблюдаемые явления можно истолковать как пример длительной модификации, наступающей в присутствии валина, действующего как специфический субстрат. Подобный пример длительной модификации, но касающийся моносахаридов, приведен также по отношению *Saccharomyces cerevisiae* адаптированной к D-галактозе и *Aerobacter aerogenes* адаптированной к L-арабинозе (5). В описанном нами примере, изменение не устраняется после 6 пассажей в исходную среду с аммонием.

Тем не менее пассажи на исходную среду продолжаются в нашей лаборатории с целью определения стойкости вышеописанной модификации.

Ереванский государственный университет
Институт микробиологии Академии
наук Армянской ССР

Candida chevalieri-ի ադապտացիան վալինի նկատմամբ

Ուսումնասիրվել է վալինի նկատմամբ *C. chevalieri*-ի հարմարողականության դինամիկան որպես ածխածնի աղբյուր գլյուկոզ և ազոտի միակ աղբյուր վալին պարունակող սինթետիկ միջավայրում:

Վալինի յուրացման ձեռք բերված հատկությունը արտահայտվում է նրա առկայությամբ գլյուկոզի ճեղքման և կուլտուրայի աճման դինամիկայի արագացումով. լազ-ֆազը աստիճանաբար կրճատվում է լույսով թմինաթթուն պարունակող միջավայրում կուլտուրայի հաջորդական անցումների (պասամ) ընթացքում: Ադապտացիան համարվում է ավարտված 6—8 անցումների միջև, երբ գլյուկոզի ճեղքման և կուլտուրայի աճման լազ-ֆազի տևողությունը հասնում է մի մեծության, որը մոտ է ամոնիում սուլֆատ պարունակող միջավայրում ստացված արդյունքներին:

Ցույց է տրված հարաբերակցական կապ գլյուկոզի ճեղքման և բիոմասայի կուտակման դինամիկաների միջև:

Վալին պարունակող սինթետիկ միջավայրում հաջորդական անցումների ընթացքում ադապտված կուլտուրան լիովին պահպանում է բարձր տեսակական զուրկակցով բիոմասայի սինթեզնելու իր հատկությունը:

Ստացված տվյալները թույլ են տալիս առաջադրելու հիպոթեզ այն մասին, որ վալինը որպես ազոտի միակ աղբյուր յուրացնելու հատկությունը ձեռք է բերվում ինդուկցիայի միջոցով սպեցիֆիկ սուրստրատի առկայությամբ: Վալին պարունակող միջավայրում բիոմասայի առաջացումը ի հաշիվ մոտամոնների, որոնք կարող են գոյություն ունենալ երկենային կուլտուրայում, փաստորեն բացառվում է:

Կուլտուրան ադապտացիան սննդառության սովորական պայմանների մեջ վերադարձնելիս (ամոնիում պարունակող միջավայր) 6 հաջորդական անցումների ընթացքում, չի նկատվել վալինի միջավայրում աճելու հատկության հակադարձելիություն:

Հետադոստովող երևույթները կարելի է մեկնաբանել որպես երկարատև մոդիֆիկացիայի օրինակ, որը երևան է գալիս վալինի առկայությամբ. տվյալ դեպքում վերջինս գործում է որպես սպեցիֆիկ սուրստրատ:

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

- ¹ G. N. Cohen, J. Monod, Bacteriol Rev., 21, 3, 169 (1957). ² S. Pomper, J. Bact. 65, 6, 666 (1953). ³ R. Pietruszko, L. Fowden, Annals of Bot., 25, 100, 491 (1961). ⁴ C. N. Hinshelwood, The chemical kinetics of the Bacterial cell, Oxford, 1947. ⁵ A. C. R. Dean, C. N. Hinshelwood, Growth, function and regulation in bacterial cells, London, 1966. ⁶ М. А. Тер-Карапетян, Е. Н. Макарова, С. М. Инджикян. Тезисы LXII науч. сес. Ереванского Гос. Унив., 66, 1962. ⁷ С. М. Инджикян. Тезисы I Всес. Биохим. съезда, 1, 167, 1964. ⁸ М. А. Тер-Карапетян, С. М. Инджикян, С. В. Чубарян. Биол. Журн. Армении, 21, 1, 3, 1968. ⁹ М. А. Тер-Карапетян, С. М. Инджикян, ДАН Арм. ССР, т. 43, 117, (1966). ¹⁰ М. А. Тер-Карапетян, Е. Н. Макарова, «Известия АН Арм. ССР» (биол. науки), 16, 5, 15 (1963).

УДК 631.8

В. Л. Ананян, Б. Г. Мнацаканян, Л. А. Араратян

Влияние удобрений на накопление стабильного и радиоактивного (Mn-54) марганца в растениях альпийского луга

(Представлено академиком АН Армянской ССР Г. С. Давтяном 21/IV 1968)

С биологической точки зрения наиболее опасными продуктами деления являются долгоживущие изотопы, как например, Sr—90 и Cs—137. Однако короткоживущие изотопы при их значительной концентрации могут создавать сравнительно большую энергию излучения. Одним из таких изотопов является Mn-54 с периодом полураспада 291 день и энергией гамма-квантов 842 кэв.

Нашей задачей являлось изучение накопления стабильного и радиоактивного (Mn-54) марганца в растениях альпийского луга при его удобрении.

Измерения производили гамма-спектральным методом на установке АИ-100—1. Измельченный, пропущенный через сито с отверстиями 1 мм воздушно-сухой образец растений в количестве 100—150 г насыпали в специальный алюминиевый стакан, который вставлялся на сцинтиляционный датчик, находящийся в массивном защитном домике. Активность Mn-54 выражена в *имп/мин* на 10 г воздушно-сухого образца. Для получения сопоставимых данных результаты пересчитывались на один из дней измерения—18/X—1965 г. Ко времени измерения активность Mn-54 была уже низка, точность измерения колебалась в пределах 10—15%.

Стабильный Mn определялся методом спектрального анализа на спектрографе ИСП-28.

Влияние удобрений на накопление стабильного и радиоактивного Mn в растениях (сене) изучалось в условиях мелкоделяночных полевых опытов № 5—1 и №3* 1964 г. на территории Арагацской альпийской биологической станции на высоте 3250 м над у. м.

Удобрения (N,P,K) вносили поверхностно из расчета 100 кг действующего начала каждого на 1 га. известь—3 т/г. Почва станции горнолуговая, коричневая, с большим содержанием органических веществ и общего азота, богата валовым фосфором. Реакция почв кислая, pH вод-

* Урежайные данные опыта № 3 и образцы для анализов представил Г. Б. Баба-яном.

ной суспензии—4,4. Растительность низкорослая образует альпийские ковры. По данным Е. С. Казаряна (¹) почвы субальпийских и альпийских лугов Армении содержат достаточно высокое количество марганца. И, действительно, содержание валового марганца в прикопке, сделанной около опытных участков на Арагаце, оказалось повышенным (табл. 1).

