

ISSN 0002-3078

АЗƏРБАЙҶАН ССР ЕЛМЛƏР АКАДЕМИЈАСЫ
АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

МƏ'РУЗƏЛƏР ДОКЛАДЫ

ТОМ XXXV ПЕЛƏД

1979.1

УВАЖАЕМЫИ ЧИТАТЕЛЬ!

Просмотрев издание,
укажите номер
читательского билета
и код категории
читателя.

(Пример: 325/3Е1)

Писать разборчиво

Шифр П-138

Имя *Доктор А. Н.*

Фамилия *Алиев*

Год издания и № *1. 1979*

АЗƏРБАЙҘАН ССР ЕЛМЛƏР АКАДЕМИЈАСЫ
АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

МƏ'РУЗƏЛƏР ДОКЛАДЫ

ТОМ XXXV ЧИЛД

1

„ЕЛМ“ НƏШРИЈАТЫ—ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭЛМ“
БАКЫ—1979—БАКУ



Э. Н. МАХМУДОВ

**ПРИНЦИП ОПТИМАЛЬНОСТИ ДЛЯ МНОГОГРАННЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ И ЛИНЕЙНЫЕ ЗАДАЧИ
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ЛИНЕЙНЫХ
МНОГООБРАЗИЯХ**

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. И. Гусейновым)

В данной статье рассматривается линейная задача оптимального управления на линейных многообразиях. Эта задача сводится к задачам оптимального управления с дифференциальным включением; предполагается, что читатель знаком с работой [3], из которой взяты основные определения и терминология.

В статье дается вычисление локально сопряженного отображения—теорема 5, формулируется необходимое условие экстремума—теорема 6, исследуется сопряженное уравнение. Однако главным результатом статьи является теорема о конечности переключений—теорема 8.

Пусть задано конечномерное евклидово пространство E_m . Рассмотрим задачу

$$\varphi_0(x(1)) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$\varphi(x(1)) \leq 0, \quad (2)$$

$$x = Ax + Bu, \quad x(0) = x_0 \in L, \quad (3)$$

$$x(t) \in L \subseteq E_n, \quad t \in [0, 1], \quad (4)$$

$$u(t) \in U, \quad t \in [0, 1]. \quad (5)$$

Здесь $\varphi_0(x)$ —гладкая функция: $\varphi_0: E_n \rightarrow E_1$, $\varphi(x)$ —непрерывная выпуклая функция: $\varphi: E_n \rightarrow E_1$; $x(t)$ —абсолютно-непрерывная функция: $x(\cdot): [0, 1] \rightarrow E_n$; $u(t)$ —допустимое управление из класса кусочно-непрерывных функций: $u(\cdot): [0, 1] \rightarrow U$. Пусть в точках разрыва $\tau \in [0, 1]$, $u(\tau) = u(\tau - 0)$. U —допустимая область управлений в пространстве E_r :

$$U = \{u: Wu \leq p\}.$$

U —вообще говоря, многогранное множество в E_r , W —прямоугольная матрица $m \times r$, p — m -мерный вектор-столбец, L —линейное многообразие:

$$L = \{x: Cx - d = 0\},$$

C —прямоугольная матрица $k \times n$, d — k -мерный вектор-столбец. В (3) A, B —матрицы соответственно размеров $m \times n$ и $n \times r$.

Скажем, что пара $(\tilde{x}(t), \tilde{u}(t))$ является решением задачи (1)—(5), если после подстановки $\tilde{u}(t)$ в (3) соответствующее решение $\tilde{x}(t)$ в уравнении (3) минимизирует $\varphi_0(x(1))$ и удовлетворяет ограничению (2).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Г. Б. Абдуллаев (главный редактор), М. Т. Абасов,
Ал. А. Ализаде, Г. А. Алнев, В. Р. Волобуев, Г. Г. Гасанов,
Дж. Б. Гулиев, Н. А. Гулиев, А. И. Гусейнов, М. З. Джафаров,
Ю. М. Сеидов (зам. главного редактора), Г. Ф. Султанов,
А. С. Сумбатзаде, М. А. Топчибашев, Т. Н. Шахтахинский,
Г. Г. Зейналов (ответств. секретарь).

Для того чтобы траектория $x(t)$, $t \in [0, 1]$ уравнения (3), соответствующая управлению $u(t)$, целиком легла на L , необходимо и достаточно, чтобы выполнялось равенство

$$C(Ax(t) + Bu(t)) = 0, \quad t \in [0, 1].$$

Для того чтобы задачу (1)–(5) привести к задаче с дифференциальным включением, определим многозначное отображение $b(x): E_n \rightarrow E_r$:

$$b(x) = \{u \in U : C(Ax + Bu) = 0\},$$

$b(x)$ — многогранное. Тогда многозначное отображение $a(x)$

$$a(x) = \{y \in E_n : y = Ax + Bu, u \in b(x)\}$$

является многогранным множеством. При этом

$$\text{gr } a = \{(x, y) : y \in a(x)\} = \{(x, Ax + Bu) : u \in b(x)\},$$

(x, y) означает пару векторов x и y , $\langle x, y \rangle$ — их скалярное произведение.

Очевидно, что $\text{dom } a = \text{dom } b$ ($\text{dom } a = \{x : a(x) \neq \emptyset\}$) и если $a(x)$ ограничено, то ограничено и $b(x)$, и наоборот.

Теперь вместо задачи (1)–(5) рассмотрим задачу

$$\varphi_0(x(1)) \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$\varphi(x(1)) \leq 0, \quad (7)$$

$$x \in a(x), \quad x(0) = x_0. \quad (8)$$

Далее, будем говорить о решении $x(t)$, $t \in [0, 1]$ задачи (6)–(8). Положим

$$L(x) = \{u \in E_r : C(Ax + Bu) = 0\}, \quad x \in E_n,$$

$$L(u) = \{x \in E_n : C(Ax + Bu) = 0\}, \quad u \in U,$$

$L(x)$, $L(u)$ — линейные многообразия соответственно в E_r и E_n . Ясно, что $\text{dom } b = \{x \in E_n : U \cap L(x) \neq \emptyset\}$ имеет вид

$$\text{dom } b = \bigcup_{u \in U} L(u).$$

Теорема 1. $a(x)$ ограничено тогда и только тогда, когда

$$W^* E_m^+ + B^* C^* E_n = B^* E_n.$$

При этом $x \in \text{dom } a$ тогда и только тогда, когда

$$\langle \lambda_1, p \rangle \leq \langle \lambda_2, CAx \rangle, \quad \forall \lambda = (\lambda_1, \lambda_2) \in N_1 = \\ = \{\lambda \in E_{m+k} : W^* \lambda_1 + B^* C^* \lambda_2 = 0, \lambda_1 \geq 0\}.$$

Здесь E_m^+ — положительный ортант пространства E_m .

По теореме представимости многогранных множеств (см., напр., [2]),

$$U = M + Q,$$

где M — выпуклый замкнутый многогранник, $Q = \{u : Wu \leq 0\}$ — многогранный конус.

Справедлива

Теорема 2. Для того чтобы многогранное отображение $a(x)$ было ограниченным, необходимо и достаточно, чтобы $Q \cap L(0)$ содержал только нулевой элемент.

$L(0)$ — направляющее подпространство. В дальнейшем будем считать, что отображение $a(x)$ ограниченное и $\text{dom } a = \bigcup_{u \in U} L(u)$ —

достаточно широкая область в E_n . Всюду будем предполагать, что $\text{rang } C = k$, т. е. $\dim L = n - k$.

Пусть v_i — i -я строка матрицы W . Если J — какое-либо подмножество из $I^0 = \{1, 2, \dots, m\}$, то W_J — подматрица матрицы, состоящая из строк v_i , $i \in J$. Аналогично для p_i и p_J . Тогда $u \in b(x)$ является вершиной, если $\text{rang} \begin{pmatrix} W_J \\ CB \end{pmatrix} = r$ и

$$\begin{cases} W_J u = p_J, \\ CAx + CBu = 0. \end{cases}$$

Такие точки-вершины обозначим через $u^j(x)$.

Определение. Вершину $u^j(x) \in a(x)$ назовем невырожденной, если для $u^j(x) \in b(x)$

$$\begin{cases} W_J u^j(x) < p_J, \\ CBu^j(x) = -CAx, \end{cases} \quad (9)$$

где $J = I^0 \setminus J$ и J состоит ровно из $r - k$ индексов из I^0 .

Множество точек D_J , удовлетворяющих (9), назовем областью невырожденности $a(x)$. $a(x)$ не вырождено, если все вершины в точке x не вырождены. Можно доказать, что на D количество вершин не меняется и определяются они одними и теми же индексными множествами. Пусть вершину l ($l = 1, 2, \dots, q$) определяет множество J_l . Тогда ясно, что требование невырожденности $u^{J_l}(x) \equiv u^l(x)$ эквивалентно требованиям о линейной независимости векторов:

$$(CB)_{j_1}, (CB)_{j_2}, \dots, (CB)_{j_k}, v_{i_1}^l, v_{i_2}^l, \dots, v_{i_{r-k}}^l, \\ i_j \in J_l, \quad j = 1, 2, \dots, r - k, \quad (10)$$

где $(CB)_{j_i}$ — i -я строка матрицы CB . Условие (10) назовем условием однозначности, D — областью однозначности.

Теорема 3. $a(x)$ — не вырождено и ограничено во всем E_n , а значит $D = E_n$ тогда и только тогда, когда $b(0)$ — не вырождено и имеет место представление

$$b(x) = C_+ x + b(0)$$

для некоторой матрицы C_+ .

Посредством леммы Фаркаша (см., напр., [4]) нетрудно вычислить в точке

$z = (x, y) \in \text{gr } a$ сопряженный конус $K_a^*(z)$:

$$K_a^*(z) = \{(x^*, y^*) : x^* = -A^* y^* + A^* C^* \lambda, \\ B^* y^* = B^* C^* \lambda + W_J^* \gamma_J, \gamma_J \geq 0\}. \quad (11)$$

Если $y = y^{J_l}(x)$, то из (11) получим

$$(B^* C^* W_{J_l}^*) \begin{pmatrix} \lambda \\ \gamma_{J_l} \end{pmatrix} = B^* y^*. \quad (12)$$

Теперь после блочного разложения квадратичной $(r \times r)$ -матрицы $(B^* C^* W_{J_l}^*)$ из формулы Фробениуса [1], из условия (10) и из того, что означает покомпонентное равенство можно однозначно определить λ :

$$\lambda = \lambda_{J_l} = P_{J_l} B^* y^*.$$

Здесь P_{J_l} — некоторая матрица с размерностью $k \times r$ (по формуле Фробениуса она конкретно вычисляется).

Тогда из (11) имеем, что

$$x^* = -(A^* + H_{j_l}^*) y^*,$$

где $H_{j_l}^* = -A^* C^* P_{j_l} B^*$ — матрица $n \times n$.

Пусть $I(y^*)$ — множество тех индексов вершин l , на которых достигается минимум $\langle Bu, y^* \rangle$ по $u \in b(x)$. Тогда нетрудно доказать, что все векторы $(A^* + H_{j_l}^*) y^*$, $l \in I(y^*)$ совпадают между собой и, следовательно, формула

$$g(y^*) = -(A^* + H_{j_l}^*) y^*, \quad l \in I(y^*)$$

однозначно определяет вектор $g(y^*)$ по y^* при всех $x \in D$.

Рассмотрим дифференциальное уравнение

$$\frac{d}{dt} y^*(t) = g(y^*(t)). \quad (13)$$

$g(y^*)$ удовлетворяет условию Липшица, поэтому при заданном $y^*(0) = y^*$ (13) имеет единственное решение.

Имеет место

Теорема 4. Существует такая вершина с номером l , что решение уравнения

$$\frac{d}{dt} y^*(t) = -(A^* + H_l^*) y^*(t), \quad y^*(0) = y^*, \quad l \in I(y^*), \quad H_{j_l}^* = H_l^*$$

совпадает с решением уравнения (13) с начальным условием $y^*(0) = y^*$ при всех достаточно малых t .

Теперь охарактеризуем решение задачи (6)–(8). Согласно теореме 3.4 из [3] вычислим $a^*(y^*; (x, y))$.

Теорема 5. Пусть $z = (x, y) \in \text{gr } a$, где $a(x) = Ax + Bb(x)$ — многозначное отображение. Тогда

$$a^*(y^*; (x, y)) = \{x^* = -A^* y^* + A^* C^* \lambda, \quad \lambda \in E_n, \quad B^* y^* = B^* C^* \lambda + W^* \gamma, \quad \gamma \geq 0, \quad (\gamma, Wu - p) = 0\}.$$

При этом $a^*(y^*; (x, y)) \neq \emptyset$ тогда и только тогда, когда $u \in b(x, y^*)$, где

$$b(x, y) = \{u \in b(x) : \langle Bu, y^* \rangle = W_b(x, y^*)\}.$$

Здесь

$$W_b(x, y^*) = \min_u \{\langle Bu, y^* \rangle : u \in b(x)\}.$$

С учетом конкретных выражений $a^*(y^*; (x, y))$ и теоремы 3.4 из [3] получим

Теорема 6. Пусть для многогранного отображения $a(x)$ выполняется условие теоремы 1 в достаточно широкой области $\text{dom } a = \bigcup_{u \in U} L(u)$ и $\varphi(x)$ — выпуклая функция. Пусть $\bar{x}(t)$ — оптимальная траектория, решающая вышеставленную задачу (6)–(8), и при этом $\bar{x}(t) \in \text{int } \text{dom } a$, $t \in [0, 1]$. Тогда существуют такие одновременно не равные нулю $\lambda_0 \leq 0$, вектор $x_0^* \in T_0(\bar{x}(1))$ и функция $x^*(t)$, что:

$$a) \lambda_0 \varphi_0(\bar{x}(1)) + x_0^* + x^*(1) = 0;$$

$$b) -\dot{x}^*(t) = A^* x^*(t) - A^* C^* \lambda(t), \quad B^* x^*(t) = B^* C^* \lambda(t) + W^* \gamma(t),$$

$$\gamma(t) \geq 0, \quad (\gamma(t), W \bar{u}(t) - p) = 0, \quad \bar{u}(t) \in b(\bar{x}(t), x^*(t)).$$

При этом $T_0(x)$ — конус касательных направлений к множеству $\{x : \varphi(x) \leq 0\}$ в точке x .

Теорема 7. Пусть оптимальная траектория $\bar{x}(t)$ на отрезке $t \in [t', t'']$ целиком лежит в области однозначности D многогранника $a(x)$. Тогда условие б) теоремы 6 может быть переписано в виде

$$\dot{\bar{x}}^*(t) = g(x^*(t)),$$

$$\langle B \bar{u}(t), x^*(t) \rangle = \min_u \{\langle Bu, x^*(t) \rangle : u \in b(\bar{x}(t))\}.$$

Пусть векторы \hat{w}_{il} , $l = 1, 2, \dots, q$ ($i = 1, 2, \dots, r$) — одномерные грани-ребра, связанные с каждой вершиной с номером l .

Требуем выполнения условий

$$\text{rang} [B \hat{w}_{il}, (A + H_l) B \hat{w}_{il}, (A + H_l)^2 B \hat{w}_{il}, \dots, (A + H_l)^{n-1} B \hat{w}_{il}] = n \quad (14)$$

при каждом l и всех $i = 1, 2, \dots, r$.

Теорема 8. Пусть оптимальная траектория $\bar{x}(t)$ на отрезке $t \in [t', t''] \subseteq [0, 1]$ целиком лежит в связной области однозначности D . Далее, пусть $x^*(t)$ — нетривиальное решение сопряженной системы и удовлетворяется условию общности положения (14). Тогда отрезок времени $[t', t'']$ может быть разбит на конечное число полуинтервалов $[\theta_j, \theta_{j+1})$, $j = 0, 1, \dots, N-1$, $\theta_0 = t'$, $\theta_{j+1} < \theta_{j+2}$, $\theta_N = t''$, на каждом из которых оптимальная траектория $\bar{x}(t)$ удовлетворяет уравнению

$$\dot{\bar{x}}(t) = A \bar{x}(t) + B \bar{u}(t), \quad \bar{u}(t) = u^i(\bar{x}(t)),$$

а $x^*(t)$ удовлетворяет уравнению

$$\dot{x}^*(t) = -(A^* + H_l^*) x^*(t),$$

следовательно, значениями оптимального управления $\bar{u}(t)$ являются лишь вершины многогранника $b(\bar{x}(t))$.

Точку разрыва $\bar{u}(t)$ назовем точкой переключения, т. е. если $\bar{u}(\tau-0) = u^i(\bar{x}(\tau))$, $\bar{u}(\tau+0) = u^j(\bar{x}(\tau))$, ($i \neq j$), то скажем, что в момент времени $t = \tau \in [t', t'']$ из вершины $u^i(\bar{x}(\tau))$ в вершину $u^j(\bar{x}(\tau))$ происходит переключение и потому эта теорема характеризуется как теорема о конечности числа переключений.

З а м е ч а н и е. Если область управления U — многогранник и $L = E_n$, то из теоремы 8 следует обычная теорема о конечности числа переключений для линейных задач оптимального управления (см. [5]), так как тогда (14) будет обычным условием общности положения и вершины $u^i(\bar{x}(t)) = \text{const}$ и потому оптимальное управление $\bar{u}(t)$ будет кусочно-постоянным.

Л е м м а. Пусть $x(t)$ является решением дифференциального включения (8) и на отрезке $[t', t'']$ целиком лежит в области невырожденности D . Пусть, кроме того, $x^*(t)$ — решение сопряженного уравнения и $u(t)$ ($u(t) \in b(x(t))$) — кусочно-дифференцируема. Тогда функция

$$W(t) = W_a(x(t), x^*(t))$$

переменной t постоянна на всем отрезке времени $[t', t'']$.

1. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. М., Наука, 1967. 2. Голдман А. Дж. В сб.: "Линейные неравенства и смежные вопросы". М., Изд-во иностр. лит., 1969, 162—171. 3. Пшеничный Б. Н. "Кибернетика", 1967, № 6, 60—73. 4. Пшеничный Б. Н., Данилин Ю. М. Численные методы в экстремальных задачах. М., Наука, 1975. 5. Понтрягин Л. С., Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Мищенко Е. Ф. Математическая теория оптимальных процессов. М., Наука, 1969.

Институт кибернетики АН Азерб. ССР

Поступило 27. IV 1978

Ә. Н. Махмудов

ЧОХУЗЛУ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ДАХИЛЕТМЭЛЭР ВӘ ХӘТТИ ЧОХУЗЛУЛӘРДӘ ХӘТТИ ОПТИМАЛ ИДАРӘЕТМӘ МӘСӘЛӘЛӘРИ

Мәгаләдә хәтти чохузлүләрдә хәтти оптимал идарәетмә мәсәләләри нәзәрән кечирилир. Бунун үчүн белә мәсәләләр чохузлу дифференциал дахилетмәләр һалы үчүн оптимал идарәетмә мәсәләләринә кәтирилир вә онларын хассәләрин өйрәнилир. Мәгаләдә кечидләрин саһынын сонлудугу теоремин әсас йер тутур.

E. N. Makhmudov

POLYHEDRAL DIFFERENTIAL INCLUSIONS AND LINEAR PROBLEMS OF OPTIMAL CONTROL ON LINEAR MANIFOLDS

In this paper it is considered linear problem of optimal control on linear manifolds. This problem reduced to the problems of optimal control with polyhedral differential inclusions and therefore there are investigated properties of polyhedral differential inclusions, computed locally joint mapping; formulated necessary condition of extremum.

The main result of the paper is a theorem on the finiteness of number of switchings.

УДК 517.984

МАТЕМАТИКА

Член-корр. АН Азерб. ССР Ф. Г. МАКСУДОВ, М. М. ГУСЕЙНОВ КВАДРАТИЧНЫЙ ПУЧОК ОПЕРАТОРОВ ПРИ НАЛИЧИИ НЕПРЕРЫВНОГО СПЕКТРА

В работе [2] исследована задача о разложении по обобщенным собственным и присоединенным векторам (о. с. п. в.), отвечающим обобщенному собственному значению (о. с. з.) линейного пучка, а также получена формула для вычисления главной части резольвенты этого пучка в окрестности спектральной особенности в сепарабельном гильбертовом пространстве. Результаты этой работы обобщены на полиномиальные пучки в работе [3]. Нами рассматривается аналогичная задача для квадратичного пучка в банаховом пространстве B_0 , обладающем свойством аппроксимации.

Обозначим через $D(C)$ область определения замкнутого оператора C и предположим, что $L(C)$ всюду плотна в B_0 , а область значений совпадает с B_0 . Для любого $x \in D(C)$ считаем, что $\|Cx\|_0 \geq \|x\|_0$, где $\|\cdot\|_0$ обозначает норму в B_0 . Вводя в $D(C)$ норму $\|Cx\|_0 + \|x\|_1$, превратим ее в банахово пространство B_1 . Оператор C как оператор из B_1 в B_0 , очевидно, является изометрическим. Обозначим его через U_1 .

Далее, введем в B_0 норму, полагая $\|C^{-1}x\|_0 = \|x\|_2$. Относительно этой нормы пространство B_0 , вообще говоря, неполное. Пополнив его, получим банахово пространство B_2 . Таким образом, по построению $B_1 \subset B_0 \subset B_2$ и $\|x\|_2 \leq \|x\|_0 \leq \|x\|_1$ для $x \in B_1$, а для сопряженных пространств $B_2^* \subset B_0^* \subset B_1^*$. Учитывая, что $\|C^{-1}x\|_0 = \|x\|_2$ для $x \in B$, продолжив оператор C^{-1} по непрерывности на все B_2 , получим изотермический оператор U_2^{-1} , действующий из B_2 в B_0 .

В банаховом пространстве B_0 рассмотрим квадратичный операторный пучок вида $P(\lambda) = A^2 - \lambda^2 I + \lambda A_1 + A_2$, где A является H -оператором, A_1 и A_2 суть соответственно сужения на B_0 некоторых ограниченных операторов \hat{A}_1 и \hat{A}_2 , действующих из B_2 в B_1 . Предварительно исследуется спектр этого пучка, а также рассматривается вопрос об аналитическом продолжении резольвенты через непрерывный спектр. Заметим, что аналогичные задачи в гильбертовом пространстве для некоторых дифференциальных операторов подробно изучены в работе [4].

Обозначим резольвенты квадратичных пучков $P(\lambda)$ и $P_0(\lambda) = A^2 - \lambda^2 I$, действующих в B_0 , через $K_\lambda(P) = P^{-1}(\lambda)$ и $R_\lambda(P_0) = P_0^{-1}(\lambda)$ соответственно. Через $K_\lambda^{(1)}(P)$ и $R_\lambda^{(1)}(P_0)$ обозначим эти же операторы, но рассматриваемые уже как действующие из B_1 в B_2 .

Исследования проводятся при следующих предположениях:

а) пучок $P_0(\lambda)$ имеет непрерывный спектр, совпадающий с отрезком $[\alpha, \beta]$;

б) операторы $P_i(\lambda) = R_\lambda(P_0)A_i$ ($i = 1, 2$) вполне непрерывны в B_0 ;

в) оператор-функции $R_j(\lambda) = \lambda^j U_2^{-1} K_\lambda^{(j)}(P_0) \hat{A}_{2-j} U_2$ ($j = 0, 1$), действующие в пространстве B_0 , имеют аналитическое продолжение

$R_j^\pm(\lambda) = \lambda^j U_2^{-1} R_\lambda^\pm(P_0) \hat{A}_{2-j} U_2$ из области $\Omega^+ = \{\lambda | \text{Im } \lambda > 0\}$ [$\Omega^- = \{\lambda | \text{Im } \lambda < 0\}$] в более широкую область Ω [Ω^*] так, что $(\alpha, \beta) \in \Omega$ [Ω^*], причем значения $R_j^\pm(\lambda) \in \sigma_\infty(B_0)$ (здесь $R_\lambda^\pm(P_0)$ [$K_\lambda^\pm(P_0)$] обозначает аналитическое продолжение оператора $R_\lambda^{(j)}(P_0)$ через спектр);

г) оператор-функция $S_\lambda = U_2^{-1} R_\lambda^{(1)}(P_0) U_1^{-1}$ имеет аналитическое продолжение $S_\lambda^\pm = U_2^{-1} R_\lambda^\pm(P_0) U_1^{-1}$ [$S_\lambda^- = U_2^{-1} R_\lambda^-(P_0) U_1^{-1}$] из области Ω^+ [Ω^-] в область Ω [Ω^*] и значения $S_\lambda^\pm \in \sigma_\infty(B_0)$;

д) цепочка о. с. п. в., отвечающих о. с. з. квадратичного пучка $P(\lambda)$, образует каноническую систему (см. [1]).

Имеет место следующая

Теорема 1. Пусть для операторов $R_j^+(\lambda)$ [$R_j^-(\lambda)$] ($j = 0, 1$),

$$\lim_{\substack{\lambda \rightarrow \infty \\ \lambda \in \Omega^+}} \|R_j^+(\lambda)\| = 0, \quad \lim_{\substack{\lambda \rightarrow \infty \\ \lambda \in \Omega^-}} \|R_j^-(\lambda)\| = 0.$$

Тогда оператор-функция $G_\lambda = U_2^{-1} K_\lambda^{(1)}(P) U_1^{-1}$ имеет конечно-мерное продолжение $G_\lambda^\pm = U_2^{-1} R_\lambda^\pm(P) U_1^{-1}$ [$G_\lambda^- = U_2^{-1} R_\lambda^-(P) U_1^{-1}$] из области Ω^+ [Ω^-] в область Ω [Ω^*], а оператор $R_\lambda^\pm(P)$ [$R_\lambda^\pm(P)$] является аналитическим продолжением оператора $R_\lambda^{(j)}(P)$ из области Ω^+ [Ω^-] в Ω [Ω^*].

Заметим, что все утверждения будем доказывать для оператора G_λ^+ , так как для G_λ^- доказательство проводится аналогичным образом.

Из теоремы 1 следует, что если $\mu \in \Omega$ — полюс порядка оператор-функции G_λ^+ , т. е. ряд Лорана имеет вид

$$G_\lambda^+ = \frac{K_1}{(\lambda - \mu)^m} + \frac{K_2}{(\lambda - \mu)^{m-1}} + \dots + \frac{K_m}{\lambda - \mu} + G_\mu(\lambda), \quad (1)$$

то операторы K_1, K_2, \dots, K_m — конечномерные в B_0 .

Здесь $G_\mu(\lambda)$ — регулярная часть в разложении Лорана.

Теорема 2. Отрезок $[\alpha, \beta]$, за исключением, быть может, множества $M \cap (\alpha, \beta)$ принадлежит непрерывному спектру квадратичного пучка $P(\lambda)$.

Через M обозначено множество полюсов аналитической оператор-функции G_λ^+ .

Перепишем разложение (1) в виде

$$R_\lambda^+(P) f = \frac{W_1 f}{(\lambda - \mu)^m} + \frac{W_2 f}{(\lambda - \mu)^{m-1}} + \dots + \frac{W_m f}{\lambda - \mu} + T_\mu(\lambda) f, \quad (2)$$

где $W_j = U_2 K_j U_1$ ($j = \overline{1, m}$), $f \in B_1$, $T_\mu(\lambda) = U_2 G_\mu(\lambda) U_1$.

Определение 1. Полюс оператор-функции G_λ^+ , лежащий на непрерывном спектре, для которого в разложении (2) все $W_j f \in B_2$, $W_j f \in B_0$, будем называть спектральной особенностью квадратичного пучка $P(\lambda)$.

Из этого определения в сочетании с теоремой 1 вытекают следующие следствия.

Следствие 1. Если $\mu \in M \cap (\alpha, \beta)$ и $B^{(1)}$ — области значений операторов W_j не имеют кроме нуля никаких общих элементов с B_0 , то μ является спектральной особенностью квадратичного пучка $P(\lambda)$.

Следствие 2. Пусть $\mu \in M$ и операторы W_j ($j = \overline{1, m}$) ограничены в банаховом пространстве B_0 . Тогда μ является собственным значением квадратичного пучка $P(\lambda)$.

Определение 2. Пусть $\mu \in M$ и векторы $\varphi_j \in B_2$ ($j = \overline{1, m}$) удовлетворяют уравнениям

$$\varphi_1 = -R_\lambda^+(P_0)|_{\lambda=\mu} \{ \mu \hat{A}_1 + \hat{A}_2 \} \varphi_1, \\ \varphi_j = - \sum_{\kappa=1}^j \frac{1}{(\kappa-1)!} \frac{d^{\kappa-1}}{d\lambda^{\kappa-1}} R_\lambda^+(P_0) \Big|_{\lambda=\mu} \{ (\mu \hat{A}_1 + \hat{A}_2) \varphi_{j+1-\kappa} + \hat{A}_1 \varphi_{j-\kappa} \},$$

а уравнение

$$\varphi_{m+1} = - \sum_{\kappa=1}^{m+1} \frac{1}{(\kappa-1)!} \frac{d^{\kappa-1}}{d\lambda^{\kappa-1}} R_\lambda^+(P_0) \Big|_{\lambda=\mu} \{ (\mu \hat{A}_1 + \hat{A}_2) \varphi_{m+2-\kappa} + \hat{A}_1 \varphi_{m+1-\kappa} \}$$

не имеет решения из B_2 . Тогда система векторов $\{\varphi_j\}_{j=1}^m$ из B_2 назовем о. с. п. в. квадратичного пучка $P(\lambda)$, отвечающими о. с. з. μ . В силу условия г) оператор $R_\lambda^+(P_0) = U_2 S_\lambda^+ U_1$ является вполне непрерывным из B_1 в B_2 при $\lambda \in \Omega$. Очевидно, что если $\mu \in \Omega^+$, то о. с. п. в. совпадает с обычными с. п. в.

Аналогичным образом можно определить цепочку о. с. п. в. для сопряженного пучка $[P(\lambda)]^*$.

Приведем систему уравнений, из которых определяется цепочка для $[P(\lambda)]^*$:

$$\psi_1 = -[K_\lambda^-(P_0)]_{\lambda=\mu}^* \{ \mu \hat{A}_1^* + \hat{A}_2^* \} \psi_1, \\ \psi_p = - \sum_{\kappa=1}^p \frac{1}{(\kappa-1)!} \left[\frac{d^{\kappa-1}}{d\lambda^{\kappa-1}} R_\lambda^-(P_0) \right]_{\lambda=\mu}^* \{ (\mu \hat{A}_1^* + \hat{A}_2^*) \psi_{p+1-\kappa} + \hat{A}_1^* \psi_{p-\kappa} \}.$$

Здесь $\{\psi_p\}_{p=1}^m \in B_1^*$, а оператор $K_\lambda^-(P_0) = U_2 S_\lambda^- U_1$ в силу предположения г) является вполне непрерывным из B_1 в B_2 и является аналитическим продолжением оператор-функции $R_\lambda^{(j)}(P_0)$ из области Ω^- в Ω^* .

Теорема 3. Цепочка о. с. п. в. квадратичного пучка $P(\lambda)$ линейно независима.

Обозначим через $\langle x, f \rangle$ значение функционала f на элементе x и введем следующие обозначения:

$$\langle \varphi_j, \psi_\kappa \rangle = \beta_{j,\kappa}, \quad \langle 2\mu\varphi_j - \hat{A}_1 \varphi_j + \varphi_{j-1}, \psi_\kappa \rangle = \beta_{j,\kappa}^{j-1}.$$

Имеет место следующая теорема о главной части резольвенты в окрестности спектральной особенности.

Теорема 4. Операторы W_j ($j = \overline{1, m}$) из разложения (2) определяются по формуле

$$W_\kappa f = \sum_{j=1}^{\kappa} \alpha_j \sum_{s=1}^{\kappa+1-j} \langle U_1 f, U_1^{s-1} \psi_{\kappa+2-j-s} \rangle \varphi_s, \quad (\kappa = \overline{1, m},$$

где $f \in B_1$, а числа α_j выражаются через $\beta_{j,k}^{m-1}$ и $\beta_{j,k}$ формулами

$$\alpha_1 = (-\beta_{m,1}^{m-1}), \quad \alpha_2 = (\beta_{m,1}^{m-1})^{-2} (\beta_{m,2}^{m-1} + \beta_{m,1}),$$

$$\alpha_k = (-\beta_{m,k}^{m-1})^{-k} \begin{vmatrix} \beta_{m,2}^{m-1} + \beta_{m,1} & \beta_{m,1}^{m-1} & \dots & 0 & 0 \\ \beta_{m,3}^{m-1} + \beta_{m,2} & \beta_{m,2}^{m-1} + \beta_{m,1} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \beta_{m,m-k}^{m-1} + \beta_{m,m-k+1} & \dots & \beta_{m,2}^{m-1} + \beta_{m,1} & \beta_{m,1}^{m-1} \\ \beta_{m,m-k+1} + \beta_{m,m-k} & \dots & \beta_{m,2}^{m-1} + \beta_{m,1} & \dots \end{vmatrix}$$

В заключение приведем теорему о разложении.

Теорема 4. Пусть $f_i \in B_1$, $f_1 \in D(P(\lambda) + \lambda^2 I)^3$, $(P(\lambda) + \lambda^2 I) f_i \in B_1$ ($i = 0, 1$), выполнены все условия из теоремы 1 и

$$\lim_{\substack{|\lambda| \rightarrow \infty \\ \lambda \in \mathbb{R}}} \|U_2^{-1} R_\lambda^+(P_0) U_1^{-1}\| = 0, \quad \lim_{\substack{|\lambda| \rightarrow \infty \\ \lambda \in \mathbb{R}^*}} \|U_2^{-1} R_\lambda^-(P_0) U_1^{-1}\| = 0.$$

Тогда имеют место разложения

$$U_2^{-1} f_0 = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} (G_\lambda^+ - G_\lambda^-) U_1 (\lambda f_0 + f_1) d\lambda - \sum_{j=1}^m \text{Res } G_\lambda [U_1 (\lambda f_0 + f_1)]_{\lambda=\lambda_j} - \sum_{j=1}^p \text{Res } G_\lambda^- [U_1 (\lambda f_0 + f_1)]_{\lambda=\mu_j}$$

и

$$U_2^{-1} (f_1 + A_1 f_0) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} \lambda (G_\lambda^+ - G_\lambda^-) U_1 (\lambda f_0 + f_1) d\lambda - \sum_{j=1}^m \text{Res } \lambda G_\lambda [U_1 (\lambda f_0 + f_1)]_{\lambda=\lambda_j} - \sum_{j=1}^p \text{Res } \lambda G_\lambda^- [U_1 (\lambda f_0 + f_1)]_{\lambda=\mu_j}$$

Здесь λ_j ($j = \overline{1, m}$) суть обычные собственные значения $P(\lambda)$ с $\text{Im } \lambda_j \neq 0$, а через Γ обозначен контур, который состоит из отрезков вещественной оси и из полуокружностей достаточно малых радиусов с центрами в точках μ_1^+, \dots, μ_m^+ в верхней полуплоскости и с центрами в точках $\mu_{p+1}^-, \dots, \mu_m^-$ в нижней.

Заметим, что точки μ^+ (μ^-) являются полюсами оператор-функции G_λ^+ (G_λ^-) и нумерация проведена так, что $\mu_1^+ = \mu_1^-, \dots, \mu_p^+ = \mu_p^-$ ($p \leq \kappa_1, p \leq \kappa_2$).

Литература

1. Келдыш М. В. УМН, XXV, вып. 4, 1971, 15—41.
2. Гасымов М. Г., Максудов Ф. Г. В сб.: "Функциональный анализ и его приложения" 6, вып. 3, 1972, 16—24.
3. Максудов Ф. Г. Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-техн. и матем. наук, № 5, 1974, 35—40.
4. Дюженкова Л. Н. Тр. семинара по функциональному анализу ИМ АН Укр. ССР, вып. 2, Киев, 1970, 136—204.

Институт математики и математики
АН Азерб. ССР

Поступило 10. VII 1978

Ф. Г. Максудов, М. М. Гусейнов

КЭСИЛМЭЗ СПЕКТРЭ МАЛИК КВАДРАТИК ОПЕРАТОРЛАР ДЭСТЭСИ

Мәгаләдә квадратик дәстәнин үмүмләшиниш мәхсуси гижмәтләринә уңун үмүмләшиниш мәхсуси вә гошиа векторлара кәрә икигәт әрйлышы үчүн дәстур вә бу дәстәнин резолвентасынын спектрал мәхсуси]әт әтрафында Лоран сырасына әрйлышынын баш һиссәсини һесабламаг үчүн дәстур алынмышдыр.

F. G. Maksudov, M. M. Guseinov

THE QUADRATIC BUNDLE OF OPERATORS INVOLVING THE CONTINUOUS SPECTRUM

In the paper there are obtained formulae of the reiterated expansion along generalized eigen vectors responding to a generalized eigen-value of the quadratic bundle as well as formulae for the calculation of the Laurent expansion main part at the vicinity of the resolvent spectral singularity of this bundle.

Ю. А. КУСТОВ

ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛОВ ПО ОТРЕЗКУ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ПРЯМОЙ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. И. Гусейновым)

В задачах гидродинамики, аэродинамики, теории упругости и теории фильтрации возникает необходимость приближенного вычисления интегралов вида

$$I_{\alpha, \beta}(f, x) = \frac{1}{\pi (1-x)^\alpha (1+x)^\beta} \int_{-1}^1 \frac{(1-t)^\alpha (1+t)^\beta f(t)}{t-x} dt, \quad x \in (-1, 1), \quad (1)$$

где $\alpha, \beta > -1$, интеграл понимается в смысле главного значения по Коши. Квадратурные формулы для подобных интегралов даны в работах Мультиппа, А. И. Каландия, Г. Н. Пыхтева, А. А. Корнейчука, В. В. Иванова, Б. И. Мусаева, Д. Г. Саникидзе, М. А. Шешко, А. Эллотта и др. Данная статья посвящена построению и обоснованию квадратурных формул для интегралов вида (1), когда $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$ и плотность $f(x) \in H_\delta = \{f \in C_{[-1,1]} : \omega(f, \xi) = O(\xi^\delta), 0 < \delta < 1\}$, где $\omega(f, \xi)$ — обычный модуль непрерывности.

1. Пусть $\hat{P}_n^{(\alpha, \beta)}(x)$ — ортонормированная на отрезке $[-1, 1]$ последовательность многочленов Якоби с весом

$$\rho(x) = (1-x)^\alpha (1+x)^\beta, \quad \alpha, \beta > -1.$$

Если

$$S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x) = \sum_{k=0}^n a_k \hat{P}_k^{(\alpha, \beta)}(x) \quad (2)$$

отрезок ряда Фурье функции $f(x)$ относительно этих многочленов, где

$$a_k = \int_{-1}^1 \rho(t) \hat{P}_k^{(\alpha, \beta)}(t) f(t) dt, \quad (3)$$

то верхние грани $L_n^{(\alpha, \beta)}(x) = \sup_{|f(x)| < 1} |S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x)|$, называемые функциями Лебега, зависят от положения точки x на данном отрезке. Сле-

дующая работе [1] и уточняя постоянные, получим

$$\left. \begin{aligned} L_n^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) &\leq L_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) + 2 \frac{|\sin n \arccos x|}{\sqrt{1-x^2}} + 1, \\ L_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) &\leq L_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) + \sqrt{2} \frac{|\sin(n + \frac{1}{2}) \arccos x|}{\sqrt{1-x}} + 1, \\ L_n^{(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) &\leq L_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) + \sqrt{2} \frac{|\cos(n + \frac{1}{2}) \arccos x|}{\sqrt{1+x}} + 1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Известно ([2]), что $L_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) \leq \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} |D_n(\tau)| d\tau$, где $D_n(\tau)$ — ядро Дирихле. Отсюда легко найти

$$L_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) \leq \left(1 + \frac{1,25 + \ln \pi}{\ln 2}\right) \ln n. \quad (5)$$

С помощью неравенства Лебега $|f(x) - S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x)| \leq (1 + L_n^{(\alpha, \beta)}(x)) E_n(f)$, где $E_n(f)$ — наилучшее равномерное приближение функции $f(x)$ алгебраическими многочленами порядка n , и соотношений (4)–(5) нетрудно доказать следующую теорему.

Теорема 1. Если $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$ и $f(x) \in H_\delta$, то $\|f(x) - S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x)\|_{C(\rho, \beta)} \leq q_1 \frac{\ln n}{n^\delta}$, где $q_1 = \sqrt{2} \left(1 + \frac{4,25 + \ln \pi}{\ln 2}\right) C_1$, C_1 — абсолютная постоянная, не зависящая от $f(x)$.

$$\rho_{\alpha, \beta}(x) = (1-x)^{\alpha(\alpha)} (1+x)^{\beta(\beta)} \quad \forall p \in (-1, 1), \quad \sigma(p) = \begin{cases} p, & \text{если } p > 0, \\ 0, & \text{если } p \leq 0. \end{cases}$$

Применим квадратурную формулу Гаусса к интегралу (3):

$$a_k \approx a_{k,m} = \sum_{i=1}^m a_i^{(m)} \hat{P}_k^{(\alpha, \beta)}(t_i^{(m)}) f(t_i^{(m)}) \quad (6)$$

$$a_i^{(m)} = \int_{-1}^1 \frac{\rho(t) \hat{P}_m^{(\alpha, \beta)}(t) dt}{(t - t_i^{(m)}) \hat{P}_m^{(\alpha, \beta)'}(t_i^{(m)})}, \quad (7)$$

где в качестве узлов $t_i^{(m)}$ ($i = \overline{1, m}$) берутся нули многочлена $\hat{P}_m^{(\alpha, \beta)}(t)$. В (2), заменяя a_k на $a_{k,m}$, получим

$$S_{n,m}^{(\alpha, \beta)}(f, x) = \sum_{k=0}^n a_{k,m} \hat{P}_k^{(\alpha, \beta)}(x). \quad (8)$$

Аналогично предыдущей теореме имеет место

Теорема 2. Если $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$, $m \geq n + 1$ и $f(x) \in H_\delta$, то

$$\|f(x) - S_{n,m}^{(\alpha, \beta)}(f, x)\|_{C(\rho, \beta)} \leq q_1 \frac{\ln n}{n^\delta} + q_2 \frac{\ln n}{(2m - n - 1)^\delta},$$

где $q_2 = 2\sqrt{2} \left(1 + \frac{3,25 + \ln \pi}{\ln 2}\right) C_1$.