Таблица 1

Содержание стабильного и радиоактивного (Mn-54) марганца в почве альпийского луга на Арагаце

Место и время	Глубина взятия образцов, см	Mn (валовой), мг/кг	Mn-54 на 25/II 1966 г.	
			имп/мин/кг	10^{-9} Cu по Cs—137
Арагац 1964 г.	0—5	510	47,5	0,007
	5—10	540	21,4	—
	10—20	490	20,5	—
	20—40	650	33,5	—

Содержание радиомарганца составило в слое 0—5 см 47,5 имп/мин на 1 кг почвы на 25/II 1966 г., что при приближенном подсчете по эталону Cs—137 равнялось примерно $0,007 \cdot 10^{-9}$ Cu/кг. С глубиной содержание Mn-54 несколько уменьшалось.

Данные опытов (табл. 2) показывают, что в почвах высокогорного альпийского пастбища в первом минимуме находится азот, затем фосфор. Наиболее эффективным сочетанием удобрений для повышения урожайности пастбищ является NP и NPK. В опыте № 5—1 на фоне известкования в контроле урожайность несколько снизилась, а в варианте NPK—несколько поднялась.

Содержание Mn (естественного) в контрольных делянках опытов № 5—1 и № 3 было почти одинаковым. В вариантах NP и NPK наблюдается тенденция к увеличению содержания Mn, которая довольно четко проявилась в опыте № 5—1. В серии с известкованием содержание Mn осталось неизменным как в контроле, так и в удобренных вариантах.

Как указывалось выше, в результате внесения удобрений изменяется продуктивность лугов и, естественно, при этом вынос Mn урожаем также изменяется—чем выше урожай, тем больше вынос Mn. Так, например в вариантах, где внесены удобрения NP и NPK вынос Mn в 3—4 раза выше—48—59 мг/м², чем в контрольных делянках—11—14 мг/м². Это обстоятельство указывает на то, что при внесении полного минерального удобрения целесообразно также внесение марганцевых удобрений. Данные Е. С. Казаряна (¹) показали, что на альпийских пастбищах г. Арагац подкормка Mn (на фоне NPK) дала значительную прибавку урожая трав.

Рассмотрим теперь как коррелируют данные о поведении радиомарганца со стабильным Mn. Прежде всего надо отметить, что поступление радиомарганца в растения происходит двумя путями, через загрязненную им почву и непосредственно из атмосферных осадков. В тот период когда атмосферные осадки загрязнены Mn-54, имеют место оба вида поступления, но в период, когда осадков нет, или они не содержат Mn

54. он поступает в растения через корни из почвы. Дорис К. Саттон и Джон Дж. Келли (²), изучив распределение и соотношение между Мп-54 и Мп стабильным в пшенице и различных ее частях (отруби, фракции муки), пришли к заключению, что в растении имеет место быстрый обмен между Мп-54 и Мп и, что поглощение Мп-54 происходит главным образом через корни.

В табл. 2 приведены данные о влиянии удобрений на накопление Мп-54 в растениях альпийского луга (сене).

Таблица 2

Влияние удобрений на урожай (сена), содержание и вынос Мп (стабильного) и накопление Мп-54 растениями альпийского луга

Опыт	Серия	Вариант	Урожай, г/м ²	Мп, % на воздушно- сухой вес	Вынос Мп урожаем, г	Мп-54 на 18/X 1965 г.		Мп-54 Мп (мг/100г)
						и.мг./мин на 100 г	% от контроля	
№ 5—1 1964 г.	Без известко- вания	0	72,6+11,8	0,016	0,011	48	100	3
		N	116,3+9,2	—	—	40	83	—
		PK	57,3+8,4	—	—	32	68	—
		N K	94,5+14,4	0,016	0,015	27	56	1,7
		N P	180,0+42,7	0,029	0,052	20	42	0,7
		N PK	196,2+17,1	0,030	0,059	25	52	0,8
	Известкова- ние	0	57,7+15,0	0,016	0,009	26	100	1,6
		N	129,5+11,4	—	—	30	115	—
		N P	155,5+30,2	0,016	0,025	27	100	1,7
		NPK	212,7+26,0	0,019	0,040	25	100	1,3
№ 3 1964 г.	Без известко- вания	0	72,7	0,019	0,014	25	100	1,3
		N	152,6	0,015	0,023	28	112	1,2
		P	104,1	0,021	0,022	22	88	1,0
		N P	203,4	0,024	0,049	9	36	0,4
		N PK	239,4	0,020	0,048	14	56	0,7

В опыте № 5—1 в серии без известкования отмечается уменьшение удельного содержания Мп-54 почти во всех вариантах по сравнению с контролем. Наблюдается обратная корреляция между величиной урожая и содержанием Мп-54. Чем выше урожай, тем ниже содержание Мп-54 (рис. 1). Так, например, в вариантах NP и NPK содержание Мп-54, составило 42—52% от контроля. Происходит как бы «разбавление» Мп-54 в большем объеме растений. Отношение Мп-54 к стабильному Мп также уменьшается—0,7—0,8 в вариантах NP и NPK, а в контроле—3,0.

В опыте № 3 наблюдается та же закономерность.

В серии опыта № 5—1, где удобрения внесены на фоне известкования, зависимости между содержанием Мп-54 и величиной урожая трав не наблюдалось. Содержание Мп-54 одинаковсе и низкое по всем вариантам—25—30 и.мг./мин на 100 г.

Таким образом, наблюдается существенное различие в поведении естественного, стабильного марганца и радиоактивного изотопа Мп-54.

Как мы уже отмечали, Mn-54 мог поступить в растения как из атмосферы внекорневым путем, так и из почвы. Можно было бы предположить, что та часть Mn-54, которая поступила в растения внекорневым путем обусловила основное различие, а именно, явление «разбавления» Mn-54 в большей массе растений. Однако, как показывают данные, на фоне известкования явление «разбавления» не проявилось, хотя в вариантах NP и NPK также получены высокие урожаи. Известно (3), что