Доказательство.

$$|f(x) - S_{n,m}^{(\alpha,\beta)}(f, x)| \leq |f(x) - S_n^{(\alpha,\beta)}(f, x)| + \left| \sum_{k=0}^n (a_k - a_{k,m}) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(x) \right|, \quad (9)$$

$$a_k - a_{k,m} = \int_{-1}^1 \rho(t) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(t) f(t) dt - \sum_{i=1}^m a_i^{(m)} \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(t_i^{(m)}) f(t_i^{(m)}).$$

Пусть $P_{2m-n-1}(x)$ — алгебраический многочлен наилучшего равномерного приближения функции $f(x)$ на отрезке $[-1, 1]$. Тогда, учитывая, что квадратурная формула Гаусса имеет алгебраическую степень точности $2m-1$, получим

$$\left| \sum_{k=0}^n (a_k - a_{k,m}) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(x) \right| = \left| \sum_{k=0}^n \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(x) \left(\int_{-1}^1 \rho(t) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(t) (f(t) - P_{2m-n-1}(t)) dt + \sum_{i=1}^m a_i^{(m)} \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(t_i^{(m)}) (P_{2m-n-1}(t_i^{(m)}) - f(t_i^{(m)})) \right) \right| \leq 2E_{2m-n-1}(f) L_n^{(\alpha,\beta)}(x).$$

Подставим последнее неравенство в (9). Применение теоремы 1 завершает доказательство.

Подставляя значения $S_n^{(\alpha,\beta)}(f, x)$ и $S_{n,m}^{(\alpha,\beta)}(f, x)$ в (1), получим следующие квадратурные формулы:

$$I_{\alpha,\beta}(S_n^{(\alpha,\beta)}(f, x); x) = \frac{1}{\rho(x)} \sum_{k=0}^n a_k Q_k^{(\alpha,\beta)}(x), \quad x \in (-1, 1), \quad (10)$$

$$I_{\alpha,\beta}(S_{n,m}^{(\alpha,\beta)}(f, x); x) = \frac{1}{\rho(x)} \sum_{k=0}^n a_{k,m} Q_k^{(\alpha,\beta)}(x), \quad x \in (-1, 1), \quad (11)$$

где $a_k, a_{k,m}$ вычисляются соответственно по формулам (3) и (6)–(7),

$$Q_k^{(\alpha,\beta)}(x) = \frac{1}{\pi} \int_{-1}^1 \frac{\rho(t) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(t)}{t-x} dt,$$

$$Q_k^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) = -2 \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos(\kappa + 1) \arccos x,$$

$$Q_k^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{\sin \kappa \arccos x}{\sqrt{1-x^2}},$$

$$Q_k^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) = -\frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\cos\left(\kappa + \frac{1}{2}\right) \arccos x}{\cos \frac{1}{2} \arccos x},$$

$$Q_k^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\sin\left(\kappa + \frac{1}{2}\right) \arccos x}{\sin \frac{1}{2} \arccos x}. \quad ([3, 4])$$

2. Найдем скорость сходимости квадратурных формул (10) и (11). Для этого нам понадобятся следующие леммы.

Лемма 1 ([5]). Если $\varphi(x) \in C_{[-1,1]}$, то для $\forall n \in \mathbb{N}$ алгебраический многочлен $P_n(x)$ степени $\leq n$, что $|\varphi(x) - P_n(x)| \leq C_2 \omega\left(\varphi, \frac{1}{n}\right)$, где C_2 — постоянная, не зависящая от n .

Лемма 2. ([6]). Если $\varphi(x) \in H_\beta$ и $P_n(x)$ — алгебраический многочлен степени $\leq n$ такой, что для $\forall x \in [-1, 1]$ $|\varphi(x) - P_n(x)| \leq \frac{C_3}{n^\beta}$, то $\omega(\varphi - P_n, \eta) \leq C_4 \frac{\eta^\beta}{n^{\beta-2\beta}}$, где $0 < \beta \leq \frac{1}{2}$, C_3 и C_4 — постоянные, не зависящие от n .

Лемма 3. Если $\varphi(x) \in C_{[-1,1]}$ такова, что выполняются условия $\varphi(-1) = \varphi(1) = 0$ и $\int_0^1 \frac{\omega(\varphi, \xi)}{\xi} d\xi < \infty$, то для $\forall x \in [-1, 1]$,

$\forall \alpha, \beta \in (-1, 1)$

$$\|I_{\alpha,\beta}(S_{n,m}^{(\alpha,\beta)}(\varphi, x); x)\|_{C(\rho_{\alpha,\beta})} \leq C_{\alpha,\beta} \left(\int_0^1 \frac{\omega(\varphi, \xi)}{\xi} d\xi + \left(1 + \ln \frac{2}{\varepsilon}\right) \|\varphi\|_C \right),$$

где $C_{\alpha,\beta}$ зависит лишь от α и β , $0 < \varepsilon \leq \frac{1}{2}$.

Доказательство. Случай $-1 < \alpha, \beta \leq 0$ рассмотрен в [7].

Если $0 < \alpha, \beta < 1$, то $\int_{-1}^1 \frac{(1-t)^\alpha (1+t)^\beta \varphi(t)}{t-x} dt = \int_{-1}^1 \frac{g(t)}{t-x} dt$ и, принимая во внимание вышерассмотренный случай ($\alpha = \beta = 0$) с учетом $\|g\|_C \leq 2^{\alpha+\beta} \|\varphi\|_C$ и $\omega(g, \xi) \leq 2^{\alpha+\beta} \omega(\varphi, \xi) + (2^\alpha \xi^\beta + 2^\beta \xi^\alpha) \|\varphi\|_C$, получим требуемое.

Если $0 < \alpha < 1$, $-1 < \beta < 0$ ($-1 < \alpha < 0$, $0 < \beta \leq 1$), то справедливы аналогичные рассуждения для $g(t) = \varphi(t) (1-t)^\alpha (g(t) = \varphi(t) \times (1+t)^\beta)$.

Лемма 4. Если $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$, то $\|I_{\alpha,\beta}(S_n^{(\alpha,\beta)}(\varphi, x); x)\|_{C(\rho_{\alpha,\beta})} \leq q_3 \|\varphi\|_C \ln n$, где $q_3 = 2\sqrt{2} \frac{2,5 + \ln \pi}{\ln 2}$.

Доказательство. Подставляя (3) и (2) в (1), найдем

$$I_{\alpha,\beta}(S_n^{(\alpha,\beta)}(\varphi, x); x) = \frac{1}{\pi \rho(x)} \sum_{k=0}^n \left(\int_{-1}^1 \rho(s) \varphi(s) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(s) ds \right) \times \int_{-1}^1 \frac{\rho(t) \hat{P}_k^{(\alpha,\beta)}(t)}{t-x} dt.$$

Рассматривая четыре случая и используя равенство

$$\frac{1}{\pi} \int_0^\pi \frac{\cos i \theta d\theta}{\cos \theta - \cos \psi} = \frac{\sin i \psi}{\sin \psi} \quad (i = 0, 1, 2), \quad \text{получим}$$

$$a) \alpha = \beta = -\frac{1}{2}, P_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cos \kappa \arccos x, \quad ([4])$$

$$I_{-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}}(S_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(\varphi, x); x) = \frac{2}{\pi} \int_0^\pi \varphi(\cos \tau) \times \\ \times \sum_{\kappa=0}^n \cos \kappa \tau \sin \kappa \theta \, d\tau, \quad \theta = \arccos x,$$

$$\left| I_{-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}}(S_n^{(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(\varphi, x); x) \right| \leq 2 \frac{1,5 + \ln \pi}{\ln 2} \|\varphi\|_c \ln n;$$

$$b) \alpha = \beta = \frac{1}{2}, P_n^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\sin(\kappa + 1) \arccos x}{\sqrt{1-x^2}}, \quad ([4])$$

$$I_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(S_n^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(\varphi, x); x) = \frac{-2}{\pi \sin \theta} \int_0^\pi \varphi(\cos \tau) \left(\frac{1}{2} \cos(n+2) \tau \times \right. \\ \times \cos(n+1) \theta + \frac{1}{2} \cos(n+1) \tau \cos n \theta - \frac{1}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \cos \tau \cos 2\theta + \\ \left. + \sin \theta \sum_{\kappa=2}^n \cos \kappa \tau \sin \kappa \theta \right) d\tau, \quad \theta = \arccos x,$$

$$\sqrt{1-x^2} \left| I_{\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(S_n^{(\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(\varphi, x); x) \right| \leq 2 \frac{3,5 + \ln \pi}{\ln 2} \|\varphi\|_c \ln n;$$

$$в) \alpha = -\beta = \frac{1}{2}, P_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\sin\left(\kappa + \frac{1}{2}\right) \arccos x}{\sin \frac{1}{2} \arccos x}, \quad ([4])$$

$$I_{\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}}(S_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(\varphi, x); x) = \frac{-2}{\pi \sin \frac{\theta}{2}} \int_0^\pi \varphi(\cos \tau) \left(\frac{1}{2} \cos(n+1) \tau \times \right.$$

$$\times \cos\left(n + \frac{1}{2}\right) \theta - \frac{1}{2} \cos \frac{\theta}{2} + \sin \frac{\theta}{2} \sum_{\kappa=1}^n \cos \kappa \tau \sin \kappa \theta \Big) d\tau, \\ \theta = \arccos x,$$

$$\sqrt{1-x} \left| I_{\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}}(S_n^{(\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})}(\varphi, x); x) \right| \leq 2\sqrt{2} \frac{2,5 + \ln \pi}{\ln 2} \|\varphi\|_c \ln n;$$

$$г) -\alpha = \beta = \frac{1}{2}, P_n^{(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \frac{\cos\left(\kappa + \frac{1}{2}\right) \arccos x}{\cos \frac{1}{2} \arccos x}$$

$$I_{-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(S_n^{(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(\varphi, x); x) = \frac{2}{\pi \cos \frac{\theta}{2}} \int_0^\pi \varphi(\cos \tau) \left(\frac{1}{2} \sin \frac{\theta}{2} + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \cos(n+1) \tau \sin(n+1) \theta + \cos \frac{\theta}{2} \sum_{\kappa=1}^n \cos \kappa \tau \sin \kappa \theta \right) d\tau, \quad \theta = \arccos x,$$

$$\sqrt{1+x} \left| I_{-\frac{1}{2}, \frac{1}{2}}(S_n^{(-\frac{1}{2}, \frac{1}{2})}(\varphi, x); x) \right| \leq 2\sqrt{2} \frac{2,5 + \ln \pi}{\ln 2} \|\varphi\|_c \ln n.$$

Теорема 3. Если $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$ и $f(x) \in H_s$, то $\|I_{\alpha, \beta}(f, x) - I_{\alpha, \beta}(S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x); x)\|_{C(\rho_{\alpha, \beta})} \leq q_4 \frac{\ln n}{n^s}$, где

$$q_4 = C_2 \left(C_{\alpha, \beta} \left(12 + \frac{1 + 4(\ln C_4 - \ln C_2)}{\beta \ln 2} + \frac{4,5}{\ln 2} \right) + 4q_3 \right).$$

Доказательство. Пусть $P_n(x)$ — алгебраический многочлен наилучшего равномерного приближения функции $f(x)$ на отрезке $[-1, 1]$.

Рассмотрим два случая:

а) $f(-1) = P_n(-1)$ и $f(1) = P_n(1)$,

$$\left| I_{\alpha, \beta}(f; x) - I_{\alpha, \beta}(S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x); x) \right| \leq \left| I_{\alpha, \beta}(f - P_n; x) \right| + \\ + \left| I_{\alpha, \beta}(S_n^{(\alpha, \beta)}(P_n - f, x); x) \right|.$$

Применяя леммы 1-4 и выбирая $\varepsilon = \sqrt{\frac{C_2}{C_4}} \frac{1}{n^2}$, получим

$$\left\| I_{\alpha, \beta}(f; x) - I_{\alpha, \beta}(S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x); x) \right\|_{C(\rho_{\alpha, \beta})} \leq \\ \leq C_2 \left(C_{\alpha, \beta} \left(3 + \frac{1 + \ln C_4 - \ln C_2}{\beta \ln 2} + \frac{1}{\ln 2} \right) + q_3 \right) \frac{\ln n}{n^s};$$

б) $f(-1) \neq P_n(-1)$ и $f(1) \neq P_n(1)$. В этом случае вместо $P_n(x)$ возьмем $P_n(x) + r_n(x)$,

$$r_n(x) = f(-1) - P_n(-1) + \frac{f(1) - P_n(1) - f(-1) + P_n(-1)}{2} (1+x).$$

Очевидно, $\|f - P_n - r_n\|_c \leq 4\|f - P_n\|_c$ и $\omega(f - P_n - r_n, \eta) \leq \omega(f - P_n, \eta) + \|f - P_n\|_c \eta$, что позволяет редуцировать рассматриваемый случай к предыдущему.

Окончательно $\|I_{\alpha, \beta}(f, x) - I_{\alpha, \beta}(S_n^{(\alpha, \beta)}(f, x); x)\|_{C(\rho_{\alpha, \beta})} \leq C_2(C_{\alpha, \beta}(12 + \frac{1 + 4(\ln C_4 - \ln C_2)}{\beta \ln 2} + \frac{4,5}{\ln 2}) + 4q_3) \frac{\ln n}{n^s}$.

Теорема 4. Если $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$, $m \geq n + 1$ и $f(x) \in H_s$, то

$$\left\| I_{\alpha, \beta}(f; x) - I_{\alpha, \beta}(S_{n, m}^{(\alpha, \beta)}(f, x); x) \right\|_{C(\rho_{\alpha, \beta})} \leq q_4 \frac{\ln n}{n^s} + q_5 \frac{\ln n}{(2m - n - 1)^s}, \quad \text{где} \\ s = 2C_1 q_3.$$

Доказательство. $\|I_{\alpha,\beta}(f; x) - I_{\alpha,\beta}(S_{n,m}^{(\alpha,\beta)}(f, x); x)\| \leq I_{\alpha,\beta}(f, x) - I_{\alpha,\beta}(S_n^{(\alpha,\beta)}(f, x); x) + |I_{\alpha,\beta}(S_n^{(\alpha,\beta)}(f, x) - S_{n,m}^{(\alpha,\beta)}(f, x); x)|$. Первое слагаемое оценивается теоремой 3. Для оценки второго слагаемого достаточно повторить рассуждения теоремы 2 и леммы 4.

Сравнивая теоремы 1 и 2 с теоремами 3 и 4, можно сделать следующий вывод. Квадратурные формулы (10) и (11) аппроксимируют в метрике $C(\rho, \beta)$ особый интеграл (1) с такой же точностью, с какой суммы (2) и (8) аппроксимируют плотность $f(x)$ в этой же метрике.

Автор выражает благодарность Б. И. Мусаеву за постоянное внимание к работе.

Литература

1. Яхнин Б. М. УМН, XIII, вып. 6 (84), 1958, 207—211. 2. Суэтин П. К. Классические ортогональные многочлены. М., "Наука", 1976. 3. Карпенко Л. Н. ПММ, 30, вып. 3, 1966, 564—569. 4. Сеге Г. Ортогональные многочлены. М., Физматгиз, 1962. 5. Jackson D. The theory of approximation. New York. Amer. Math. Soc. Coll. Publ., 11, 1930. 6. Каландия А. И. Мат. сб., 42, 1957, 249—272. 7. Мурадшаева Э. Д., Мусаев Б. И. Уч. зап. МВ и ССО Азерб. ССР*, серия физ.-матем. наук*, 1978, № 3.

Институт кибернетики
АН Азерб. ССР

Поступило 5. VI 1978

Ж. А. Кустов

ƏDƏD OXUNUN PARÇASI YƏRƏ SİNGULJAR İNTEGRALLARIN TƏGRİBİ HESABLANMASI

Мөгаләдә

$$I_{\alpha,\beta}(f; x) = \frac{1}{\pi\rho(x)} \int_{-1}^1 \rho(t) \frac{f(t)}{t-x} dt;$$

бурада $\rho(x) = (1-x)^\alpha (1+x)^\beta$, $|\alpha| = |\beta| = \frac{1}{2}$ интегралынын һесаблинамасы үчүн $f(x) \in H_\delta$ ($0 < \delta < 1$) функциясыны Якоби чоһәдлеләри үзрә Фурје сьрасынын n -чи хусуси чәми илә әвәз етмәклә квадратур дүстурлар гурулуру вә бу һалда бураһылан хәталар гьимәтләндириләр.

У. А. Kustov

APPROXIMATE EVALUATION OF THE SINGULAR INTEGRALS ON THE INTERVAL OF THE REAL AXIS

In the recent paper the quadrature rules for the singular integrals with Cauchy kernel are constructed by the finite sum of Furler series on the Jacobi polynomials. These quadrature rules errors are obtained.

З. Ф. СЕИДОВ

СТЕПЕННОЙ РЯД КАК РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ЛЕНА—ЭМДЕНА ИНДЕКСА ДВА

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. И. Гусейновым)

1. Одним из фундаментальных уравнений астрофизики является дифференциальное уравнение Лена—Эмдена

$$(x^2\theta')' = -x^2\theta^n. \quad (1)$$

Решению и исследованию этого уравнения посвящено большое количество работ [1], однако аналитические решения, имеющие астрофизический смысл (решения E -типа), найдены только для значений индекса n , равных 0, 1 и 5. Поэтому в последнее время предпринимались попытки получить решение (1) в виде ряда [2], Чебышева [3] и Паде [4] приближений. Однако каждый из этих методов имеет свои недостатки: Паде метод очень труден в случае высших приближений, метод Чебышева требует предварительного знания численного решения. Что касается решения в виде ряда, то в [2] найдено следующее рекуррентное соотношение для коэффициентов:

$$\theta = \sum_{k=0}^{\infty} a_k x^{2k}, \quad a_0 = 1, \quad a_1 = -1/6, \quad (2)$$

$$m \geq 1, \quad a_{m+1} = \frac{1}{m(m+1)(2m+3)} \sum_{i=1}^m (\ln+i-m)(m+1-i) \times \\ \times (3+2(m-i)) a_i a_{m+1-i}.$$

Сделаем важное замечание: при выводе (2) использована формула возведения ряда в степень

$$s^n = \sum_{i=0}^{\infty} c_i x^i = \left(\sum_{i=0}^{\infty} a_i x^i \right)^n, \quad c_0 = a_0^n, \quad (3)$$

$$c_m = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\ln+i-m) a_i c_{m-i}, \quad m \geq 1.$$

В [5] утверждается, что эта формула верна только для целых n , однако легко показать, что для сходящихся рядов формула (3) верна внутри радиуса сходимости рядов s и s^n для любого вещественного n .

Трудной математической задачей является нахождение радиуса сходимости ряда (2), заданного в виде рекуррентного соотношения довольно громоздкого вида. Численный поиск радиуса сходимости также затруднителен, так как в формуле (2) суммирование включает

члены противоположных знаков, что снижает точность вычислений коэффициентов с большими значениями индекса. В данной статье нами рассмотрен специальный случай уравнения Лена—Эмдена индекса два (УЛЭ2); выбор которого обусловлен двумя обстоятельствами. Во-первых, это уравнение, с астрофизической точки зрения, представляет особый интерес, так как описывает структуру белых карликов обычных масс, тогда как два предельных случая малых и больших масс описываются уравнениями соответственно УЛЭ1.5 и УЛЭ3. Во-вторых, задача нахождения радиуса сходимости ряда численным методом в этом случае значительно более проста.

Для случая индекса n , равного двум, вместо формулы (2) выведем более простое рекуррентное соотношение. Заметим прежде всего, что интересующее нас решение E -типа удовлетворяет граничному условию

$$x = 0, \theta = 1, \theta' = 0. \quad (4)$$

Из (4) и (1) видно, что разложение этого решения в степенной ряд содержит только четные степени x :

$$\theta(x) = \sum_{l=0}^{\infty} a_l x^{2l}, \quad \theta^2(x) = \sum_{l=0}^{\infty} b_l x^{2l},$$

$$b_l = \sum_{k=0}^l a_k a_{l-k}, \quad a_0 = b_0 = 1. \quad (5)$$

Из (4) и (5) получим искомое рекуррентное соотношение для коэффициентов ряда, представляющего собой решение УЛЭ2;

$$a_{l+1} = -\frac{1}{(2l+2)(2l+3)} \sum_{k=0}^l a_k a_{l-k}, \quad l \geq 0. \quad (6)$$

Из формулы (6) видно, что ряд является знакопеременным—результат, который далеко не очевиден из формулы (2). (Вообще, можно показать, что ряд, являющийся решением УЛЭ2 целого индекса, знакопеременен). Далее, в правой части формулы (6) в сумму входят только члены одного знака, поэтому численные расчеты в этом случае более просты и более точны.