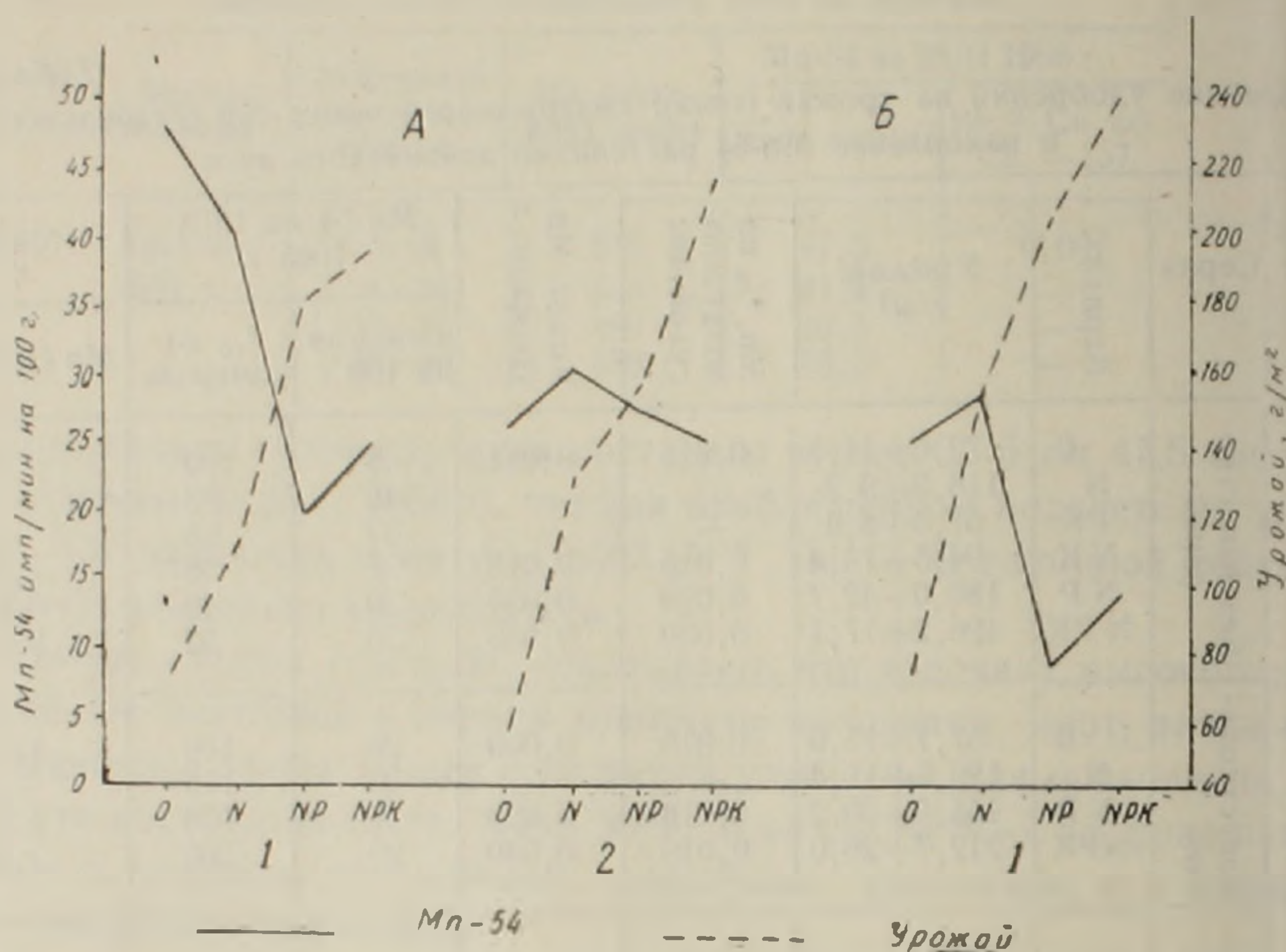


Рис. 1. Накопление Mn-54 в растениях (сене) в зависимости от урожайности. А-опыт № 5—1; Б—опыт № 3. 1—без известкования; 2—известкование.

известкование уменьшает подвижность марганца в почве и его поступление в растения. Как видно из табл. 1, Mn-54 довольно подвижен в почве, и, очевидно, сравнительно легко поглощается корнями. Эти факты указывают на преобладание корневого поступления Mn-54. К такому же выводу пришли Дорис К. Саттон и Джон Дж. Келли (2).

Институт агрохимических проблем и гидропоники
Академии наук Армянской ССР

Վ. Է. ԱՆԱՆՅԱՆ, Բ. Դ. ՄԱՅԱԿԱՆՅԱՆ, Լ. Ա. ԱՐԱՐԱՏՅԱՆ

Պարարտանյութերի ազդեցությունը կալում և ռադիոակտիվ (Mn-54) մանգանի կուտակման վրա, ալպիական մարգագետինների բույսերի մեջ

Ուսումնասիրությունները կատարվել են Արագածի կենսաբանական կայանի փորձադաշտում 1964 թ.:

Փորձը իրականացվել է 2 սերիայով՝ կրաքարով և առանց կրաքարի: Փորձամարզի մեծությունը 1,56 մ, չորս կրկնողությամբ: Պարարտանյութերը (N,P,K) տրվել են մակերեսային սնուցման ձևով 100 կգ/հեկտ. ազդող նյութի հաշվով, կիրք 300/հեկտ:

Մո-54-ի որոշումը կատարվել է պամա-սպեկտրալ եղանակով ԱՄ-100-1 սարքի միջոցով՝ Սկսիվությունը արտահայտված է իմպ/րոպեով, 100 Վ օդաչոր նյութի մեջ:

Համեմատական տվյալներ ստանալու համար Մո-54-ի ակտիվության ցուցումները վերահայտարկվել են մեկ օրվա համար՝ 18/Մ. 1965 թ.: Չափումների ճշտությունը տատանվել է 10—15% -ի սահմաններում:

Կայուն Մո-ը որոշվել է լուսապատկերային եղանակով ИСП-28 լուսապատկերագրի միջոցով: Ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ կայուն Մո-ի պարունակությունը ալպիական մարդագետնային հողերում բարձր է՝ 510—650 մգ/կգ. իսկ բույսերի մեջ այն կազմում է 160—190 մգ/կգ:

Պարարտացման դեպքում (NP և NPK տարրերակներում) Մո-ի պարունակությունը բույսերի մեջ որոշ չափով ավելանում է: NP և NPK տարրերակներում բերքի բավականաչափ բարձրացման հետևանքով Մո-ի ելը 3—4 անգամ ավելին է ստուգիչի համեմատությամբ:

Խաղիոակտիվ Մո-54-ի վերաբերյալ նկատվում է հակառակ կախվածություն, ըստ որում բերքի ավելացման հետ Մո-54-ի տեսակարար քանակությունը պակասում է՝ NPK տարրերակում (առանց կրացման) այն կազմում է 52—56% ստուգիչի համեմատությամբ: Տեղի է ունենում Մո-54-ի բաշխումը բույսերի ավելի մեծ զանգվածի մեջ:

Կրացման ֆոնի վրա, բարձր և ցածր բերքի դեպքում, Մո-54-ի պարունակությունը հավասարվում և նվազում է: Այդ հանգամանքը ցույց է տալիս, որ արմատների միջոցով Մո-54-ը ավելի շատ է կլանվում բույսերի մեջ, քան տերևների:

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

¹ Е. С. Казарян, Автореферат докторской диссертации Ереван, 1965. ² Doris C. Sutton and John J. Kelly, Manganese—54: Fractional distribution in wheat and occurrence in other foods. Nature, vol. 209, № 5028, 1966. ³ Я. В. Пейве, Микроэлементы и ферменты. Изд. АН Латв. ССР, 1960.

УДК 595.422 : 592/599 : 001.4

Э. С. Арутюнян

Новый вид рода *Amblyseius* Berlese, 1904 (Parasitiformes, *Phytoseiidae*)

(Представлено академиком АН Армянской ССР В. О. Гулканяном 19/VI 1968)

Настоящая статья содержит описание нового вида из подрода *Kampimodromus* (Nesbitt, 1957) Wainstein, 1962. Номенклатура щетинок в тексте дается по Б. А. Вайнштейну (1962). Размеры указаны в микро-нах.

Тип хранится в Институте зоологии АН Армянской ССР.