На ЭВМ БЭСМ-6 нами вычислены по формуле (6) первые 600 коэффициентов ряда, а также квадратный корень из отношения предыдущего коэффициента к последующему $R_l = \sqrt{|a_{l-1}/a_l|}$ (табл. 1).

Таблица 1

| k | R_k | k | R_k |
|-----|----------|-----|----------|
| 1 | 2.449490 | 20 | 3.867637 |
| 2 | 3.162278 | 40 | 3.915578 |
| 3 | 3.384456 | 60 | 3.931793 |
| 4 | 3.517812 | 80 | 3.939945 |
| 5 | 3.600033 | 100 | 3.944851 |
| 6 | 3.656773 | 200 | 3.954696 |
| 7 | 3.698195 | 300 | 3.957966 |
| 8 | 3.729783 | 400 | 3.959623 |
| 9 | 3.754668 | 500 | 3.960617 |
| 10 | 3.774781 | 600 | 3.961279 |

Значения R_l монотонно растут вместе с l и стремятся к величине, приблизительно равной 3.962. Так как радиус сходимости степенного ряда (5) равен пределу отношения R_l при l , стремящемся к бесконечности, то приближенно можно принять радиус сходимости степенного ряда, представляющего собой решение уравнения Лена—Эмдена индекса два, равным 3.962. Заметим, что первый нуль функции Лена—Эмдена индекса два, определяющий радиус конфигурации, равен 4.353; следовательно, начиная от центра до 0.9 r , где r —радиус конфигурации, можно пользоваться степенным рядом.

При численных расчетах на ЭВМ с использованием ряда имеет значение сходимости ряда не в смысле математического анализа, а вычислительная сходимость [6]. Иными словами, если при данном значении переменной очередной член ряда имеет величину меньше машинного нуля или меньше избранной абсолютной ошибки, то дальнейшие члены можно не принимать во внимание, т. е. в таком случае мы имеем дело с вычислением полинома, а не суммы бесконечного ряда.

Для иллюстрации этого обстоятельства приводим табл. 2, в которой для каждого значения аргумента x даны значения функции $\theta(x)$, а также номера членов ряда (5), которые дают вклад в функцию $\theta(x)$ меньше соответственно 10^{-5} , 10^{-10} , 10^{-15} и 10^{-20} (последняя величина меньше машинного нуля БЭСМ-6). Вследствие знакопеременности ряда абсолютная ошибка по абсолютной величине при этом меньше следующего отброшенного члена.

Таблица 2

| x | θ | N_5 | N_{10} | N_{15} | N_{20} |
|-----|-----------|-------|----------|----------|----------|
| 1.0 | 0.8486541 | 5 | 10 | 14 | 17 |
| 2.0 | 0.5298364 | 11 | 20 | 28 | 36 |
| 3.0 | 0.2418241 | 27 | 50 | 71 | 92 |
| 3.6 | 0.1152535 | 85 | 148 | 232 | 280 |
| 3.8 | 0.0804321 | 205 | — | — | — |

Вычисления удобно производить по схеме Горнера

$$\theta(x) = 1 - \varphi_1(1 - \varphi_2(1 - \dots - \varphi_{k-1}(1 - \varphi_k))), \quad (7)$$

где для краткости введено обозначение

$$\varphi_l = x^2/R_l^2.$$

Ограничиваясь в формуле (7) первыми десятью членами, т. е. полагая $k = 10$, имеем абсолютную ошибку меньше 10^{-5} при значениях x от 0 до 2.

Для приближенного учета всех отброшенных членов заметим, что R_l меняется незначительно, от 3.8 до 3.96, при изменении l от 10 до 600. Полагая поэтому R_l постоянным и равным $\rho \approx 3.9$, имеем геометрическую прогрессию с первым членом, равным $a_{10}x^{20}$, и знаменателем, равным $q = -(x/\rho)^2$. Сумма этой прогрессии при бесконечном числе членов равна $a_{10}x^{20}/(1-q)$, следовательно, учет отброшенных членов сводится к умножению последнего—десятого члена в формуле (7) на величину $(1 + (x/\rho)^2)^{-1}$.

Литература

1. Чандрасекар С. Введение в учение о строении звезд. М., Изд-во иностр. лит., 1950.
2. Сеидов З. Ф., Кузахмедов Р. Х. "Астрон. ж.", 54, 1977, 501.
3. Service A. T. *Astrophys. J.*, 211, 1977, 908.
4. Pascual P. *Astron. Astrophys.*, 60, 1977, 161.
5. Градштейн И. С., Рыжик И. М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., Физматгиз, 1963.
6. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ, I. М., "Мир", 1976.

ШЛО

Поступило 16.VI 1978

З. Ф. Сеидов

ИНДЕКСИ ИКИ ОЛАН ЛЕН-ЕМДЕН ТЭНЛИЖИНИИ УСТЛУ СЫРА ШЭКЛИНДЭ ХЭЛЛИ

Мөгалэдэ Лен-Емден дифференциал тэнлижинин үстлү сыра шэклиндэ хэлли тапыларар, бу сыранын жыгылма радиусу проблеми тэдгиг олунур. Эдэди үсулла бу радиусун гыжэтинин 3.96 олдугу мүэјјөн едилмишдир.

Z. F. Seidov

THE POWER SERIES AS THE SOLUTION OF LANE-EMDEN EQUATION OF INDEX TWO

The simple recurrent relation has been found for the coefficients of power series representing the solution of LEE2. By the numerical method the convergence radius has been found to be 3.96.

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Г. М. ГУРО, Г. А. КАЛЮЖНАЯ, Т. С. МАМЕДОВ, Л. А. ШЕЛЕПИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ПРОЦЕСС РОСТА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЕВ УЗКОЗОННЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Г. Б. Абдуллаевым)

В последнее время все больший интерес проявляется к использованию излучения в технологических процессах микроэлектроники, в том числе в газофазных процессах эпитаксии полупроводников [1]. Электромагнитное излучение в эпитаксии может использоваться как для обычного термического воздействия на реакционную систему, так и для нетермической активации роста слоев.

Анализ литературных данных по применению излучения для стимуляции газофазных процессов эпитаксии германия, кремния и арсенида галлия показывает, что излучение широкого спектра—от ультрафиолетового до инфракрасного—вызывает большие изменения скорости роста эпитаксиальных слоев [2].

Вместе с тем продолжает оставаться неясным механизм этих изменений. В литературе отсутствуют данные по влиянию электромагнитного излучения на рост эпитаксиальных слоев узкозонных полупроводников $A^{IV}B^{VI}$ и $A^{IV}B^{VI}$. Целью настоящей статьи является описание исследований влияния светового излучения на рост и свойства слоев $PbTe$, $Pb_{1-x}Sn_xTe$, $HgTe$ и $CdTe$, полученных методом газовой эпитаксии, и анализ его возможных механизмов. Источником излучения является ксеноновая лампа сверхвысокого давления типа ДКСР-3000, излучающая свет от 0,2 до 1,5 мкм, причем 10% мощности находится в УФ-диапазоне, 35 в видимом и 55 в ИК-диапазоне. Спектр источника излучения приведен на рис. 1.

В разработанном нами методе световое излучение использовано как для нагрева реакционной системы (совместно с резистивным нагревом), так и для нетермического воздействия на рост эпитаксиальных слоев. Рост слоев изучался в условиях сублимационного переноса вещества через газовую фазу в квазизамкнутом объеме на подложку, вблизи которой плотность излучения составляла 10—100 Вт/см².

Спектральный состав применяемого излучения изменялся путем применения фильтров. Результаты экспериментов приведены в таблице. Условия выращивания слоев:

1. Подложками служили монокристаллические пластинки $BaF_2(111)$, обработанные во всех опытах одинаково.

2. Температуры подложки и источника, измеряемые непосредственно во время опыта, для одного и того же высаживаемого ве-

щества поддерживались одинаковыми независимо от применения фильтров, т. е. распределение температур в зоне реакции не зависело от спектрального состава и мощности подаваемого излучения.

3. Фильтры помещались таким образом, что реакционная газовая среда и подложка во всех опытах находились в одинаковых условиях облучения.

Соблюдение перечисленных условий позволяет исследовать влияние излучения на рост эпитаксиальных слоев. Основной вывод, кото-

рый можно сделать из полученных данных, — это то, что облучение приводит к существенному увеличению (в среднем на порядок) скорости роста эпитаксиальных слоев изученных соединений по сравнению с обычными условиями роста, причем последовательное уменьшение энергии квантов падающего излучения от опыта к опыту вызывает постепенное уменьшение этого эффекта. Как следует из табли-

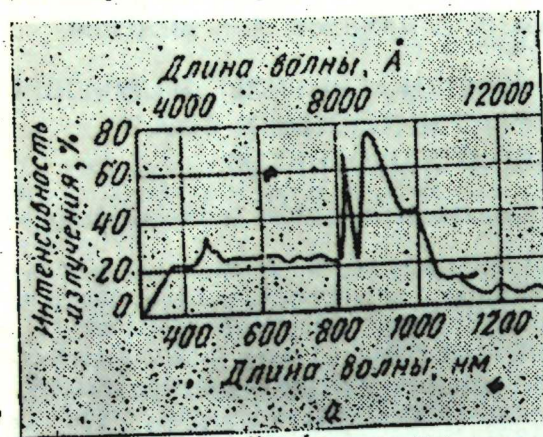


Рис. 1.

цы, максимальная скорость роста достигается в том случае, когда процесс проводится без фильтров, т. е. все излучение в диапазоне длин волн 0,25—1,5 мкм облучает одновременно и газовую фазу и подложку. При этом важным обстоятельством является совершенствование кристаллической структуры слоев, выросших в условиях облучения. Другими словами, излучение снижает энергию активации процесса эпитаксии [3], лимитирующей стадией которого являются гетерогенные химические реакции, протекающие на поверхности подложки. Из приведенных данных видно, что одновременное воздействие на реакционную систему (газовая фаза и подложка) излучения УФ- и ИК-диапазонов наиболее эффективно действует на скорость роста слоев (случай применения излучения без фильтров).

Определенные выводы можно сделать и в отношении механизма ускорения роста кристаллов.

В обычных условиях без облучения происходящие процессы можно охарактеризовать следующей качественной картиной. Из газовой среды на ростовую поверхность полупроводника (HgTe, PbTe, PbSnTe, CdTe, Si) попадают атомы и молекулы (соответственно Hg и Te₂, PbTe, SnTe, Cd и Te₂, SiCl₄). Молекулы могут захватываться поверхностью за счет адсорбции. Атом становится на свое место в решетке после разрыва молекулярных связей подводимых Te₂, PbTe, SnTe, SiCl₄. Вероятность такого процесса сравнительно мала (она увеличивается с ростом T подложки). Здесь налицо аналогия с газофазными реакциями, характеризующимися законом Аррениуса. Должно произойти очень много ударов молекулы с поверхностью для того, чтобы соответствующий атом сел на свое место в решетке.

В отличие от реакций между молекулами, реакции в газовой фазе с участием свободных атомов и радикалов имеют безбарьерный характер, сечениям при этом присущ порядок газокинетических [4]. Ввиду

безбарьерного присоединения свободных атомов к поверхности с увеличением их числа должны заметно улучшаться условия роста кристалла.

| Фильтры и область пропускания, мкм | Вещество | Скорость роста в условиях облучения, мкм/мин | | Структура слоя | |
|--|--|--|------------|------------------------|------------------------|
| | | без фильтра | с фильтром | | |
| Эпитаксиальный рост в условиях облучения | УФС-6 0,24—0,4 | PbTe, Pb _{1-x} Sn _x Te | 2,2 | 0,6 | Монокристалл |
| | | HgTe | 2,5 | 1,5 | " |
| | ЖС-10 0,39—1,4 | PbTe, Pb _{1-x} Sn _x Te | 2,2 | 0,48 | " |
| | | HgTe | 2,5 | 0,75 | " |
| | КС-19 0,7—1,4 | PbTe, Pb _{1-x} Sn _x Te | 2,1 | 0,4 | Мозаичный монокристалл |
| | | HgTe | 2,5 | 0,25 | Поликристалл |
| ИКС-6 0,82—1,4 | PbTe, Pb _{1-x} Sn _x Te | 2,2 | 0,33 | Мозаичный монокристалл | |
| Облучение только газовой фазы | Pb _{1-x} Sn _x Te | 0,35 | — | Поликристалл | |
| Эпитаксия без облучения | PbTe, Pb _{1-x} Sn _x Te | 0,2 | — | Мозаичный монокристалл | |
| | HgTe | 0,05—0,1 | — | То же | |

По-видимому, основная роль излучения в наших экспериментах как раз и заключается в образовании свободных атомов. Свободные атомы могут появляться в газе двухатомных молекул в результате единого акта поглощения ультрафиолета (для Te₂ $E_{дисс} = 2,8$ эв, для PbTe $E_{дисс} = 2,7$ эв) и вследствие каскадного поглощения нескольких квантов. В последнем случае молекулы забрасываются сначала в метастабильные электронные состояния, а затем за счет квантов видимого или ИК-диапазона в более высокие с непосредственным образованием свободных атомов или с диссоциацией возбужденных электронных состояний по отталкивательным термам. Грубые оценки на основе общей картины кинетических процессов в области между границами диссоциации и ионизации молекул [5] показывают, что эффективность образования свободных атомов (отвечающая скорости роста кристаллов) находится в соответствии с таблицей. Уравнения для числа свободных атомов A и B образованных светом из молекул AB (концентрации N_A , N_B , N_{AB}), можно приближенно записать в виде

$$\alpha \frac{I}{L_0} = BN_A N_B + (N_A + N_B) A_1, \quad (1)$$

$$N_{AB}^0 = N_A + N_B + N_{AB}, \quad N_A = N_B.$$

Здесь I — интенсивность падающего света, α — средняя вероятность на один квант диссоциации молекул, L_0 — характерная длина, определяемая временем жизни свободных атомов и толщиной слоя газовой

фазы¹, B —объемный коэффициент рекомбинации, A_1 —коэффициент поглощения свободных атомов эпитаксиальной поверхностью роста, N_{AB}^0 —концентрация молекул, создаваемая внешним источником.

Скорость роста кристалла в рассматриваемых условиях задается величиной

$$v_p = v_r N_A a_0^3 \quad (2)$$

где a_0 —постоянная решетки. Скорость потока молекул v_2 , возникающего вследствие разности температур к поверхности роста, согласно [6] задается соотношением

$$v_2 = \frac{D_T K_T \Delta T}{L_D T} \quad (3)$$

Здесь P_D —толщина слоя, где происходит скачок ΔT (равна длине свободного пробега наполнителя—молекул водорода), L_D —коэффициент диффузии свободных атомов, K_T —коэффициент термодиффузии. Из соотношений (1)—(3) видно, что в случае, если поглощение атомов поверхностью роста намного больше их рекомбинации в объеме, то $N_A \sim \frac{I}{A_1} \frac{1}{2L_0}$ и скорость роста пропорциональна интенсивности.

Если же преобладает процесс рекомбинации в объеме, то $N_A \sim \sqrt{\frac{I}{BL_0}}$ и v_p пропорциональна корню из интенсивности. Таким образом, по виду зависимости скорости роста от интенсивности можно судить о характере протекающего процесса.

При сильном возрастании интенсивности облучения (а значит, и числа свободных атомов) скорость роста также существенно увеличивается, но при этом начинает ухудшаться качество вырастающего кристалла. Когда характерное время образования решетки становится сравнимым со скоростью подачи свободных атомов, возникают новые центры образования твердой фазы (поликристаллическая структура).

При дальнейшем возрастании числа свободных атомов заряженные частицы (образующиеся либо непосредственно под действием излучения, либо за счет релаксационных процессов, проходящих при большом числе свободных атомов, рассмотренных в [5]) за счет поляризационных сил становятся центрами образования кристаллических кластеров [7]. Эти кластеры, бурно растущие около поверхности, образуют хаотическую твердую фазу, возникают хлопья (см. экспериментальные работы [8, 9]). Учет отмеченных факторов весьма существен при попытках использовать источники когерентного и некогерентного излучения для ускорения роста кристаллов. Так, например, лазер на CO_2 эффективно разлагает SiH_4 ($SiH_4 \rightarrow Si + 2H_2$). Однако в обычных условиях работы лазера число свободных атомов Si настолько велико, что образуются хлопья [8].

Наряду с ускорением роста кристалла, другой важный экспериментальный факт заключается в улучшении качества эпитаксиальных слоев, выращенных в условиях облучения электромагнитным излучением.

¹ Роль этой длины L_0 характеризует эксперимент с облучением только газовой фазы (излучение на подложку не попадало). При этом заметных эффектов не обнаружено.

Из таблицы видно, что эпитаксиальный рост слоев без облучения при остальных одинаковых технологических условиях позволяет вырастить только мозаичные—несовершенные слои.

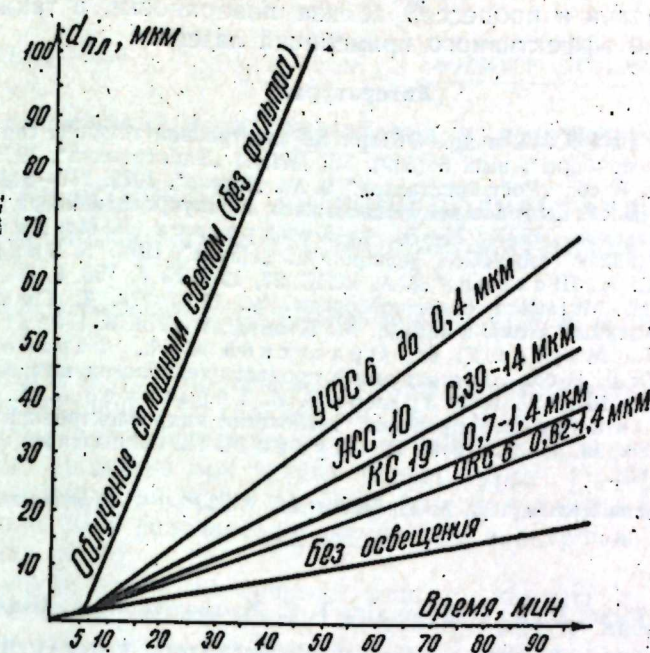


Рис. 2

Изучение зависимости толщины эпитаксиальной пленки на изолирующей подложке VaF_2 от времени протекания процесса показало, что во всех случаях имеется начальный период роста, когда еще нет сплошного слоя и излучение слабо действует на его рост (рис. 2), а затем влияние излучения приводит к значительному увеличению скорости роста в условиях автоэпитаксии. Таким образом, наряду с образованием свободных атомов, излучение является существенным и для процессов на самой поверхности, вызывая ее активацию. Это, по-видимому, связано с изменением пространственной структуры поверхностного слоя кристалла. В работе [10] показано, что за счет поглощения ИК-излучения менялось пространственное расположение связей в координационных соединениях в жидкости. В данном случае представляется более вероятным пространственное изменение структуры за счет поглощения УФ-излучения.

Выводы

Изучено влияние электромагнитного излучения в широком спектральном диапазоне от 0,25 до 1,5 мкм на рост эпитаксиальных слоев полупроводников $PbTe$, $Pb_{1-x}Sb_xTe$, $HgTe$ и $CdTe$. Найдено, что совместное использование УФ- и ИК-излучения оказывает стимулирующее действие на кристаллизацию слоев, увеличивая на порядок скорости роста и улучшая структурное совершенство выращенных слоев.

На основе рассмотренных экспериментов, регулируя режим образования свободных атомов, можно подбирать оптимальные условия эпитаксии как по интенсивности, так и по составу излучения. Кроме того, появляются возможности дальнейшего исследования механизмов роста кристаллов и процессов вблизи поверхности, а также определения условий эффективного применения лазера.

Литература

1. Чистяков Ю. Д. и др. Обзор по электронной технике, серия 2. Полупроводниковые приборы, вып. 5 (369). М., ЦНИИ "Электроника", 1976. 2. Дорягин Б. В. и др. В сб.: "Рост кристаллов" В. М., Наука, 1972, 210-212. 3. Вилонко Д. И. и др. В сб.: "Физика полупроводников и полупроводниковая электроника", вып. 1 (4). Саратов, 1973, 71-76. 4. Кондратьев В. П., Никитин Е. Е. Кинетика и механизм газофазных реакций, М., Наука, 1974. 5. Бирюков А. С., Решетняк С. А., Шеленин Л. А. ЖТФ, 27, 1977, № 5, 706. 6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошной среды, М., 1954, 278. 7. Смирнов Б. М. Ионы и возбужденные атомы в плазме, М. Атомиздат, 1974. 8. Герасимов А. Д., Замков Е. Т., Маркин Е. П., Ораевский А. П., Ферантонтов Н. Б., Чистяков Ю. Д. В сб.: "Активируемые процессы технологии микроэлектроники", вып. 1. Таганрог, 1975, 59. 9. Шаранов В. П., Герасимов А. Д., Чистяков Ю. Д. В сб.: "Активируемые процессы технологии микроэлектроники", вып. 1. Таганрог, 1975, 83. 10. Карлов Н. В., Ступни М. П., Шеленин Л. А. Письма ЖТФ, 2, 1976, 828.

Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР

Поступило 8. IV 1978

Г. М. Гуро, Г. А. Калъужнаја, Т. С. Маммадов, Л. А. Шеленин

ЕНСИЗ ЗОЛАГЛЫ ЖАРЫМКЕЧИРИЧИЛЭРИН ЭПИТАКСИАЛ ТЭВӨГЭЛЭРИНИН КӨЖӨРДИЛМӨ ПРОСЕСИНӨ ЭЛЕКТРОМАГНИТ ШУАЛАИМАСЫНЫН ТӨСИРИНИН ТӨДГИГИ

Энсийз золаглам жарымкечиричилэрин ($PbTe$, $Pb_{1-x}Sn_xTe$, $HgTe$ ва $CdTe$) эпитаксиал тэвөгэлэринин көжөрдилмө просесинө кенши спектр диапазонунда (0,25-1,5 мк) электромагнит узрабэионшоји нө инфрагармызы шуалардан биркө нефидө едилмөсн тэвөгэлэрин кристаллашымасына мүсбөг төсир көстөрир; көжөрдилэи тэвөгэлэрин гурулушу мүкөммөл олур, көжөрмөнин сүр'өти нөс бир тэртиб артыр.

G. M. Guro, G. A. Kalyuzhnaia, T. S. Mamedov, L. A. Shelenin

THE INVESTIGATION OF INFLUENCE OF THE ELECTROMAGNETIC RADIATION ON GROWTH PROPERTIES OF EPITAXIAL LAYERS OF THE NARROW GAP SEMICONDUCTORS

It was studied the dependence of the velocity of growing of the epitaxial layers of the narrow band semiconductors $PbTe$, $Pb_{1-x}Sn_xTe$, $HgTe$, $CdTe$ on electromagnetic radiation in a wide spectral range 0,25-1,5 μ . It was found that using combined ultraviolet and infrared radiation one can stimulate the process of crystallization of layers and receive the increasing of the velocity of growing and the improving of the structure of the layers.

Ф. М. ГАШИМЗАДЕ, С. М. СЕНД-РЗАЕВА, В. Я. ШТЕЙНШРАЙБЕР

ТЕОРИЯ КИНЕТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПОЛУМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СПЛАВОВ $Cd_xHg_{1-x}Te$ В ОТСУТСТВИИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Л. М. Иммановым)

Результаты экспериментальных исследований кинетических явлений в полуметаллических сплавах $Cd_xHg_{1-x}Te$ ($x < 0,16$) показывают, что в температурных зависимостях кинетических коэффициентов наблюдается ряд аномалий при низких температурах [1-3]. В литературе предложено объяснение наблюдаемых аномалий в области температур около 30°К резонансным рассеянием электронов на оптических фононах [4, 5].

В настоящее время, по существующему мнению в литературе, некоторые из экспериментальных фактов считаются необъяснимыми резонансным рассеянием электронов оптическими фононами [3, 6, 7] и являются основными возражениями против него. Так, согласно экспериментальным измерениям [3] в полуметаллических образцах $Cd_xHg_{1-x}Te$ энергия резонанса—энергия Ферми ϵ_F , соответствующая температуре минимума проводимости,—с изменением состава, т. е. с увеличением значения x , непрерывно увеличивается. Например, она сдвигается от 9,5 мэВ для $x=0$ до 21 мэВ для $x=0,14$ [3].

Установлено также, что если температура отжига образцов высокая и отжиг производится в парах ртути, то вышеуказанная аномалия на кривой температурной зависимости электропроводности $\sigma(T)$ может исчезать [3]. Наконец, в результате исследования кинетических свойств чистого $HgTe$ под гидростатическим давлением [6] обнаружено, что наблюдаемая аномалия в зависимости $\sigma(T)$ исчезает с увеличением давления.

В целях установления природы наблюдаемого минимума в температурных зависимостях электропроводности $\sigma(T)$ и термоэдс $\alpha(T)$ и объяснения вышеперечисленных экспериментальных фактов в статье анализируются кинетические явления с учетом межзонного резонансного рассеяния электронов оптическими фононами, а также рассеяния электронов на тяжелых дырках, заряженных центрах.

Поставленная задача решается нами следующим образом.

1. Сначала в приближении времени релаксации τ вычисляются температурные зависимости кинетических коэффициентов аналогично работе [8]. Для сравнения с экспериментом [3] подбираются значения концентрации доноров N_d и акцепторов N_a таким образом, чтобы вычисленные и экспериментальные значения удельного сопротивления ρ совпали в области примесного рассеяния.

2. Для обоснования расчетов кинетических коэффициентов в τ -приближении аналогичные вычисления проводятся на основе новой формулировки вариационного метода.

Приведем результаты расчета температурных зависимостей кинетических коэффициентов в τ -приближении.

Нами рассчитаны зависимости $\sigma(T)$ при различных значениях отношения m_h/m_e , где m_e , m_h — эффективные массы электронов и тяжелых дырок. Установлено, что увеличение этих значений ведет к уменьшению глубины минимума вблизи 30°K. Это явление качественно объясняет результаты эксперимента [6], в котором глубина минимума кривых $\sigma(T)$ уменьшается с давлением. В самом деле, гидростатическое давление уменьшает значение ϵ_g (ϵ_g — энергетическое расстояние между дном зоны проводимости и вершиной зоны легких дырок) и, следовательно, эффективную массу электрона, что приводит к увеличению отношения m_h/m_e с давлением.

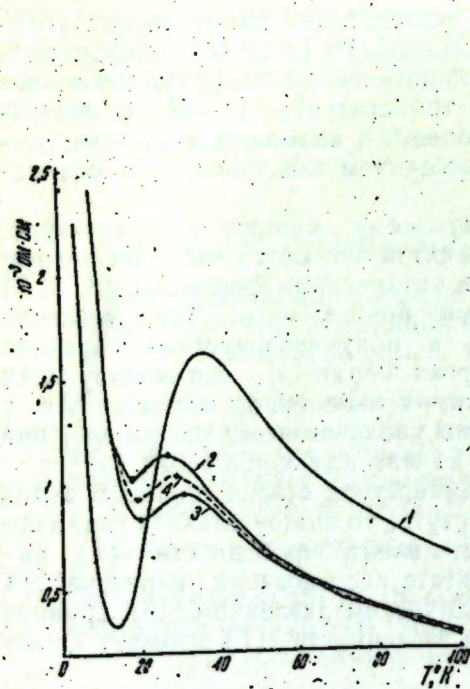


Рис. 1

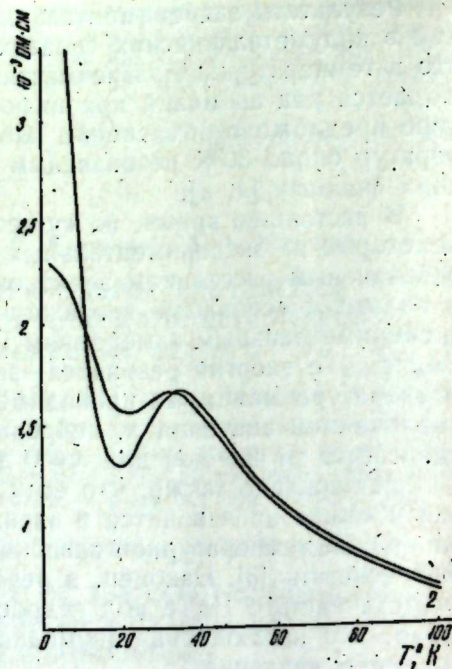


Рис. 2

С целью объяснения экспериментальных данных относительно изменения энергии резонанса с составом на рис. 1 приведены результаты расчета зависимости $\rho(T)$ для двух значений энергий $\hbar\omega_L = 17$ мэВ и $\hbar\omega_L = 19,5$ мэВ при $m_h/m_e = 40$ и $N_d = 3 \cdot 10^{13}$ см⁻³, а также результаты расчета такой же зависимости для $\hbar\omega_h = 17$ мэВ при $m_h/m_e = 14$ (кр. 1).

Известно, что при $x \neq 0$ имеются два характерных значения частоты ω_L , одно из которых соответствует оптическим колебаниям HgTe, а другое — CdTe. При этом общая резонансная кривая (в области тем-

ператур, где проявляется структура), обусловленная рассеянием электронов оптическими фононами с энергией $\hbar\omega_L = 17$ мэВ (кр. 2) и $\hbar\omega_L = 19,5$ мэВ (кр. 3), по-видимому, должна быть в некотором смысле усредненной кривой (кр. 4) между кр. 2 и 3. Это приводит к тому, что температура, соответствующая максимуму ρ , на кр. 4 сдвигается вправо по температурной шкале по сравнению с кр. 2. Этот сдвиг незначителен, и потому в работе [7] он выдвигается как основное возражение против объяснения аномалии проводимости резонансным рассеянием на оптических фононах. На самом деле, как показывают наши расчеты, положение минимума на кривой проводимости не определяется условием $\epsilon_F = \hbar\omega_L$. Так, например, для кр. 1 и 4 рис. 1 при температуре максимума ρ имеем $\epsilon_F \approx 8,1$ мэВ и $\epsilon_F \approx 9,1$ мэВ соответственно, в то время как энергия оптических фононов изменялась практически незначительно.

На рис. 2 приведены результаты расчета зависимости $\rho(T)$ для двух значений концентрации $N_d = 6 \cdot 10^{14}$ см⁻³ (кр. 1) и $N_d = 6 \cdot 10^{15}$ см⁻³ (кр. 2) при $m_h/m_e = 14$ и $\hbar\omega_L = 17$ мэВ (температурные зависимости параметров не учтены). Как видно из приведенных на рис. 2 кр. 1 и 2, указанная структура при больших значениях концентрации N_d выражается слабее. Это обстоятельство качественно объясняет второй экспериментальный факт исчезновения структуры при высоких температурах отжига образцов в парах ртути. Отжиг образцов в парах ртути при высоких температурах приводит, по-видимому, к увеличению значения N_d . На самом деле при такой термической обработке образцов у них может измениться также и значение N_a . Поэтому следовало бы проследить поведение этих кривых с изменением значения обеих величин N_d и N_a . Как показывает анализ, при фиксированном N_a увеличение N_d вызывает постепенное исчезновение структуры кривой $\rho(T)$. Структура кривой $\rho(T)$ очень чувствительна к изменению N_a . При фиксированном N_d небольшое увеличение N_a сразу же приводит к исчезновению структуры кривой $\rho(T)$.

Таким образом, результаты проведенного анализа в τ -приближении свидетельствуют о том, что указанную аномалию в зависимости $\sigma(T)$ и всех трех вышеперечисленных экспериментальных фактов можно качественно объяснить межзонным резонансным рассеянием электронов на оптических фононах из зоны проводимости в валентную зону.

Значения параметров для кривых, приведенных на рис. 1 и 2, следующие: энергия продольного оптического фонона $\hbar\omega_L = 17$ мэВ, $m_e = 0,028 m_0$, $m_h = 0,4 m_0$, $x_0^b = 15,4$, $x_\infty^b = 10,4$, $x_\infty^{ch}(\omega) = 10$, где $x(0) = x_0^b + x_0^{ch}(q)$ и $x(\infty) = x_\infty^b + x_\infty^{ch}(\omega)$ — межзонные части статической и высокочастотной диэлектрической проницаемости, $x_n^{ch}(n=0, \infty)$ связана с переходами электронов в зону тяжелых дырок ($e-h$), n — со всеми остальными межзонными переходами (их определения даны в [5, 8, 9]), m_0 — масса свободного электрона. При расчете температурные зависимости $x_\infty^{ch}(\omega)$ и $\hbar\omega_L$ не учтены.

Как показывает расчет, в рассматриваемой области температур рассеяние на акустических фононах пренебрежимо мало. Например, для HgTe при $T = 50^\circ K$, $N_d = 2 \cdot 10^{15}$ см⁻³ значение ρ_e обусловленное рассеянием на акустических фононах, составляет приблизительно 5% от значения ρ_e , рассчитанного с учетом рассеяния электронов на тя-

желых дырках, заряженных центрах и оптических фононах. Поэтому при расчете кинетических коэффициентов рассеяние на акустических фононах не учитывается. При оценке подвижности электронов μ_e для случая рассеяния на акустических фононах константа деформационного потенциала C взята как 10 эВ , плотность кристалла $d \sim 10 \text{ г/см}^3$, скорость звука $u_0 \sim 10^5 \text{ см/с}$.

Перейдем к построению количественной теории, основанной на новой формулировке вариационного метода.

Как известно, основной особенностью зонной структуры полуметаллических сплавов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ является то, что зона проводимости в точке $\vec{k}=0$ k -пространства вырождена с валентной зоной — зоной тяжелых дырок. Поэтому при изучении кинетических эффектов в материалах с такой зонной структурой следует учитывать всевозможные межзонные переходы. Последнее обстоятельство приводит к системе кинетических уравнений, которая состоит из двух зацепляющихся уравнений. Однако, как отмечено во введении, при вариационных расчетах в работе [5] тяжелые дырки считались бесконечно тяжелыми, в результате чего удавалось расцепить систему кинетических уравнений.

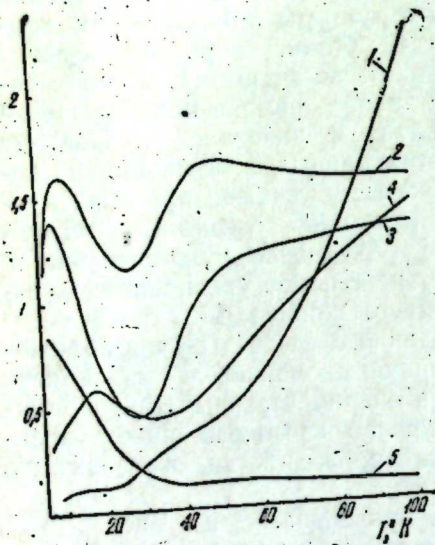


Рис. 3.

- 1 — $\chi_e \times 10^4$, эрг/(см·сек·град);
- 2 — $\sigma_e \times 10^2$, мкв/град;
- 3 — $\alpha \times 10^2$, мкв/град;
- 4 — $c \times 10^3$, см⁻¹·см⁻¹;
- 5 — $\mu_e \times 10^3$, см²/(в·сек)

В тех случаях, когда масса тяжелых дырок не очень сильно отличается от массы электронов, необходимо провести расчеты в самом общем виде, не расцепляя систему кинетических уравнений. С этой целью в работе [8] посредством метода Говарда и Сондхеймера [10] обобщена формулировка вариационной задачи для совместного решения системы зацепляющихся уравнений, которые описывают кинетические эффекты в полуметаллических сплавах $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ в отсутствие магнитного поля.

На основе такой формулировки получены общие и точные выражения во всей температурной области для кинетических коэффициентов [9].

Результаты такого вариационного расчета для зависимостей $\sigma(T)$, $\alpha(T)$, $\alpha_e(T)$ и температурной зависимости подвижности электронов

$\mu_e(T)$, а также для температурной зависимости электронной составляющей теплопроводности $\chi_e(T)$ приведены на рис. 3. При вариационных расчетах коэффициентов α и τ ограничивались первым и вторым приближением по параметру малости $k_0 T / \xi$ соответственно, где ξ — химический потенциал носителей тока.

Отличие нашего вариационного расчета от существующих в литературе (в том числе от вариационного расчета Валукевича [5]) заключается в том, что у нас тяжелые дырки при наличии малых внешних полей не считались невозмущенными (т. е. у нас не предполагалось $m_h/m_e \rightarrow \infty$).

Кроме того, в отличие от [5], в наших вариационных расчетах при учете эффектов экранирования не предполагалось, что $\chi(0) = \chi(\infty)$. Это привело к тому, что результаты расчета Валукевича [5] для $\sigma_e(T)$, $\mu_e(T)$ несколько отличаются от соответствующих наших вариационных расчетов в области T , где проявляется структура на кривых. Например, для σ_e при $T = 32^\circ\text{K}$ это отличие составляет примерно 15%. При низких температурах, когда основную роль играет примесное рассеяние, результаты обоих расчетов совпадают для σ_e , μ_e , как и следовало ожидать, но для α_e они отличаются друг от друга. По-видимому, расчеты у Валукевича [5] для $\alpha_e(T)$ ошибочны.

Из рис. 3 видно, что во всей рассматриваемой температурной области полная термоэдс α намного меньше, чем термоэдс электронов α_e .

Сопоставление результатов нашего вариационного расчета и расчета в τ -приближении для зависимостей $\sigma(T)$, $\sigma_e(T)$, $\mu_e(T)$ показывает, что оба они совпадают в области низких (где основную роль играет примесное рассеяние) и высоких температур, где τ -приближение себя оправдывает. Это дает нам возможность установить правильность сделанной итерации в работе [8] для случая рассеяния на оптических фононах. При температурах, когда проявляется наибольшая неупругость и структура на указанных кривых, эти два расчета отличаются друг от друга не очень сильно. Максимальная разность между ними составляет около 20% для μ_e и σ . Такие оценки дают нам основание использовать τ -приближение для исследования качественного поведения температурных кривых кинетических коэффициентов с давлением и составом.

Литература

1. Иванов-Омский В. И., Коломнец Б. Т., Огородников В. К., Смелалова К. П. ФТП, 1, 1967, 289.
2. Сологуб В. В., Иванов-Омский В. И., Муждаба В. М., Шалыт С. С. ФТТ, 13, 1971, 1738.
3. Finck S., Omezzguine S., Weill G., Verie C. Proc. 11th Int. Conf. Physics of Semicond. Warsaw, 1972.
4. Lehoczky S. L., Broerman J. G., Nelson Donald A., Whitsett Charles R. Phys. Rev., B 9, 1974, 1598.
5. Walukiewicz W. J. Phys. C. Sol. Stat. Phys., 9, 1976, 1945.
6. Stankiewicz J., Giriat W. Phys. Rev., B 13, 1976, 665.
7. Liu L., Verie C. Phys. Rev. Letters, 37, 1976, 43.
8. Гашимаде Ф. М., Сеид-Рзаева С. М., Штейншрайбер В. Я. Изв. АН Азерб. ССР, серия физ.-матем. наук, 1978, № 4, 32.
9. Гашимаде Ф. М., Сеид-Рзаева С. М. Препринт № 62. Баку, 1978.
10. Howarth D. J., Sondheimer E. H. Proc. Phys. Soc., A 219, 1953, 53.

Институт физики АН Азерб. ССР

Поступило 28. XI 1978

МАГНИТ САЪЭСИ ОЛМАЖАН ҺАЛДА ЈАРЫММЕТАЛ $Cd_xHg_{1-x}Te$ ЭРИНТИЛЭРИНДЭ КИНЕТИК ЕФФЕКТИЛЭРИН НЭЗЭРИЈЈЭСИ

Мәгаләдә бәрк $Cd_xHg_{1-x}Te$ мәнлулларында электронларын полјаризәләнмиш оптик фононлардан, јүклү мәркәзләрдән вә ағыр дешикләрдән сәпилмәси нәзәрә алынмагла кинетик эффектләр тәдгиг едилмишдир. һесабламалар ики тип јүкдашы- јычысы вә зоналарарасы сәпилмә һалы үчүн үмумиләшдирилмиш вариасија методу эсасында апарылмышдыр. $Cd_xHg_{1-x}Te$ эринтиләриндә кечиричилилик вә термо ент. температур асылылығында мүшәһидә олуна аномалијанын тәбиәтини вә тәркибини, тәзјигин тәсирини изаһ етмәк үчүн кинетик әмсаллар, һәмчини мүүәлифләрин әв- вәлки ишләриндә тәдгиг олуна муш релаксасија мүддәти јахынлашмасында һесабла- мышдыр.

Тәдгигат көстәрмишдир ки, кинетик әмсалларын температур әриләринин струк- туру тәзјиг вә тәркибин дәјишмәсилә онларын өзләрини апармасы, электронларын оптик фононлардан резонанс сәпилмәси илә изаһ едилди.

F. M. Gashimzade, S. M. Seid-Rzaeva, V. Ya. Steinsreiber

THE THEORY OF KINETIC COEFFICIENTS OF SEMIMETALLIC $Cd_xHg_{1-x}Te$ ALLOYS IN THE ABSENCE OF THE MAGNETIC FIELD

In this paper the kinetic effects of semimetallic $Cd_xHg_{1-x}Te$ alloys have been investigated taking into account the scattering of electrons by optical polarization phonons, charged centres and heavy holes. The calculations are based on the variational method generalized for the case of two type current carriers and interband optical scattering. In order to determine the nature of observed anomalies in the temperature dependence of the conductivity and thermo-electric power and explain the influence of the change of the composition and pressure the kinetic coefficients are calculated in the relaxation time approximation, that was reported in the early paper of the authors.

It has been shown that the structure of the temperature curves of the kinetic coefficients and behaviour of these curves with changing pressure and composition can be explained by the interband resonant scattering of electrons by optical phonons.

УДК 547.962:541.63

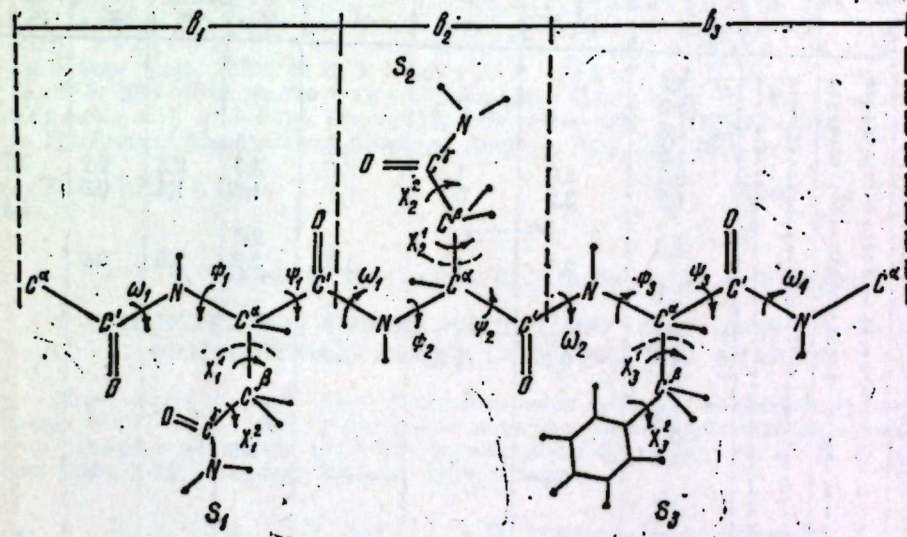
МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА.

Р. Э. АЛИЕВ, Н. М. ГОДЖАЕВ, С. Г. АББАСОВ, Н. А. АХМЕДОВ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ КОНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ФРАГМЕНТА $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ ПАНКРЕАТИЧЕСКОГО ТРИПСИНОВОГО ИНГИБИТОРА

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Л. М. Имановым)

Согласно методу конформационного анализа олигопептидов [1] исследовано пространственное строение сложных пептидов целесообразно проводить путем рассмотрения конформации ди- и трипептидов.



Модель фрагмента $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$

В настоящей статье на основе низкоэнергетических конформаций $Asn^{43}-Asn^{44}$ [2] и $Asn^{44}-Phe^{45}$ [3] исследованы конформационные возможности фрагмента РТИ $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$.

При изучении пространственного строения $Asn^{43}-Phe^{45}$ нами использованы классификация конформационных состояний [4].

Стабильность конформаций определялась минимизацией потенциальной энергии по всем двугранным углам вращения. При расчете потенциальной энергии учитывались невалентные взаимодействия и торсионная энергия. Невалентные взаимодействия оценивались по потенциалу Леннарда-Джонса с параметрами Скотта и Шерара [5].

Длины связей и валентные углы, торсионные потенциалы и величины барьеров взяты из [6].

Для каждой конформации наряду с общей энергией ($E_{\text{общ}}$) рассчитывались энергетические вклады от скелетных взаимодействий ($E_{b_1-b_j}$), взаимодействий между основными и боковыми цепями ($E_{s_1-s_j}$) и взаимодействий между боковыми цепями ($E_{s_1-s_j}$). Отсчет двугранных углов Φ , ψ , ω и χ произведен согласно номенклатуре [7]. Модель фрагмента и разбиение на элементы b и s приведена на рисунке. $C^{\alpha}-CO-Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}-NH-C^{\alpha}$. Нулевые приближения трипептида составлены из 27 низкоэнергетических конформаций $Asn^{43}-Asn^{44}$ и 19 конформаций $Asn^{44}-Phe^{45}$. Результаты минимизации энергии сведены в таблицу.

Относительные энергии (ккал/моль) конформаций фрагмента $C^{\alpha}-CO-Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}-NH-C^{\alpha}$

| Конформации | | | | | | Шейп | | | | | | | |
|-------------------|----------------|-------------------|----------------|-------------------|----------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Asn ⁴³ | | Asn ⁴⁴ | | Phe ⁴⁵ | | ee | | ef | | fe | | ff | |
| x ¹ | x ² | x ¹ | x ² | x ¹ | x ² | Форма основной цепи | | | | | | | |
| | | | | | | B-B-B | B-B-R | B-R-R | B-R-B | R-B-B | R-B-R | R-R-R | R-R-B |
| 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 3,5 | | | | | | | |
| 1 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 3,0 | | | | | | | |
| 1 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1,8 | | | | | | | |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1,6 | | | | | | | |
| 1 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3,0 | 2,6 | | | | | | |
| 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1,3 | 3,2 | 0,1 | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 1 | 3 | 1 | | | | 1,2 | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 2,0 | | | 2,1 | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | | 2,1 | 1,2 | | 1,0 | | | |
| 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 1,1 | | | | | | | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1,1 | | | | 0,9 | | | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2,4 | | | | 1,8 | | | |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 3 | 1 | 0,0 | 0,4 | 0,3 | | 1,0 | | | |
| 2 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | | | | | | | |
| 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1,2 | | | | | | | |
| 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 1 | 0,7 | | 1,2 | | | | | |
| 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1,1 | | | | | | | |
| 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | | 0,8 | 0,0 | | 0,4 | | 0,0 | |
| 3 | 1 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2,2 | | | | | | | |
| 3 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1 | 1,5 | | | | | | | |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1,8 | | | | 0,6 | | | 1,4 |
| 3 | 1 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1,2 | | | | 4,1 | 2,7 | 1,4 | 1,1 |
| 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1,7 | | | | | | | |
| 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 1 | 1,4 | 1,8 | 2,6 | 2,5 | | | | |

Рассмотрим конформации с развернутыми формами основной цепи шейпа *ee*. В глобальной конформации $B_{21}-B_{22}-B_{31}$ ($E_{\text{отн}} = 0,0$ ккал/моль) шейпа *ee* (формы $B-B-B$, $B-B-R$) энергия трипептидных взаимодействий составляет $-3,5$ ккал/моль. Суммарная энергия дипептидных взаимодействий равна $-4,4$ ккал/моль, а сумма энергий дипептидных взаимодействий конформаций $B_{21}-B_{22}$ и $B_{22}-B_{31}$ свободных фрагментов $Asn^{43}-Asn^{44}$ и $Asn^{44}-Phe^{45}$ $-6,6$ ккал/моль. Эффект дополнительных трипептидных взаимодействий перекрывает на 1,3

ккал/моль небольшую дестабилизацию дипептидных контактов. Таким образом, конформации с развернутыми формами обеспечивают эффективное понижение энергии за счет дополнительной стабилизации.

В свернутых конформациях шейпа *ff* (формы $R-R-R$, $R-R-B$) характерным трипептидным взаимодействием является b_1-b_3 , энергия которого в конформации $R_{12}-R_{32}-R_3$ ($E_{\text{отн}} = 0,9$ ккал/моль) составляет $-2,4$ ккал/моль. Суммарный эффект дополнительных взаимодействий для этой конформации на $0,7$ ккал/моль превышает небольшую дестабилизацию дипептидных взаимодействий.

В полусвернутых конформациях шейпов *ef* ($B-R-R$, $B-R-B$) и *fe* ($R-B-B$, $R-B-R$) как и в *ee*, *ff*-трипептидных взаимодействиях, не ухудшая дипептидных контактов, обеспечивают эффективное понижение энергии.

Таким образом, результаты расчета $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ показывают, что реализация всех четырех шейпов *ee*, *ef*, *fe*, *ff* приблизительно равновероятна.

Литература

1. Попов Е. М. Молекулярная биология, 9, 1975, 578-593.
2. Ахмедов Н. А., Липкинд Г. М., Мельников П. Н., Попов Е. М. Неорганич. хим., 2, 1976, 746-761.
3. Годжаев Н. М., Аббасов С. Г., Ахмедов Н. А. Уч. зап. МВ и ССО Азерб. ССР, серия физ.-матем. наук, 1978, № 3.
4. Алиев Р. Э., Годжаев Н. М., Алиева М. С., Ахмедов Н. А. Уч. зап. МВ и ССО Азерб. ССР, серия физ.-матем. наук, 1978, № 6.
5. Scott R. A., Scheraga H. A. J. Chem. Phys., 45, 1966, 2091-2101.
6. Momany, F. A., Mc Guire R. F., Burgess A. W., Scheraga H. A. J. Phys. Chem., 79, 1975, 2361-2381.
7. IUPAC-IUB Commission on Biochemical Nomenclature. Biochim. Biophys. Acta, 229, 1971, 1-17.

АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 3. X 1978

Р. Э. Алиев, Н. М. Годжаев, С. Г. Аббасов, Н. А. Ахмедов

ПАНКРЕАТИК ТРИПСИН ИНКИБИТОРУ $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ ФРАГМЕНТИНИН НЭЗЭРИ КОНФОРМАСИЈА АНАЛИЗИ

$Asn^{43}-Asn^{44}$ ва $Asn^{44}-Phe^{45}$ фрагментларинин оптималь конформасиялары эса-сында $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ фрагментинин мүмкүн олан конформасиялары өррэнилмиш-дир. Нэзэрдэн кечирилэн трипептид фрагментинда бүтүн дөрд *ee*, *ef*, *fe*, *ff* шейп-ларин реаллашмаси тэхминэн бэрабэр сһтималлыдыр.

R. A. Aliev, N. M. Godjaev, S. G. Abbasov, N. A. Akhmedov

THEORETICAL CONFORMATIONAL ANALYSIS OF THE $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ FRAGMENT FROM PANCREATIC TRYPSIN INHIBITOR

The conformational possibilities of $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ fragment were studied basing on the optimal conformations of the $Asn^{43}-Asn^{44}$ and $Asn^{44}-Phe^{45}$ dipeptides. All shapes *ee*, *ef*, *fe* and *ff* of the considered tripeptide are low energetic.

Т. Н. КИЯСБЕЙЛИ

К ТЕОРИИ ПРОДОЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ СТЕРЖНЕЙ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. Х. Мирзаджанзаде)

Уравнения теории продольных колебаний стержней получены Лявом [1] на основе вариационного принципа Остроградского—Гамильтона. При этом используются обычные допущения элементарной теории продольных волн в цилиндрических телах и принимаются во внимание члены, учитывающие инерцию, которая связана с поперечным растяжением (или сжатием), вызванным осевым сжатием (или растяжением). Однако в выражении для потенциальной энергии не учитывается энергия от поперечного растяжения (или сжатия). В предлагаемой статье уточнены уравнения Лява за счет указанного эффекта и показано его влияние на характер дисперсионных кривых.

Пусть ось x совпадает с главной осью инерции стержня. Обозначая через u_x, u_r, u_φ соответственно продольную, радиальную и крутильную компоненты вектора перемещения, примем, следуя Ляву, $u_\varphi = 0$. Так же, как и в элементарной теории, предполагаем, что величина u_x зависит только от x , плоские сечения остаются плоскими после деформации и осевые напряжения распределены равномерно по поперечному сечению. Тогда для компонент тензоров деформаций и напряжений можно пользоваться формулами [1]

$$\begin{aligned} \epsilon_r = \frac{\partial u_r}{\partial r} = -\nu \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \epsilon_\varphi = -\nu \frac{\partial u_x}{\partial x}, \quad \epsilon_x = \frac{\partial u_x}{\partial x}, \\ \gamma_{r\varphi} = \gamma_{\varphi r} = 0, \quad \gamma_{rx} = -\nu r \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \sigma_r = [\lambda - 2\nu(G + \lambda)] \frac{\partial u_r}{\partial x} = \sigma_\varphi, \\ \sigma_x = [2G + \lambda(1 - 2\nu)] \frac{\partial u_x}{\partial x}, \\ \tau_{rx} = -2G\nu r \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}. \end{aligned} \quad (2)$$

При написании формул (1), (2) использовано предположение Лява [1] о том, что радиальная компонента вектора перемещений u_r пропорциональна координате r и осевой деформации ϵ_x :

$$u_r = -\nu r \frac{\partial u_x}{\partial x}. \quad (3)$$

В формулах (1)—(3) ν —коэффициент Пуассона, G —модуль сдвига, λ —коэффициент Лямэ.

Для получения дифференциальных уравнений движения используем вариационный принцип Остроградского—Гамильтона, заключающийся в том, что при естественном движении системы интеграл

$$I = \int_0^t (T - U) dt \quad (4)$$

имеет стационарное значение из всех значений при движении по бесконечно близким возможным траекториям. Внутренняя потенциальная энергия U определяется по формуле

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \int_F (\sigma_r \epsilon_r + \sigma_\varphi \epsilon_\varphi + \sigma_x \epsilon_x + \tau_{r\varphi} \gamma_{r\varphi} + \tau_{\varphi r} \gamma_{\varphi r} + \tau_{rx} \gamma_{rx}) dF dx, \quad (5)$$

где F —площадь поперечного сечения. Подставляя (1) и (2) в (5), получим

$$U = \frac{1}{2} \int_0^L \left[FE \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + 2G\nu^2 I_0 \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \right)^2 \right] dx, \quad (6)$$

где I_0 —полярный момент сечения труб:

$$I_0 = \int_F r^2 dF,$$

E —модуль Юнга, связанный с ν и λ по формуле

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}.$$

Отметим, что второе слагаемое в подынтегральном выражении формулы (6) Лявом [1] не учтено.

Согласно формуле для кинетической энергии

$$T = \frac{1}{2} \rho \int_0^L \int_F \left[\left(\frac{\partial u_r}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_\varphi}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} \right)^2 \right] dF dx;$$

тогда, используя выражения (1) и (2), получим

$$T = \frac{1}{2} \rho \int_0^L \left[F \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} \right)^2 + \nu^2 I_0 \left(\frac{\partial u_x}{\partial x \partial t} \right)^2 \right] dx. \quad (7)$$

Подставляя (6) и (7) в (4), выполним условие стационарности получающегося функционала

$$\begin{aligned} \delta I = \frac{1}{2} \delta \int_0^t \int_0^L \left\{ \rho \left[F \left(\frac{\partial u_x}{\partial t} \right)^2 + \nu^2 I_0 \left(\frac{\partial u_x}{\partial x \partial t} \right)^2 \right] - \right. \\ \left. - \left[FE \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} \right)^2 + 2G\nu^2 I_0 \left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} \right)^2 \right] \right\} dx dt = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Интегрируя в (8) по частям члены, содержащие $\frac{\partial u_x}{\partial t}$, $\frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2}$, $\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}$ и $\frac{\partial^2 u_x}{\partial x \partial t}$ и полагая, что в начальный и конечный момент времени величины u_x и $\frac{\partial u_x}{\partial x}$ заданы, а также приравнявая выражение при вари-

ции δu_x к нулю, получим следующее дифференциальное уравнение продольных колебаний стержней:

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = (\nu r_0)^2 \left(\frac{\partial^4 u_x}{\partial x^2 \partial t^2} - \frac{G}{\rho} \frac{\partial^4 u_x}{\partial x^4} \right) + \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}, \quad (9)$$

где $r_0 = \sqrt{\frac{I_0}{F}}$ — полярный радиус инерции сечения стержня. Соответствующее уравнение в теории Лява [1], не учитывающее энергию сдвига, имеет вид

$$\frac{\partial^2 u_x}{\partial t^2} = (\nu r_0)^2 \frac{\partial^4 u_x}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2}. \quad (10)$$

Выясним, в какой степени предлагаемая теория уточняет теорию Лява, при помощи сравнения дисперсионных кривых. Для этого решения дифференциальных уравнений (9) и (10) представим в виде

$$u_x = u_0 \exp [i(fx + pt)], \quad (11)$$

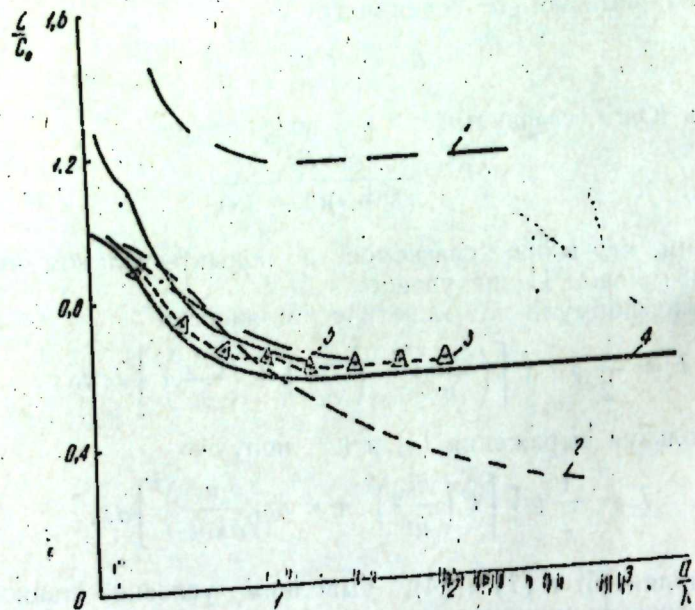


Рис. 1. 1—элементарная теория; 2—теория Лява; 3—предлагаемая теория; 4—точная теория; 5—теория Миндлина—Германа

где u_0 — постоянная амплитуда, $f = \frac{2\pi}{\Lambda}$ (Λ — длина волны) — волновое число, p — частота колебаний. Подставляя функцию (11) в уравнения (9) и (10), получим соответственно для уравнений (9) и (10) формулы

$$\left(\frac{c}{c_0} \right)^2 = \frac{1 + \lambda_0 (2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda} \right)^2}{1 + (2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda} \right)^2}, \quad (12)$$

$$\left(\frac{c}{c_0} \right)^2 = \frac{1}{1 + (2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda} \right)^2}. \quad (13)$$

В формулах (12), (13) $c_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ — скорость звука в однородном стержне, $c = \frac{p}{f}$ — фазовая скорость, $\lambda_0 = \frac{c_1^2}{c_0^2} = \frac{c}{f}$, где $c_1 = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$ — скорость волны сдвига.

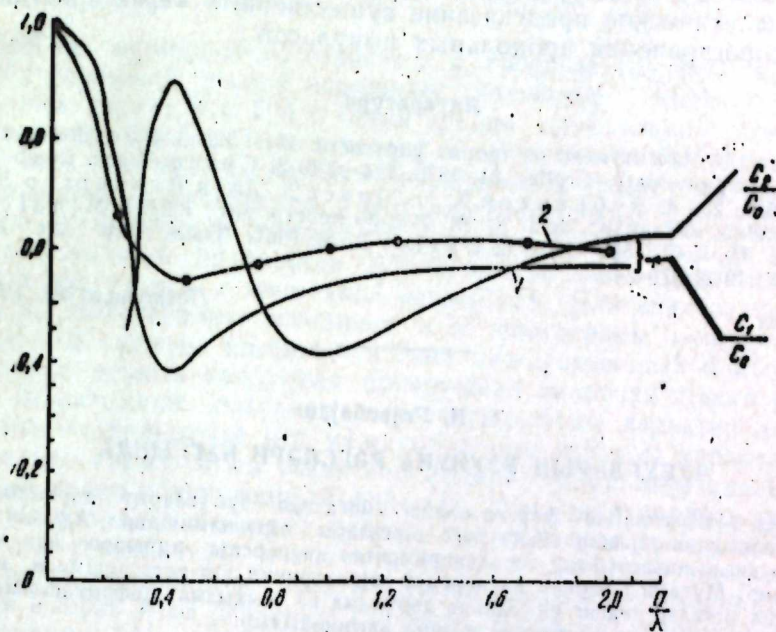


Рис. 2. 1—экспериментальные кривые Дейвиса; 2—предлагаемая теория.

На рис. 1 построены дисперсионные кривые, соответствующие формулам (12), (13), точной теории Похгаммера—Кри [2, 3], элементарной теории [4] и теории Миндлина—Германа [5]. Графики показывают, что кривая, соответствующая формуле (12), весьма близка ветвям точной теории и теории Миндлина—Германа, то время как кривая, соответствующая теории Лява, хорошо согласуется с кривой теории Похгаммера—Кри лишь для достаточно длинных волн. Это говорит о важности учета энергии сдвига в теории колебаний стержней. Дейвисом [6] экспериментально исследовано явление дисперсии на основе метода стационарной фазы Кельвина и определена групповая скорость пакета волн

$$c_g = c - \Lambda \frac{dc}{d\Lambda}. \quad (14)$$

Пользуясь формулами (12) и (14), можно построить кривые групповых скоростей для продольных упругих волн

$$\frac{c_g}{c_0} = \frac{c}{c_0} - \frac{(2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda}\right)^2}{\left(\frac{c}{c_0}\right) \left[1 + (2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda}\right)^2\right]} \left[\frac{1 + \lambda_0 (2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda}\right)^2}{1 + (2\pi\nu)^2 \left(\frac{r_0}{\Lambda}\right)^2} - \lambda_0 \right]. \quad (15)$$

На рис. 2 дано прямое сравнение результатов предлагаемой теории с экспериментальными данными Дейвиса [6]. Как видно из графиков, результаты предлагаемой теории и эксперимента согласуются удовлетворительно. Поэтому предложенная теория делает возможным достаточно точное аналитическое предсказание существенных характеристик процесса распространения продольных импульсов.