Amblyseius marzhaniani sp. nov. Самка. (рис. 1, 1,2,3,4,5). Дорсальный щит с сетевидной скульптурой, яйцевидный, со слабо выраженными боковыми выемками, несет 16 пар щетинок и 6 пар пор. Латеральные щетинки тонкие и удлиненные. Щетинки РМ₃ слабо опушенные, на вершине с маленькой булавой. Стернальный щит несет 3 пары щетинок. Метастернальные щитки неправильной формы, несут по паре щетинок. Вентрианальный щит вогнут по краям, несет 3 пары вентральных щетинок. Между генитальным и вентрианальным щитами имеется узкий, поперечный щит. 3 пары щетинок окружают вентрианальный щит. Метаподальных щитков две пары. Кроме них на вентральной поверхности тела имеются 3 пары маленьких щитков. Перитремы короткие (рис. 1, 5). Неподвижный палец хелицер вооружен 4 зубцами и одним игловидным придатком, а подвижный—без зубцов. IV нога не имеет макрохет. Форма сперматеки видна на рис. 1, 4.

Размеры: Длина дорсального щита—325, ширина—182; длина щетинок: AL: I—35, II—37,5, III—37,8; PL: I—34, III—9,8; ML—18; AM: I—30,8, II—14; PM: II—32,2, III—44,8; D: I—15,4, II—19,6, III—14, IV—18,2, VI—15,4, VII—5,6; AS—37,8; PS—23,8.

Самец неизвестен.

Собран в июле 1967 г. на *Fragaria vesca* L. (гетна мори) в Кафанском районе в окрестностях с. Цав.

Голотип (♀) в препарате № 307, Кафанский район, окрестности с. Цав. 9/VII 1967 г. 1200 м над ур. м.

По количеству щетинок и по строению дорсального щита вид близок *Amblyseius chergui* C. Athias-Henriot (1960), но по строению и размерам

дорсальных щетинок, числу и расположению дорсальных пор, строению вентрианального щита, количеству щетинок на мембране, окружающей вентрианальный щит, строению щетинок РМ₃, размеру щетинок AS и другим особенностям эти виды хорошо различаются.

Вместе с вышеописанным в подроде *Kampimodromus* насчитывается 8 видов, которые можно различать по следующей таблице, составленной для самок:

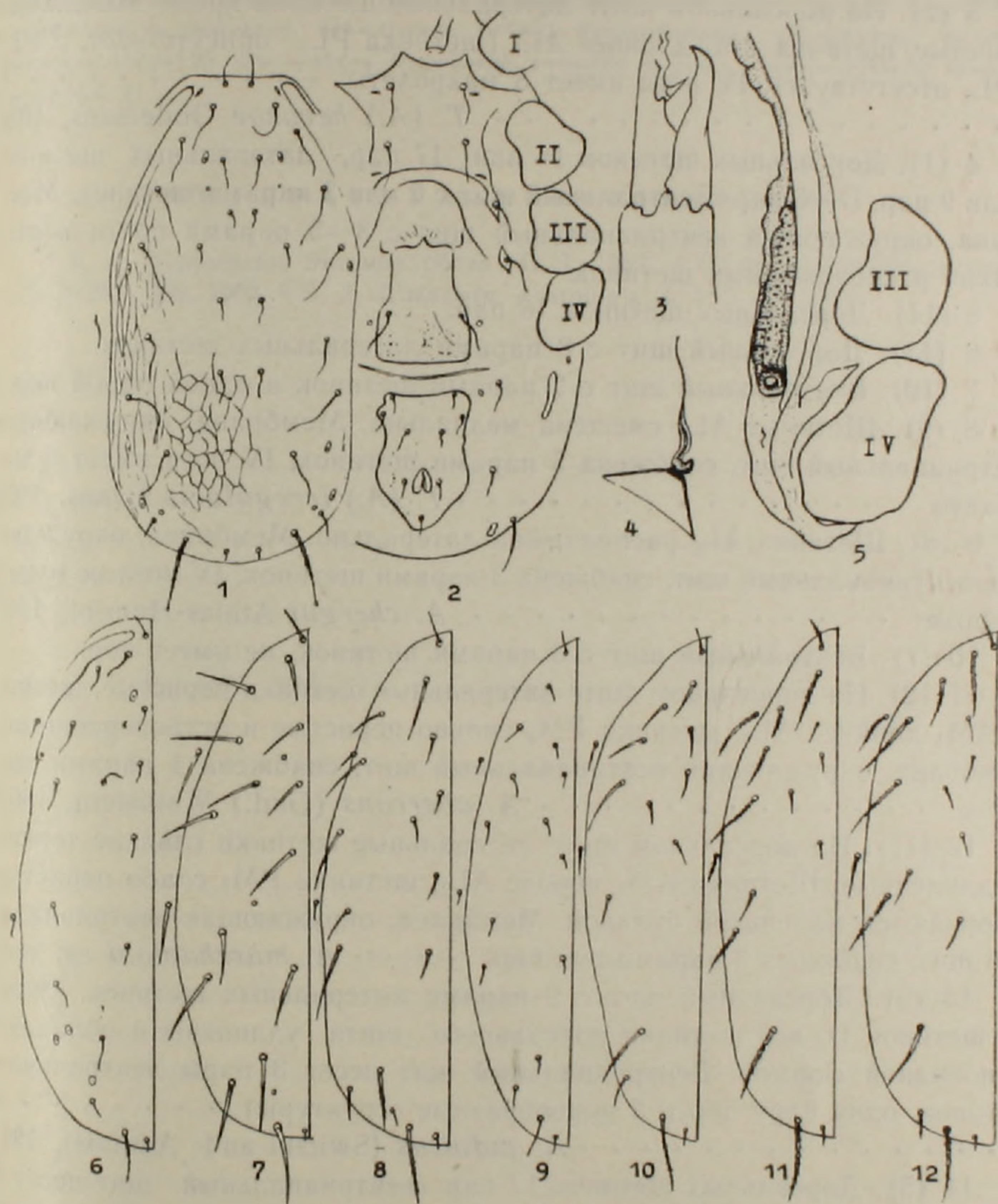


Рис. 1. *Amblysetus marzhaniani* sp. nov. и другие близкие виды: *A. marzhaniani* Самка (1—5): 1—сверху; 2—снизу; 3—хелицера; 4—сперматека; 5—перитремальный щиток. Дорсальные щиты видов группы *Kampimodromus* (♀♀) (6—11): 6—*A. chergui* Athias—Henriot; 7—*A. judaicus* (Swirski and Amitals); 8—*A. olombo* Pritchard and Baker; 9—*T. (A.) irregularis* Evans; 10—*T. (A.) oudemansi* Chant, 11—*T. (A.) heveae* Oudemans; 12—*A. (K.) aberrans* (Oudemans) Wainstein.

1 (4). Дорсальных щетинок 14 пар, латеральных щетинок 7 пар, D—5 пар. Вентральный щит с 3 парами щетинок. Мембрана, окружающая вентрианальный щит, с 4 парами щетинок.

2 (3). На дорсальном щите латеральные щетинки гладкие. (Щетинка AM_1 почти равна AL_1 , щетинки PL_3 присутствуют, а PL_1 и PL_2 отсутствуют). IV нога не имеет макрохет *T. (A.) oudemansi* Chant, 1959

3 (2). На дорсальном щите латеральные щетинки кроме ML сильно перистые, щетинка AM_1 длиннее AL_1 (щетинка PL_1 присутствует, а PL_2 и PL_3 отсутствуют). IV нога имеет 3 макрохеты. *T. (A.) hevaeae* Oudemans, 1930

4 (1). Дорсальных щетинок 16 или 17 пар, латеральных щетинок 8 или 9 пар, D—6 пар. Вентральный щит с 2 или 3 парами щетинок. Мембрана, окружающая вентрианальный щит с 3—5 парами почти вертикально расположенных щетинок.

5 (14). Дорсальных щетинок 16 пар.

6 (13). Дорсальный щит с 8 парами латеральных щетинок.

7 (10). Вентральный щит с 2 парами щетинок и одной парой пор.

8 (9). Щетинка AL_2 смещена медиально. Мембрана, окружающая вентрианальный щит, снабжена 5 парами щетинок, IV нога имеет 3 макрохеты *T. (A.) irregularis* Evans, 1953

9 (8). Щетинка AL_2 расположена латерально. Мембрана, окружающая вентрианальный щит, снабжена 3 парами щетинок, IV нога не имеет макрохет *A. chergui* Athias-Henriot, 1960

10 (7). Вентральный щит с 3 парами щетинок, не имеет пор.

11 (12). На дорсальном щите латеральные щетинки перистые, щетинки AM_1 длиннее AL_1 , щетинки PM_3 сильно перистые и островеершинные. Мембрана, окружающая вентрианальный щит, снабжена 4 парами щетинок *A. aberrans* (Oud.) Wainstein, 1962

12 (11). На дорсальном щите латеральные щетинки гладкие, тонкие и удлиненные. Щетинки AM_1 короче AL_1 , щетинки PM_3 слабо перистые и кончаются маленькой булавой. Мембрана, окружающая вентрианальный щит, снабжена 3 парами щетинок *A. marzhaniani* sp. nov.

13 (6). Дорсальный щит с 9 парами латеральных щетинок. (Кроме щетинок D_7 все щетинки дорсального щита удлинены и обладают шиповидной формой. Вентрианальный щит несет 3 пары вентральных щетинок, одну пару пор и 2 порообразные структуры) *A. judaicus* (Swirski and Amitais), 1961

14 (5). Дорсальных щетинок 17 пар (вентрианальный щит несет 3 пары вентральных щетинок и одну пару пор. Мембрана, окружающая вентрианальный щит, снабжена 4 парами щетинок, IV нога имеет 3 макрохеты *A. olombo* Pritchard and Baker, 1962

Նոր տեսակ *Amblyseius* Berlese, 1904 սեռից
(Parasitiformes, Phytoseiidae)

Ներկա հոդվածում նկարագրվում է Հայաստանում հավաքած նյութերի հիման վրա հայտնա-
բերված Phytoseiidae ընտանիքի տղերի մի նոր տեսակ՝ *Sensu* կր. — *Amblyseius merzhianiani*
sp. n. հայտնաբերվել է 1967 թ. հուլիսին Ղափանի շրջանի Մավ գյուղի շրջակայքից ծովի մա-
կերևույթից 1200 մետր բարձրության վրա գետնամորու (*Fragaria vesca* L.) վրայից: Այս
նոր տեսակը նման է *Amblyseius chergui* Athias-Henriot-ին, բայց մեջքային խողանների
կառուցվածքով ու չափսերով, վենտրիալ վահանի կառուցվածքով, վենտրիալ վահանը
շրջապատող թաղանթի վրա գտնվող խողանների քանակով և ուրիշ հատկանիշներով նրանից
տարբերվում է:

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

¹ Б. А. Вайнштейн, Энтомол. обозр., 41, 1, 1962. ² С. Athias-Henriot, Acarolo-
gia, 2, 3: 287—299, 1960. ³ В. А. Wainstein, Acarologia, 4, 1: 5—30, 1962.

УДК 618.11 : 615.783.1

М. С. Мартикян

Влияние папаверина на объемную скорость кровотока в сосудах яичника в норме и при вазопрессиновой спазме

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР С. М. Мирзояном 21/VI 1968)

Фармакологические эффекты лекарственных средств, действующих на внутриорганическое кровообращение, несомненно, находятся в определенной зависимости от структурных особенностей стенок сосудов, питающих данный орган. Как показали наши исследования, сосуды яичника принадлежат к мышечному типу (¹). Эти данные послужили основанием для детального анализа миотропного сосудорасширяющего препарата — папаверина на объемную скорость кровотока в сосудах яичника. Допускается возможность использования вазоактивных средств в целях стимулирования окольного кровообращения яичника при ее нарушениях в условиях эксперимента и клиники. Для изучения изменений кровоснабжения яичника использовался метод термоэлектрического измерения объемной скорости кровотока. С целью регистрации кровотока в яичнике нами были изготовлены два вида термоэлектродов: плоский и сосудистый.

В острых опытах на кроликах, в условиях уретанового наркоза вскрывалась брюшная полость, отыскивался яичник, (обычно правый) после чего на его поверхность накладывался плоский термоэлектрод. Фиксирование электрода осуществлялось наложением кисетного шва на брюшину боковой стенки брюшной полости.

Во второй серии опытов измерение объемной скорости кровотока проводилось в яичниковой артерии. С этой целью были изготовлены сосудистые термоэлектроды, специальной конструкции. В этих случаях также как и при наложении плоского термоэлектрода, после тщательного гемостаза производили иммобилизацию яичника с одновременным помещением участка яичниковой артерии в соответствующую выемку сосудистого термоэлектрода. Исследования проводились в период весенне-летнего сезона на половозрелых крольчихах весом 2300—2600 г.

Приступая к экспериментам, мы предпочли в первую очередь проследить за изменениями кровоснабжения яичника под влиянием внутривенных введений папаверина в норме у анестезированных животных.

В опытах с синхронной регистрацией объемной скорости кровотока яичника и системного давления обнаружено, что внутривенное введение папаверина сопровождается изменением кровоснабжения яичника с одновременным падением артериального давления. При этом следует отметить, что степень изменения кровоснабжения неодинакова и находится в тесной зависимости от количества вводимого препарата. Так, при введении папаверина в дозе 1—2 мг/кг со стороны кровотока отмечаются лишь незначительные сдвиги, которые находят свое выражение в его небольшом и кратковременном увеличении. Начиная с дозы 3 мг/кг и выше папаверин обнаруживает способность выраженно усиливать объемную скорость кровотока яичника на фоне падения системного давления. Один из таких опытов приведен на рис. 1. Обращает на себя внимание,