Литература

1. Ляв А. Математическая теория упругости. М., 1935. 2. Pochhammer L. J. reine und angew. Math (Crelle). 81, 1876, 324—336. 3. Chree. Trans. Camb. Philos. Soc., 14, 1889, 250. 4. Эйбрамсон Х. Н., Пласс Х. Дж. и Риппергер Э. А. В сб.: "Проблемы механики", вып. III. М. Изд-во иностр. лит., 1961. 5. Mindlin R. D. Phys. Rev., 75, 1949, 1552—1555. 6. Davies R. M. Phil. Trans. Roy. Soc. London, 240, Ser. A, 1948, 375—457.

Поступило 25. VIII 1978

ВНИПИгаз

Т. Н. Гијасбәли

ЧУБУГЛАРЫН УЗУНУНА РЭГСЛЭРИ ҲАГГЫНДА

Мөвчуд тэдгигатлардан фэргли олараг мөгалэдэ чубугларын дартылмасындан вэ сыхылмасындан жаранан ениэ рэгс далгалары өрәнилимшидир. Алынган нэзэри нэтичэлэр дэгиг нэзэриллэр вэ экспериментал дисперсија эрилэри илэ мугајисэ едилмишидир. Мугајисэ олунан дисперсија эрилэрини үст-үстэ дүшмәси көстэрирки, узунуна рэгслэр тэдгиг едилдикдэ дартылма вэ сыхылма деформасияларындан. жаранан ениэ сүрүшмө далгалары нэзэрэ алынмалыдыр.

T. N. Kiyasbeily

TO THE THEORY OF THE RODS' LONGITUDINAL OSCILLATION

In the article the rods' longitudinal oscillations are considered with the regard for the inertia of the transversal shift caused by the longitudinal deformation. The results of the theoretical studies are compared with the dispersive curves of the exact theory and experimental studies.

The good agreement of the results allows to conclude about the necessity of taking into account the strain waves of the transversal shift when studying the longitudinal oscillations of the rods.

Член-корр. АН Азерб. ССР А. А. АЛИЗАДЕ, Ф. Л. ХЫДЫРОВ

ОПТИКО-ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗРЯДОВ МОЛНИИ

Разряд молнии (РМ) относится к грозным явлениям природы и наносит огромный ущерб народному хозяйству. Поэтому изучение различных параметров РМ с точки зрения оптимальной грозозащиты представляет большой практический и теоретический интерес. Ниже приводится анализ многолетних исследований различных параметров РМ, полученных оптическим и осциллографическим методами в специально сооруженной полевой лаборатории г. Шуши. Для изучения многократности и лидерности РМ использовались различные конструкции фотокамер с временной разверткой. Для анализа были отобраны 24 бойсограммы наземных и 13 бойсограмм междуоблачных разрядов. В четырех наземных и семи междуоблачных бойсограммах разрядов в первых импульсах обнаружена лидерная стадия разряда. Один из наземных разрядов имел ступенчатый характер лидера, а остальные — стрельчатый. Все междуоблачные разряды характеризовались только ступенчатым развитием лидера. Результаты анализа подтвердили ранее обнаруженный факт [1], что лидер первого импульса наземных разрядов в горных районах в отличие от равнинных может иметь как ступенчатый, так и стрельчатый характер развития. Это объясняется различной высотой и электрической структурой грозовых облаков в горах и на равнинах. Скорость развития ступенчатого лидера наземных РМ составляет $2,5 \cdot 10^4$ м/с, а наземных РМ стреловидных колеблется от $0,7 \cdot 10^6$ до $1,5 \cdot 10^6$ м/с.

Полученные нами бойсограммы междуоблачных разрядов интересны с точки зрения качественных и количественных особенностей протекания механизма их развития. Как отмечалось выше, междуоблачные разряды развиваются только ступенчато и их скорости изменяются в пределах $3 \cdot 10^4$ — $1,5 \cdot 10^5$ м/с. Интервал времени между ступенями в междуоблачных разрядах несколько больше, чем в наземных. Очевидно, это связано с большим сопротивлением междуоблачных слоев.

Длина видимой части канала молнии между облаком и землей по траектории канала на плоскости пленки для 99 разрядов варьирует от 0,4 до 4 км со средним значением ~ 1 км.

Междуоблачные разряды имеют большую длину (видимую часть), чем разряды "облако—земля", и ее предельные значения достигают 6—7 км. Эти разряды имеют сложную траекторию. Полученные снимки наземных и междуоблачных разрядов свидетельствуют о том, что в горах высота нижней границы грозовых облаков над землей обычно составляет $\sim 1,0$ — $1,5$ км.

На основании снимков определены коэффициенты искривления каналов разряда, выражающиеся отношением длины траектории разряда в плоскости фотографии к кратчайшему пути между началом и концом канала. Результаты по 61 наземному разряду приведены ниже.

| K_n | $n, \%$ |
|----------|---------|
| 1,0—1,2 | 56 |
| 1,21—1,4 | 25 |
| 1,41—2,0 | 16 |
| 2,01—2,4 | 3 |

Среднее значение $K_n = 1,28$. Этот коэффициент определен и другими исследователями [2,3], у которых $K_n = 1,3$. Для междуоблачных разрядов K_n доходит до 7,4.

Из анализируемых 99 наземных разрядов в 35 случаях разряды являлись разветвленными. Максимальное число разветвлений—7. Разветвления канала разряда обычно характерные для первых импульсов. В двух случаях разветвления наблюдались также во втором импульсе. Некоторые снимки показывают значительную длину ответвлений, иногда превышающую длину основного канала разряда. Полученным снимкам определена высота ориентации, с которой разряд направляется прямо на землю:

| Высота ориентации, м | $n, \%$ |
|----------------------|---------|
| 100—200 | 20 |
| 201—300 | 29 |
| 301—400 | 20 |
| 401—500 | 9,5 |
| 501—600 | 13 |
| 603—714 | 8,5 |

Как видно, высота ориентации разряда молнии на землю изменяется в довольно широком диапазоне: от 100 до 714 м. Дважды разряд вблизи земли очень резко менял свою траекторию, и в этих случаях высота ориентации была минимальной—77 и 80 м. Обычно большие высоты ориентировки наблюдались в более ярких каналах разряда по отношению к другим разрядам.

Траектории наземных разрядов очень разнообразны, на некоторых участках канала они напоминают траектории междуоблачных разрядов. На рис. 1 приведена траектория канала на высоте ~630 м от земли, похожая на траекторию междуоблачных разрядов. На указанной высоте разряд образует петлю и направляется на землю. Все шесть его ветвей направлены вниз.

Изучение формы волны напряженности электрического поля однопольных и многоимпульсных РМ, а также определение амплитуды и крутизны тока молнии проводилось осциллографированием индуктированных напряжений на плоскостной антенне при обратных РМ. Как указано в [4], форма волны напряженности электрического поля около земли совпадает с формой волны тока молнии, если напряженность электрического поля E определяется в основном радиационной составляющей. Анализ данных из [5,6] и проведенных нами регистраций E показывает, что при измерениях напряженности электрического поля даже на таких близких расстояниях, как 2—3 км от места разряда молнии, напряженность в течение первых 10 мкс опре-

деляется в основном радиационной составляющей. Нарастание тока молнии до максимального значения завершается обычно за это время. Следовательно, регистрируя форму волны напряженности электрического поля, обусловленную токами обратных разрядов, можно судить и о форме фронта волны тока в канале молнии. Этот метод регистрации дает нам возможность собрать за короткий срок большое количество статистических данных относительно формы волны тока молнии.



Рис. 1. Разряд молнии на землю, сфотографированный в 4,5 км от места разряда (длина канала по траектории разряда 1,73 км)

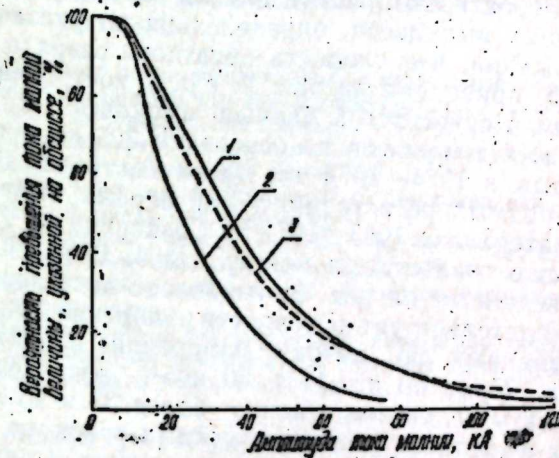


Рис. 2. Вероятность распределения амплитуды токов молнии: 1—для первых импульсов разрядов „облако—земля“ (417 регистраций); 2—для последующих импульсов разрядов „облако—земля“ (325 регистраций); 3—для первых импульсов нисходящих молний (126 регистраций) по [7]

В течение 1974—1977 гг. нами получено 345 качественных осциллограмм напряженности электрического поля, которые обусловлены импульсами тока наземных разрядов молнии, происходящих на расстоянии до 11 км от места наблюдения. Расстояние до места разряда молнии определялось разностью во времени между электромагнитными и акустическими сигналами, излучаемыми каналом разряда молнии. Анализ полученных материалов показывает, что как амплитудное значение E , так и ее форма волны для разных разрядов различны.

Амплитуды напряженности электрического поля имеют большой разброс, т. е. на одном и том же расстоянии от разряда можно ожидать напряженности с амплитудой от сотен В/см до нескольких кВ/м. Так, на расстоянии 1 км значение E зарегистрировано в пределах от 3,5 до 9,4 кВ/м, а на расстоянии 2,5 км оно изменялось в еще больших пределах—от 180 до 2200 В/м. Судя по накопленному материалу, примерно у 23% зарегистрированных многоимпульсных разрядов максимальное значение E приходится на последующие импульсы.

Из осциллограмм E определены длины фронта волны первых и последующих импульсов. У первых импульсов они изменяются от 0,8 до 22 мкс—со средним значением 3 мкс (345 регистраций), а для последующих—от 0,5 до 14 мкс с средним значением 2,1 мкс (325

регистраций). Измерение длины фронта проводилось по методу МЭК 10 и 90%-ной максимальной величины. При этом погрешность составила $\pm 0,5$ мкс, при развертке импульсов—5 мкс/см. Эта погрешность связана с определением нулевой линии потенциала.

По напряженности электрического поля вблизи поверхности земли, измеряющейся с помощью плоскостной антенны, для разряда „облако—земля“ по методике, приведенной в [4], можно определить ток в канале разряда молнии.

Вероятность распределения амплитуды токов первых и последующих импульсов, определенная по указанной методике при предположении, что скорость обратного разряда равна половине скорости света, приведена на рис. 2. Кр. 1 построена на основании 417 измерений и относится к первым импульсам, кр. 2 построена для последующих импульсов на основании 325 измерений по материалам, полученным в 1974—1977 гг. Кр. 3 построена Бергером [7] на основании 126 прямых регистраций токов первых импульсов нисходящих молний по материалам 1963—1971 гг. Сравнение кр. 1 и 3 показывает, что они хорошо согласуются между собой. Если учесть, что данные Бергера, приведенные на рис. 2, наиболее достоверны, то совпадение кр. 1 и 3 свидетельствует о точности измерений амплитуд токов молний, произведенных по методу измерений напряженности электрического поля. Судя по кр. 1, у 50 и 5% разрядов первые импульсы имели амплитуды соответственно более 35 и 95 кА. Амплитуды последующих импульсов многоимпульсных разрядов составляли 22, 60 кА и более. Зная амплитуду тока молнии и длину его фронта, из осциллограммы E можно получить усредненные значения крутизны тока молнии. У 50% разрядов как первые, так и последующие импульсы имели крутизну примерно 10 кА/мкс и выше.

Созданная в лаборатории аппаратура позволяет синхронно регистрировать оптические и осциллографические параметры РМ. Анализ полученных материалов показывает, что форма волны напряженности электрического поля наземных разрядов отличается от формы E междуоблачных разрядов. Для наземных разрядов характерна импульсная форма, похожая на стандартный импульс, а форма волны E междуоблачных разрядов имеет пологий фронт и пологий хвост. Кроме того, первичным анализом установлено, что амплитуда E междуоблачных разрядов в первых импульсах обычно меньше, чем в последующих, что, по всей вероятности, объясняется различием механизмов развития разрядов молнии. Сопоставление оптического и осциллографического материалов показывает, что ярко освещенному каналу молнии соответствуют в основном большие амплитуды напряженности электрического поля, причем относится это как к отдельным разрядам, так и к импульсам в многократном разряде.

Литература

1. Ализаде А. А., Багдасаров А. А. „Электричество“, 1940, № 2, 39—42.
2. Schotland B. F. J., Collens H. Proc. Roy. Soc. (London), A 143, 1934, 654—674.
3. Горин Б. Н., Сахаров Г. С., Тихомиров В. В., Шкилев А. В. Тр. ЭНИИ им. Кржижановского, 1975, № 43, 63—77.
4. Ализаде А. А., Муслимов М. М., Хыдыров Ф. Л. „Электричество“, 1976, № 11, 67—68.
5. Уман М. А., Mc Lain D. K., Fisher R. J., Krider E. P. J. Geophys. Res., 78, 1973, № 18, 3523—3529.
6. Уман М. А., Brantley R. D., Lin Y. T., Til-

ler J. A., Krider E. P., Mc Lain D. K. J. Geophys. Res., 80, 1975, № 3, 373—376.
7. Berger K. Bull. SEV, 63, 1972, № 24, 1403—1422.

Институт энергетики
и.м. Есьмана

Поступило 17. IV 1978

А. А. Элизаде, Ф. Л. Хыдыров

ИЛДЫРЫМ БОШАЛМАЛАРЫНЫН ОПТИК-ОССИЛОГРАФИК ҮСУЛЛА ТЭДГИГИ

Магаләдә илдырым бошамаларынын оптик-осциллографик үсулла тәдигатындан алынган нәтичәләрдән бәһс едилир. Көстәрилик ки, даг јерләриндә булудун ашагы сәрһәддини јердән һүндүрлүјү дүзәилк јерләрдәкинә нисбәтән алчаг олдуғуна көрә, булудла јерарасы бошамаларда чохимпулсу илдырымын 1-чи импулсунун лидери һәм пилләвары, һәм дә охвары формада никишаф едә биләр.

Алынмыш бојсограмлар тәсдиг едир ки, булудларарасы бошамаларда 1-чи импулсун лидери һәмнишә пилләвары формада никишаф едир.

Чәкилиш илдырым фотошәкилләринә әсасән каналын узунлуғу, һавада нә кими истигамәтләрдә һәркәти вә јерә доғру јөнәлмә һүндүрлүјү тәјин едилир.

Електрик саһә кәркинлијини осциллограмына әсасән илдырым чәрәјанынын амплитуду, диклији вә чәбһәси тәјин едилир.

Илдырым бошамасы параметрләрини оптик-осциллограф васитәсилә синхрон гејд олунмасы көстәрир ки, булудла јерарасы бошамаларда електрик саһә кәркинлији формача булудларарасы бошамалардан хејли фәргләнир.

A. A. Alizade, F. L. Khydyrov

THE OPTICAL-OSCILLOGRAPHIC INVESTIGATION OF LIGHTNING DISCHARGES

The results of lightning discharges investigations, are obtained by optical-oscillographic technique. The obtained boisgram assure, that first impulse in intercloud discharges arises with stepped leader.

We have defined the channel's length, coefficient of channel's curving and height of discharge orientation.

By oscillograms of the electric field strength we have defined the amplitude, slope and duration time of lightning current wave front.

The synchronous registration of lightning parameters by optic-oscillographic technique shows, that impulse form of electric field strength for subearth discharges differs heavily from that of intercloud discharges.

И. Р. АМИРАСЛАНОВ, член-корр. АН Азерб. ССР Х. С. МАМЕДОВ,
Э. М. МОВСУМОВ, Г. Н. НАДЖАФОВ, Ф. Н. МУСАЕВ

**КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА
ГИДРАТА бис-(*n*-АМИНОБЕНЗОАТО) ЦИНКА (II)**

Несмотря на значительный интерес к координационной химии комплексов металлов с аминокислотой как многоатомных

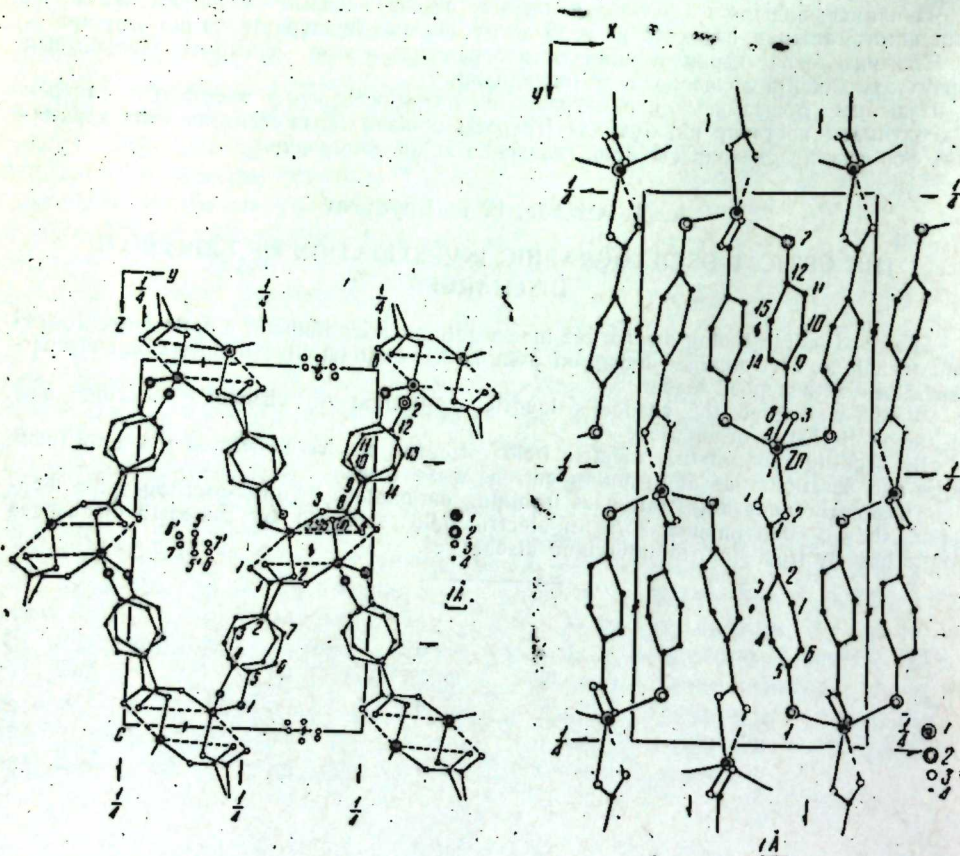


Рис. 1. Кристаллическая структура комплекса (вид вдоль [100]): 1—Zn; 2—N; 3—O; 4—C

Рис. 2. Кристаллическая структура комплекса (вид вдоль [001]): 1—Zn; 2—N; 3—O; 4—C

лигандов [1—10], структуры этих соединений изучены недостаточно. Нами кристаллическая и молекулярная структура комплексов *n*-аминобензойной кислоты с некоторыми металлами описана в [III].

Настоящая статья освещает результаты рентгеноструктурного анализа гидрата бис-(*n*-аминобензоата) цинка (II)— $[(H_2NH_6H_4COO)_2Zn]_n \times 1,5n H_2O$, который позволяет сравнивать молекулярную структуру с учетом ИК-спектроскопических и других данных изучения этого соединения.

Для получения кристаллографических данных выбран кристалл размером $0,20 \times 0,22 \times 0,81$ мм, вытянутый вдоль оси вращения *a*. Параметры орторомбической ячейки определены и уточнены на автоматическом дифрактометре P2, „Синтекс“: $a=7,623$ (1), $b=11,189$ (3), $c=16,873$ (5) Å, $V=1439$ Å³, $Z=4$, пространственная группа $P2_12_12_1$.