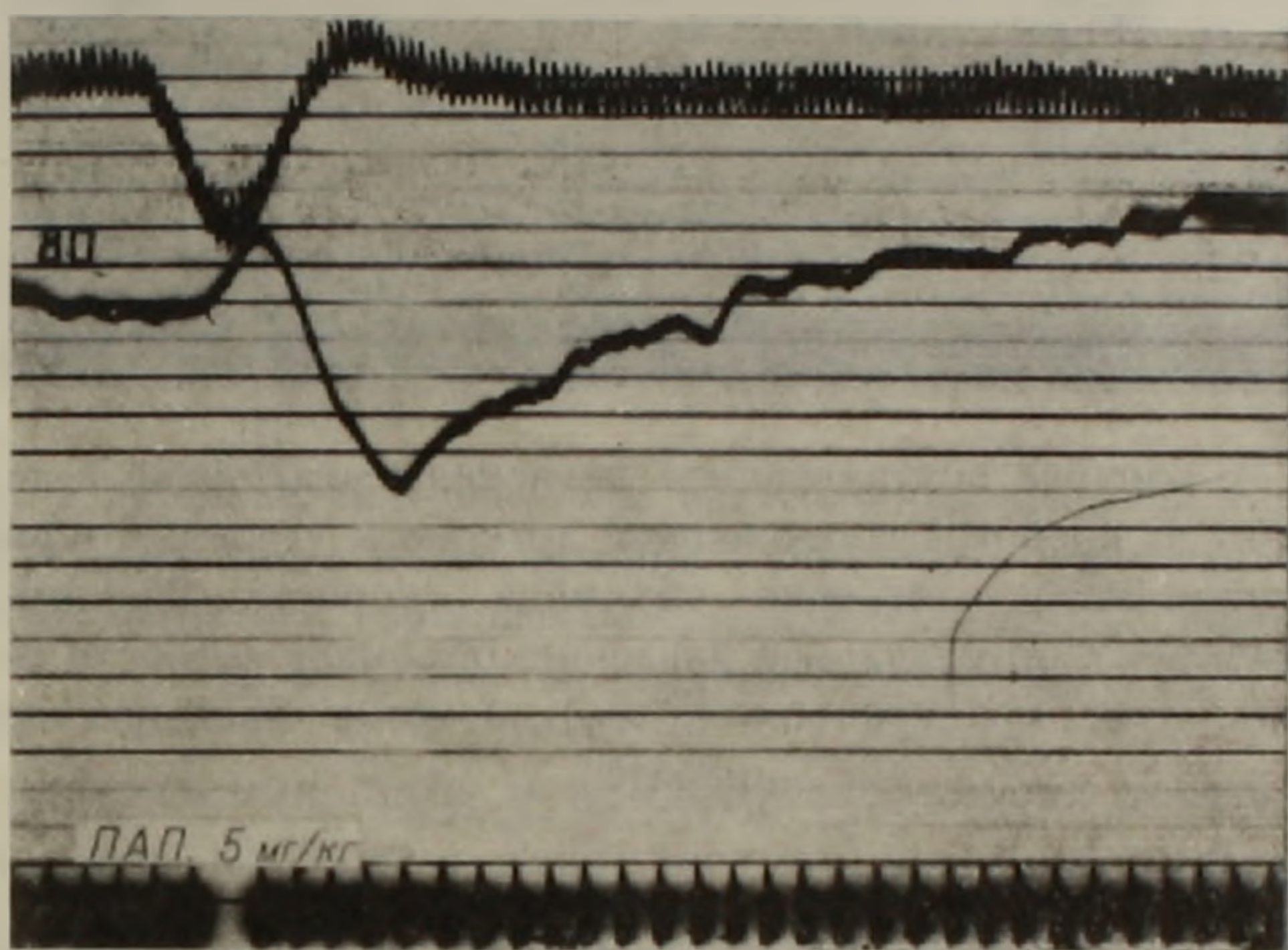


Рис. 1. Влияние внутривенного введения папаверина в дозе 5 мг/кг на кровоток яичника в условиях термоэлектрического измерения объемной скорости кровотока. Сверху вниз: артериальное давление, объемная скорость кровотока, отметчик времени (5 сек), отметка введения препарата.

что внутривенное введение папаверина в дозе 5 мг/кг сопровождается усилением яичникового кровотока с одновременным снижением уровня системного давления. Следует отметить, что такая разнонаправленность сдвигов кровотока и артериального давления нами наблюдалась во всех без исключения опытах и носит закономерный характер.

Опыты с изучением объемной скорости кровотока под влиянием папаверина в яичниковой артерии дали аналогичные результаты. При этом следует указать, что усиление кровотока в а. ovariica более выражено, чем аналогичные эффекты, наблюдаемые в яичнике. Результат одного из таких опытов показан на рис. 2. Сразу же после введения папаверина в дозе 5 мг/кг отмечается снижение системного давления (на 70 мм), которое остается на низких величинах 35 секунд. После чего наблюдается его постепенное восстановление в течение 3 минут. Одновременно с падением давления обнаруживается выраженное возрастание кровотока,

причем самый высокий уровень его отмечается в период, когда системное давление продолжает оставаться пониженным. Высокий уровень кровотока сохраняется в течение двух с половиной минут после чего наступает его постепенное снижение. Однако даже на 15-й минуте величина кровотока превосходит исходный уровень.

Таким образом, результаты исследований по изучению влияния папаверина на кровоснабжение яичника свидетельствуют, что препарат при внутривенном введении обнаруживает способность усиливать яич-

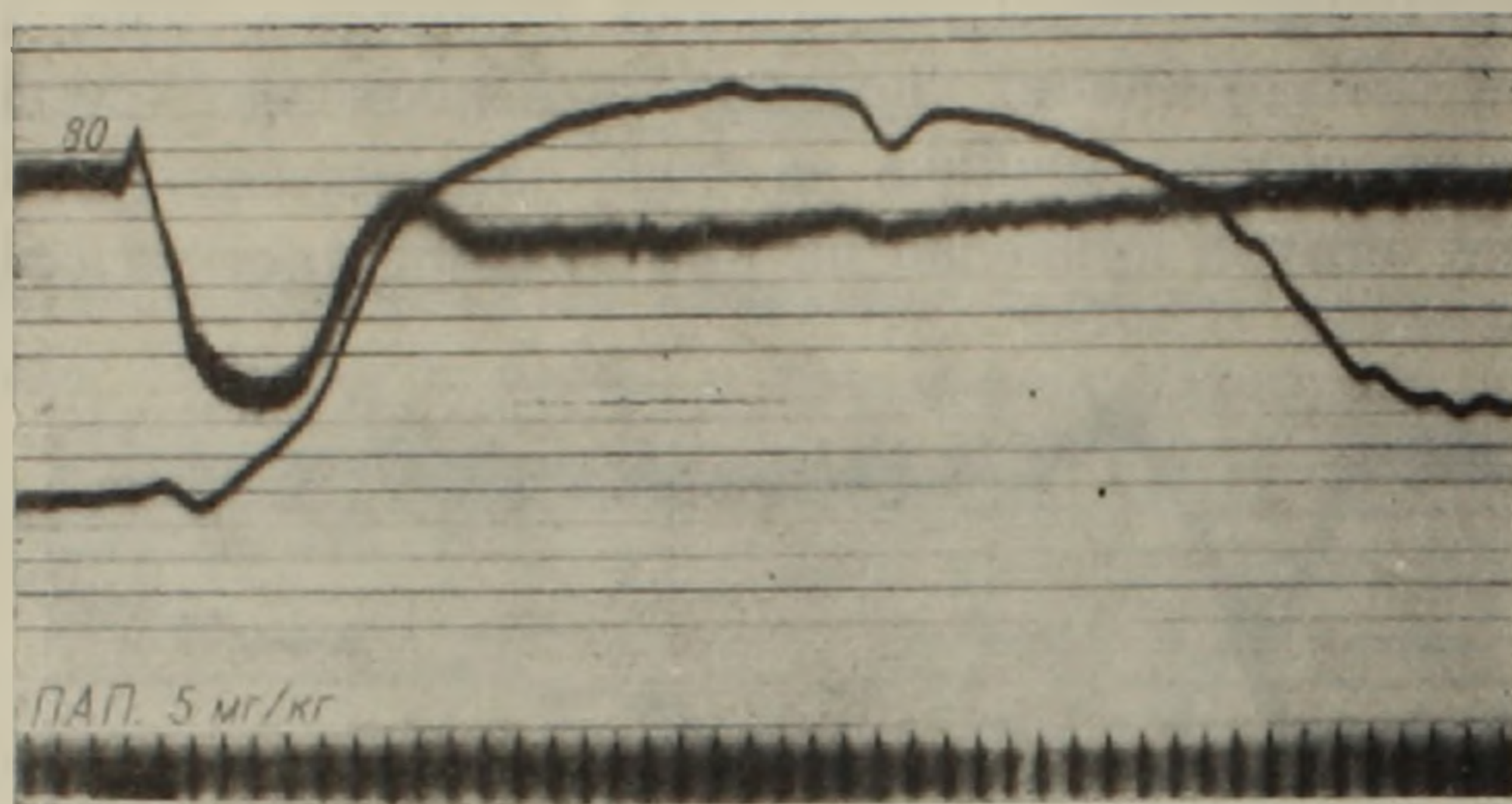


Рис. 2. Влияние внутривенного введения папаверина в дозе 5 мг/кг на кровоток в яичниковой артерии в условиях термоэлектрического измерения объемной скорости кровотока. Сверху вниз: артериальное давление, объемная скорость кровотока, стметчик времени (5 сек), отметка введения препарата.

никовое кровоснабжение. Однако допустимо предположить также, что увеличение кровоснабжения яичника при падении системного давления может быть и следствием включения регуляторных механизмов, способствующих поддержанию постоянного уровня внутриорганного яичникового кровообращения. Указанные положения нуждаются в дальнейшем экспериментальном анализе.

Дальнейшие исследования эффектов папаверина были проведены в условиях экспериментального спазма сосудов яичника. Основанием к этому послужило то, что согласно современным представлениям в генезе нарушений кровоснабжения яичника наряду с другими факторами, по видимому, определенную роль играет и гормональная функция гипоталамуса и гипофиза. Исследования свидетельствуют о роли гипоталамо-гипофизарной системы в регуляции вегетативно-эндокринной функции организма, а при стрессовых реакциях наряду с другими физиологически активными веществами избыточно выбрасывается также и вазопрессин. Применение вазопрессина диктовалось и тем, что последний обнаруживает способность оказывать действие на гладко-мышечные элементы сосудистой стенки, вызывая тем самым ангиоспазм.

Как показали исследования, внутривенное введение вазопрессина в дозе 0,125—0,5 ЕД/кг сопровождается наряду с прессорной реакцией со стороны системного давления, выраженным уменьшением объемной ско-

рости кровотока, при этом следует отметить, что снижение кровотока отмечается во всех без исключения опытах. Один из таких случаев иллюстрируется на рис. 3. Как явствует из рисунка, сразу же после введения вазопрессина в дозе 0,125 ЕД/кг происходит повышение артериального давления на 20 мм. Спустя 10 секунд после начала подъема системного давления, отмечается крутое и выраженное снижение уровня кровотока, достигающего своих минимальных величин в течение первых двух минут. В последующем происходит постепенное возвращение кровотока к исходным величинам, однако полное восстановление фонового уровня наблюдается лишь через 10—15 мин после инъекции вазопрессина.

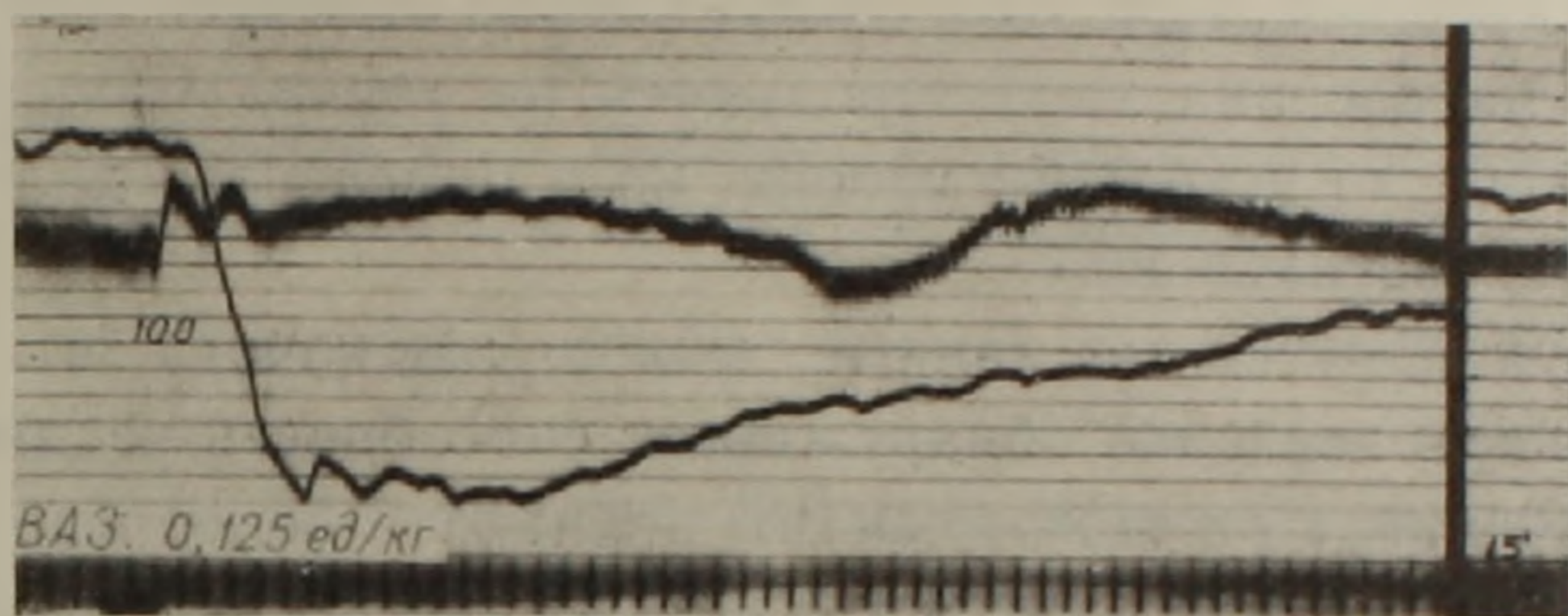


Рис. 3. Влияние внутривенного введения вазопрессина в дозе 0,125 мг/кг на кровоток яичника. Сверху вниз: объемная скорость кровотока, артериальное давление, отметка времени (5 сек), отметка введения препарата.

После установления силы и продолжительности течения спазма сосудов яичника под влиянием вазопрессина мы приступили к изучению эффектов папаверина на фоне ишемизации органа. С этой целью вво-

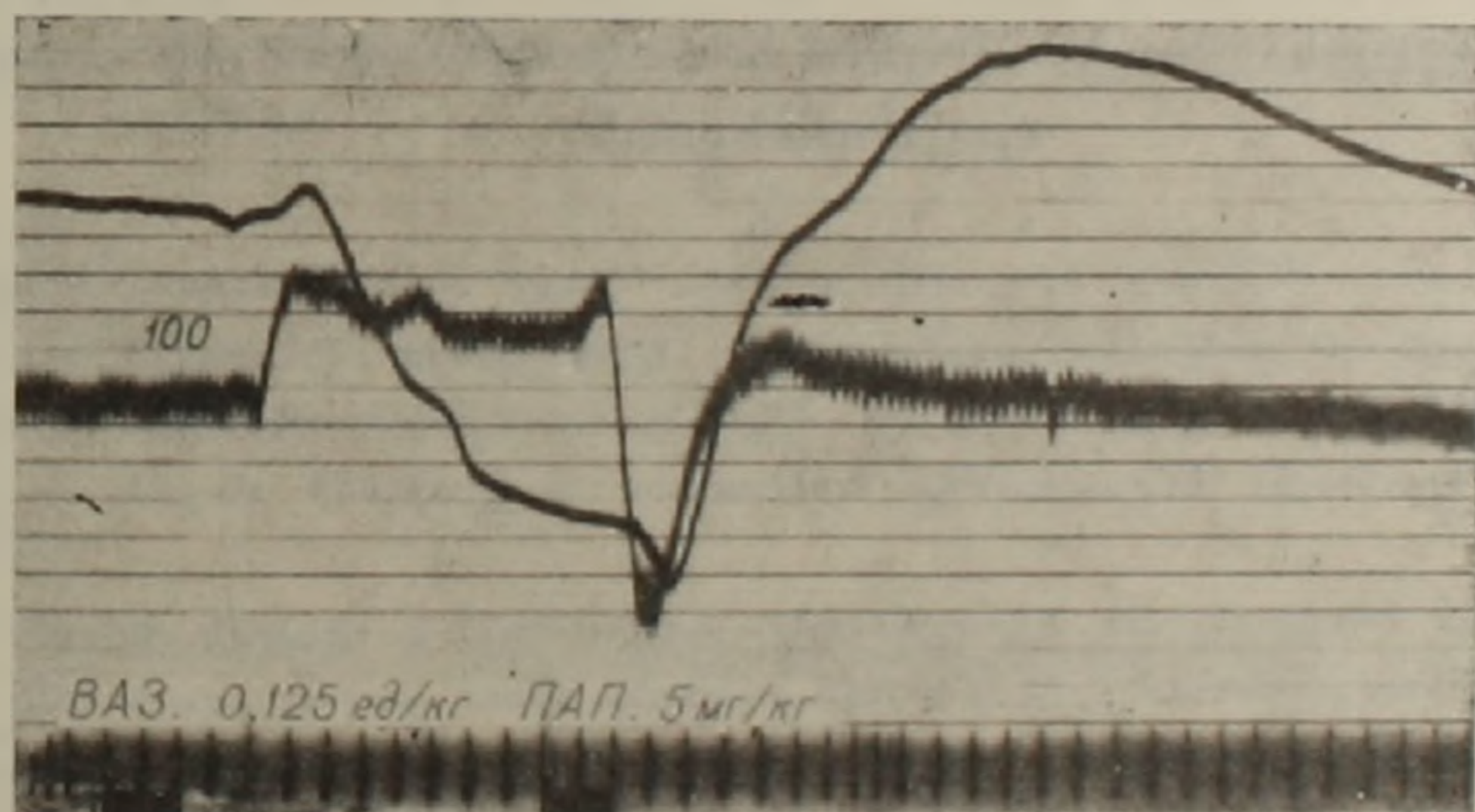


Рис. 4. Эффекты внутривенного введения папаверина в дозе 5 мг/кг на кровоток яичника в условиях действия вазопрессина. Сверху вниз: объемная скорость кровотока, артериальное давление, отметчик времени (5 сек), отметка введения препарата.

дили вазопрессин, после чего в момент наиболее выраженного снижения кровотока производилась интравенозная инъекция различных доз папаверина. Как показали результаты исследований, способность папа-

верина увеличивать кровоснабжение яичника в условиях применения вазопрессина более выражена. Результаты одного из таких опытов представлены на рис. 4. Как видно из рисунка, при внутривенном введении вазопрессина отмечается крутое и выраженное уменьшение объемной скорости кровотока. В условиях значительного понижения кровотока введение папаверина в дозе 5 мг/кг сопровождается стремительным возрастанием объемной скорости кровотока до исходного уровня.

Обращает на себя внимание, что степень усиления яичникового кровотока под влиянием папаверина находится в определенной зависимости от выраженности вазопрессинового спазма. Чем сильнее уменьшение кровотока при введении вазопрессина, тем эффекты папаверина более выражены, и наоборот. При этом следует особо отметить, что в ряде опытов эффекты папаверина характеризуются не только усилением яичникового кровотока до исходного уровня, но и отмечается дальнейшее нарастание его кровоснабжения.

Резюмируя полученные данные, можно заключить, что папаверин при внутривенном введении обнаруживает способность усиливать кровоснабжение яичника. При этом эффекты препарата более выражены в условиях экспериментального вазопрессинового спазма. Приведенные факты могут иметь определенное значение в разработке лекарственной стимуляции кровоснабжения яичника в условиях его нарушения.

Ереванский государственный институт
усовершенствования врачей

Մ. Ս. ՄԱՐՏԻԿՅԱՆ

Պապավերինի ազդեցությունը ձվարանի արյան ծավալային հոսքի
արագության վրա նորմայում և վազոպրեսսինային սպազմի
պայմաններում

Տերմոէկեկտրական մեթոդով ձվարանի արյան հոսքի ուսումնասիրությունը անոթալայնի միոտրոպ դեղանյութ-պապավերինի ազդեցության տակ ցույց է տալիս ընդհանուր արյան ճնշման և ձվարանի արյան շրջանառության միջև համահարաբերակցության բացակայությունը: Պապավերինի ներերակային ներարկումից առաջանում է ձվարանի արյան հոսքի արտահայտված ուժեղացում:

Վազոպրեսսինի ներերակային ներարկումից առաջանում է օրգանի արյան հոսքի իջեցում, որն սովորաբար վերականգնվում է 15 և ավելի րոպեյից հետո, իսկ պապավերինը ոչ միայն վերացնում է վազոպրեսսինից առաջացած արյան հոսքի դանդաղեցումը, այլև առաջացնում նրա արտահայտված ուժեղացում:

Ինչպես նորմալ այնպես և ռեգիոնար արյան շրջանառության խանգարման պայմաններում պապավերինի նկատմամբ անոթները տեղային ռեակցիայի ուսումնասիրության արդյունքները բացահայտում են արյան շրջանառության ֆիզիոլոգիական որոշ մեխանիզմներ և կարող են ձեռք բերել մեծ նշանակություն արյան շրջանառության դեղորայքային խթանման պրոբլեմայի մշակման հարցում:

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

¹ М. С. Мартикян, О структурных особенностях сосудов яичника у кроликов. Труды Ереванского института усовершенствования врачей, вып. 3, стр. 541, 1967.