При расшифровке и уточнении структуры использовано 1070 независимых ненулевых рефлексов с $I > 1,96\sigma$, зарегистрированных на тура расшифрована методом тяжелого атома и уточнена методом наименьших квадратов. Конечный *R*-фактор составил 0,052.

| Связь | <i>d</i> | Связь | <i>d</i> | Угол | ω |
|----------------|------------|---------------|------------|-------------------|-----------|
| Zn—O (2) | 1,979 (6) | C (2)—C (7) | 1,385 (15) | — | — |
| Zn—O (3) | 1,943 (7) | C (3)—C (4) | 1,382 (14) | — | — |
| Zn—N (1)* | 2,058 (10) | C (4)—C (5) | 1,394 (14) | — | — |
| Zn—N (2)** | 2,053 (9) | C (5)—C (6) | 1,370 (15) | — | — |
| O (1)—C (1) | 1,230 (13) | C (6)—C (7) | 1,401 (14) | O (2) ZnO (3) | 113,0 (3) |
| O (2)—C (1) | 1,301 (14) | C (7)—C (9) | 1,544 (37) | O (2) ZnN (1)* | 102,3 (3) |
| O (3)—C (8) | 1,268 (14) | C (9)—C (10) | 1,393 (13) | O (2) ZnN (2)** | 122,0 (3) |
| O (4)—C (8) | 1,250 (13) | C (9)—C (14) | 1,421 (14) | O (3) ZnN (1)* | 100,3 (3) |
| N (1)*—C (5) | 1,499 (12) | C (10)—C (11) | 1,361 (13) | O (3) ZnN (2)** | 100,8 (3) |
| N (2)**—C (12) | 1,464 (12) | C (11)—C (12) | 1,451 (14) | N (1)* ZnN (2)** | 116,8 (3) |
| C (1)—C (2) | 1,552 (35) | C (12)—C (13) | 1,398 (13) | ZnO (1) C (1) | 78,8 (6) |
| C (2)—C (3) | 1,397 (15) | C (13)—C (14) | 1,421 (14) | ZnO (2) C (1) | 100,4 (6) |
| | | | | O (1) C (1) O (2) | 122,4 (5) |

Примечание. *— $3/2-x, 1-y, 1/2-z$; **— $1-x, 1/2-x, 1/2-z$.

Как видно из рис. 1 и 2, лиганд образует твердый трехмерный каркас и молекулы держатся вместе с Zn—L-связями, образуя туннели, которые протягиваются параллельно оси *a*. Туннели достаточно крупные для помещения в них молекул воды, которые могут быть удалены без нарушения каркаса. В соответствии [6] этот цеолитный тип дегидратируется при 85–97°C. В рассматриваемой структуре молекулы воды статистически распределены в 6-возможных позициях, которые более склонны к образованию H-связей.

Каждый лиганд—COOH и —NH₂ концами соединяется одновременно с двумя атомами Zn, что соответствует [6,9]. Два атома азота двух различных лигандов (Zn—N(1) 2,058(10) Å, Zn—N(2) 2,053(9) Å, ср. 2,056 Å), один атом кислорода из третьего (Zn—O(2) 1,979(6) Å) и один атом кислорода из четвертого лиганда (Zn—O(3) 1,943(7) Å) включаются в координацию атома цинка. Эта координация может быть обозначена как искаженная тригональная бипирамида. В таблице приложены значения длин связей *d* Å и некоторых углов ω (°).

1. Dubsy J. V., Trtylek J. Chem. Listy, 29, 1935, 76. 2. Хакимов Х. Х., Азимов М. А. Тр. Ташкент. фарм. Ин-та 2, 1960, 279. 3. Алявия М. К., Сайдалиев Т., Ташпулатов Ю. Т. ЖНХ, X, вып. 6, 1965, 1943. 4. Алявия М. К., Теплякова З. М. ЖНХ, X, вып. 11, 1965, 2505. 5. Aggarwal R. C., Singh P. P. J. Inorg. Nucl. Chem., 27, 1965, 2593. 6. Kidani Yoshinori, Saito Reiko, Koike Hisoshi. J. Pharm. Soc. Japan, 92, 1972, № 2, 1063. 7. Inomata Radaaki a. Morigaki Tokao. Bull. Chem. Soc. Japan, 46, 1973, № 4, 1148—1154. 8. Алявия М. К., Мирхидоятов М. М., Леонтьев В. В., Садыков А. С. Тез. докл. XI Всесоюз. совещ. по хим. комплексных соединений. Алма-Ата, 1973. 9. Noji Masakide, Kidani Yoshinori. Bunseki Kagaku, 24, 1975, № 9, 545—552. 10. Ефремова Г. И., Бучкова Р. Т., Лапицкая А. В., Пирекс С. Б. ЖНХ, XXII, вып. 4, 1977, 948. 11. Амрасланов И. Р., Мамедов Х. С., Мовсумов Э. М. Тез. докл. I Всесоюз. совещ. по неорганич. кристаллохимии и сессии секции кристаллохимии по проблеме "Строение координационных соединений". Звенигород, 1977.

Институт неорганической и физической химии АН Азерб. ССР
Институт физики
АН Азерб. ССР

Поступило 31. V 1978

И. Р. Эмирасланов, Х. С. Маммедов, Е. М. Мовсумов,
Н. Н. Нажафов, Ф. Н. Мусаев

БИС-(*n*-АМИНОБЕНЗОАТО) СИНК (II) ГИДРАТЫНЫН
КРИСТАЛ ВЭ МОЛЕКУЛАР ГУРУЛУШУ

Магаләдә рентгенструктур тәдқиғат үсүлү илә бис-(*n*-аминобензоато) синк (II) гидратынын— $[(H_2NC_6H_4COO)_2Zn]_n \cdot 1,5nH_2O$ кристал вә молекуллар гурулушу өдрәнилмишдир. Орторомбик кристал гәфәсинини параметрләри беләдир: $a=7,623(1)$, $b=11,189(3)$, $c=16,873(5)$ Å, $V=1439$ Å³, $Z=4$, фәза групу $P2_12_12_1$, $R=0,052$.

I. R. Amiraslanov, Kh. S. Mamedov, E. M. Movsumov,
H. N. Najafov, F. N. Musayev

CRYSTAL AND MOLECULAR STRUCTURE OF THE HYDRATE
bis-(*n*-AMINO BENZOATE) ZINC (II)

The present paper deals with X-ray analysis of the $[(H_2NC_6H_4COO)_2Zn]_n \cdot 1,5nH_2O$ which was undertaken to permit a comparison of its molecular structure and dimensions with those deduced from IR data and other studies of these compounds. The compound crystallized in the orthorhombic space group $P2_12_12_1$ with $a=7,623(1)$, $b=11,189(3)$, $c=16,873(5)$ Å, $V=1439$ Å³, $Z=4$, $R=0,052$.

Ф. П. ГАСАНОВ, С. М. АЛИЕВ, Р. А. БАБАХАНОВ, С. М. КЯЗИМОВ

ОКИСЛИТЕЛЬНОЕ ХЛОРИРОВАНИЕ ЦИКЛОГЕКСАНА

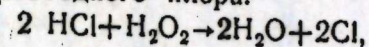
(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Т. Н. Шахтахтинским)

Известны способы термического, каталитического, фотохимического и электрохимического хлорирования углеводородов алициклического ряда [1—13]. Однако отсутствуют какие-либо сведения относительно окислительного хлорирования этих соединений, предусматривающего использование смеси соляной кислоты и пергидроля в качестве хлорирующего агента.

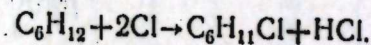
В работах [14—16] сообщается об успешном применении окислительного хлорирования углеводородов ароматического ряда с использованием в качестве хлорирующего агента технической соляной кислоты и пергидроля.

В данной статье приводятся результаты исследования по окислительному хлорированию циклогексана, проведенному путем обработки последнего со смесью соляной кислоты и водного раствора перекиси водорода (пергидроля).

Исходя из имеющихся сведений можно предположить, что окислительное хлорирование циклогексана протекает в двух последовательных стадиях. В первой хлористый водород под воздействием перекиси водорода окисляется до свободного хлора:



во второй выделившийся хлор вступает во взаимодействие с циклогексаном по схеме



Опыты по изучению реакции взаимодействия циклогексана со смесью соляной кислоты и пергидроля проводились по следующей методике: в трехгорлую круглодонную колбу, снабженную термометром, мешалкой, обратным холодильником и капельной воронкой, помещали рассчитанные количества соляной кислоты и циклогексана и при интенсивном перемешивании к реакционной смеси по каплям прибавляли необходимое количество водного раствора перекиси водорода (пергидроля), поддерживая при этом температуру реакционной среды в заданном интервале. Реакционную массу дополнительно перемешивали в течение определенного времени при заданной температуре и после остывания переносили в делительную воронку. Углеводородный слой, содержащий продукт реакции, промывали сначала слабым водным раствором соды, а затем водой, сушили над безводным хлористым кальцием и после отгонки не вступившего в реакцию циклогексана подвергали ректификации. Полученный таким образом

хлорциклогексан имел следующие показатели: т. кип. 142—143°
 n_D^{20} 1,4624, d_4^{20} 1,0102.

Найдено, % : С 60,45, Н 9,48, Cl 29,72.

Вычислено, % : С 60,76, Н 9,28, Cl 29,96.

Лит. данные [17]: т. кип. 142,5°, d_4^{20} 1,0161.

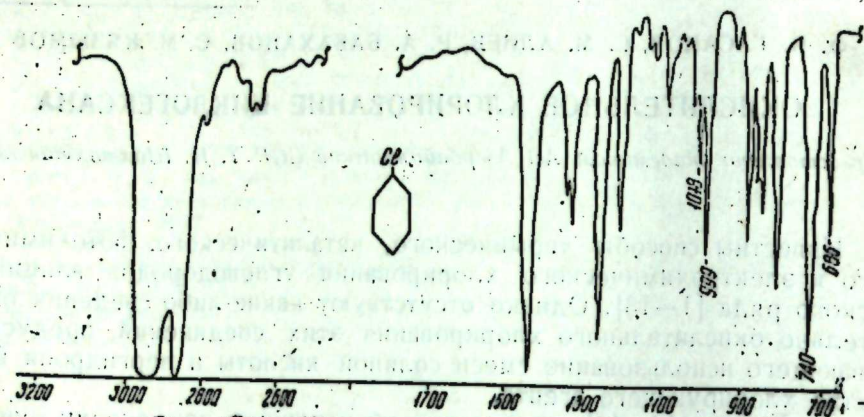


Рис. 1

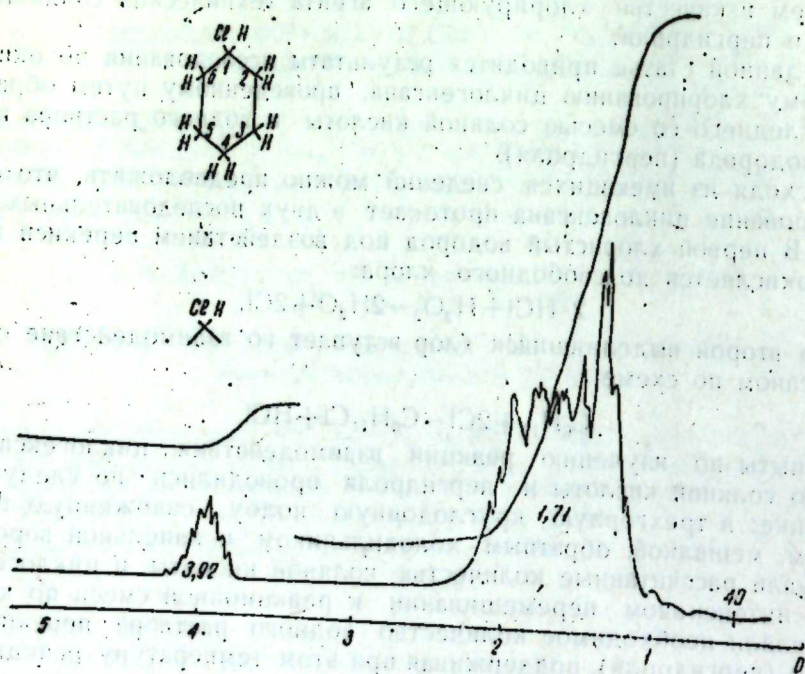


Рис. 2

Структура полученного хлорциклогексана подтверждена данными ИК- и ПМР-спектроскопии (рис. 1 и 2), а чистота контролировалась с помощью газожидкостной хроматографии на приборе ЛХМ-7 А (адсорбент ПЭГ-4000, нанесенный на кирпич ИНЗ-600, скорость газаносителя (азота) 50 мл/мин, длина колонки 3 м, температура 140°).

В ИК-спектре (рис. 1) полученного продукта обнаружены следующие характерные для хлорциклогексана полосы поглощения: 1018, 999 $см^{-1}$ (для циклогексанового кольца [18]), 740 (С—Cl-экваториальная), 686 $см^{-1}$ (С—Cl-аксиальная).

Наличие плохо разрешенных мультиплетов в областях 3,92 м. д. (протон в положении 1) и 1,71 м. д. (протоны в положениях 2, 3, 4, 5, 6) с отношением интенсивностей 1:10 в ПМР-спектре (рис. 2) полученного продукта хорошо согласуется со структурой хлорциклогексана.

С целью нахождения оптимальных условий синтеза хлорциклогексана изучено влияние различных факторов (молярное соотношение реагирующих компонентов, температура, концентрация соляной кислоты и продолжительность опыта) на выход целевого продукта при оксихлорировании циклогексана со смесью соляной кислоты и пергидроля. Полученные данные сведены в таблицу.

| Т-ра, °С | Молярное соотношение циклогексан: соляная кислота: перекись водорода | Конц-ия соляной кислоты | Конц-ия пергидроля | Продолжительность опыта, ч | Выход хлорциклогексана от теории, % |
|----------|--|-------------------------|--------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| | | % | | | |
| 10 | 1:6:1 | 36 | 28 | 6 | 3,2 |
| 20 | 1:6:1 | 36 | 28 | 6 | 16,3 |
| 30 | 1:6:1 | 36 | 28 | 6 | 27,8 |
| 40 | 1:6:1 | 36 | 28 | 6 | 48,1 |
| 50 | 1:6:1 | 36 | 28 | 6 | 27,0 |
| 60 | 1:6:1 | 36 | 28 | 6 | 9,0 |
| 40 | 2:6:1 | 36 | 28 | 6 | 49,3 |
| 40 | 3:6:1 | 36 | 28 | 6 | 50,6 |
| 40 | 4:6:1 | 36 | 28 | 6 | 51,7 |
| 40 | 1:1:1 | 36 | 28 | 6 | 2,7 |
| 40 | 1:2:1 | 36 | 28 | 6 | 5,7 |
| 40 | 1:4:1 | 36 | 28 | 6 | 26,6 |
| 40 | 1:8:1 | 36 | 28 | 6 | 50,8 |
| 40 | 1:6:1 | 24 | 28 | 6 | 19,3 |
| 40 | 1:6:1 | 12 | 28 | 6 | 1,2 |
| 40 | 1:6:1 | 36 | 28 | 2 | 28,6 |
| 40 | 1:6:1 | 36 | 28 | 4 | 42,1 |
| 40 | 1:6:1 | 36 | 28 | 8 | 51,4 |
| 40 | 1:6:1 | 36 | 28 | 10 | 51,6 |

Как видно, повышение температуры в реакционной среде от 10 до 40° способствует резкому увеличению выхода целевого продукта. Между тем дальнейшее увеличение температуры оказывает обратное действие.

Повышение содержания и концентрации соляной кислоты в реакционной среде, а также увеличение продолжительности опыта также приводят к значительному повышению выхода хлорциклогексана.

Данные таблицы показывают, что наилучшие выходы хлорциклогексана достигаются при следующих условиях: температура 40°, молярное соотношение $C_6H_{12} : HCl : H_2O_2$ 1:6:1, концентрация соляной кислоты 36% и продолжительность опыта 8 ч.

Выводы

1. Изучена реакция оксихлорирования циклогексана с использованием смеси соляной кислоты и перекиси водорода в качестве хлорирующего агента.

2. Установлено, что повышение температуры, содержания и концентрации соляной кислоты, а также продолжительности опыта способствуют резкому увеличению выхода хлорциклогексана.

Литература

1. Эллис К. Химия углеводородов нефти и их производных. М., 1938. 2. Зелинский Н. Д. Бер. 41, 1908, 2627. 3. Шуйкин Н. И., Некрасова В. А., Новиков С. Х. ЖОХ, 28, 1958. 15. 4. Марковников В. В. ЖРФХО, 35, 1903, № 1, 1023. 5. Амер. пат. 2224155, 1939. 6. Амер. пат. 2287665, 1945. 7. Амер. пат. 2154049, 1939. 8. Мехтиев С. Д. и др. ДАН Азерб. ССР, XVII, 1961, № 7, 579. 9. Мехтиев С. Д. и др. Азерб. хим. ж., 1962, № 2, 19. 10. Мехтиев С. Д. и др. Изв. АН Азерб. ССР, 1957, № 6, 53. 11. Мехтиев С. Д. и др. Тр. Ин-та нефти АН Азерб. ССР, 1958, № 5, 61. 12. Мехтиев С. Д. и др. Изв. АН Азерб. ССР, 1958, № 5, 13. Мехтиев С. Д. и др. ДАН Азерб. ССР, XIV, 1958, № 12, 985. 14. Авт. свид. СССР № 386891, 18. 10. 1972. Откр. Изобр. пром. обр. и тов. знаки. 1973, № 27. 15. Салахов М. С., Гусейнов М. М., Чалабнев Ч. А., Абдуллаев Д. К. Нефтехимия, XIV, 1974, 471. 16. Салахов М. С., Гусейнов М. М., Чалабнев Ч. А., Абдуллаев Д. К. Нефтехимия, XV, 1975, 601. 17. Справочник химика, т. II, М., 1964. 18. Marrison. J. Chem. Soc., 1951, 1614.

АМИ и.м. Нариманова

Поступило 14. III 1978

Ф. П. Гасанов, С. М. Алиев, Р. А. Бабаханов, С. М. Кязимов

ЦИКЛОГЕКСАНЫН ОКСИХЛОРАШМАСЫ

Хлорид туршусу ва гидроген пероксид гарышыгындан хлорлашдырычы агент кими истифадэ едэрэк илк дэфэ олараг циклогексанын оксихлорлашма реаксиясы өрнелишидир.

Мүәлжән олунмушдур ки, температурун 40°C-э гэдэр жүксәлмәси, хлорид туршусунун мигдарынын ва тәчрүбә мүддәтинин артырлмасы хлорциклогексанын чыгымына мүсбәт тәсир кәстәрир.

F. P. Gasanov, S. M. Aliyev, R. A. Babakhanov, S. M. Kyazimov

OXYCHLORINATION OF CYCLOHEXANE

Cyclohexane oxychlorination reaction has been first studied in the presence of hydrochloric acid-hydrogen peroxide mixture as an oxychlorination agent.

It has been found that a temperature rise to 40°C, increased concentration of HCl and longer reaction times have a favourable effect on the yield of chlorocyclohexane.

Т. Г. КАРАГЕЗОВ, А. А. КУЛИЕВ, Л. Г. АРУСТАМОВА

ОДНОВРЕМЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕСИ НИЗКОКИПЯЩИХ ГАЗОВ O₂, N₂, CO₂, CO И ЭТИЛЕНА МЕТОДОМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Т. Н. Шахтахтинским)

Определение интенсивности газообмена плодов, а также исследование механизма этих процессов приобрели в последние годы особый интерес в свете проблемы регуляции созревания плодов. В связи с применением различных препаратов, регулирующих процессы созревания плодов [1—3], интенсивность газообмена может быть основным измеряемым показателем эффективности этих препаратов и служить контролем проявления физиологической и биохимической активности объекта.

Важную роль в процессе созревания плодов играет природный высокоактивный стимулятор созревания—этилен [4—6], обнаруживаемый в плодах, а также в других частях растительного организма как продукт обмена веществ [7,8].

Большой интерес представляет вопрос использования комплекса показателей газообмена растений для выяснения зависимости этих процессов от различных внешних и внутренних факторов, в частности от влияния этилена на дыхательный газообмен плодов.

Существуют как химические [9—11], так и биологические методы [12] определения этилена. В настоящее время значительное распространение получил метод газохроматографического определения этилена, выделяемого растительными организмами [13, 14]. Однако одновременное разделение таких газов, как N₂, O₂, CO₂, C₂H₄, является довольно трудной аналитической задачей и, как правило, требует либо применения двух различных колонок с проведением анализа в две стадии, либо двух одинаковых колонок, работающих при различных температурах, например, колонки Porapak Q, работающей при +90 и —70°C [15, 16]. Сложность анализа обусловливается удерживанием значительного количества CO₂ обычными адсорбентами, и на одной колонке отделить этот газ от низкокипящих газов при комнатной температуре практически невозможно. Так, на молекулярных ситах 13X легкие газы N₂, O₂, CO разделяются при комнатной температуре, а CO₂ элюируется лишь при нагревании до 225°C [17]. В работе [18] авторы для разделения аналогичных смесей газов предлагают пламенно-ионизационный детектор (ДИП) и детектор по теплопроводности (ДП). При этом анализ осуществляется за счет введения двух образцов или путем переключения детекторов.

Газы возможно анализировать и на параллельных колонках (с применением одного детектора), соединенных краном, при помощи которого заданные объемы пробы вводятся в каждую из колонок [19], или с применением игольчатого вентиля для уравнивания потоков газа, проходящих через колонки [10, 21].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Методика

В предлагаемом нами газохроматографическом методе одним вводом пробы анализируется вся газовая смесь, включающая O_2 , N_2 , CO_2 , CO и C_2H_4 . Температура анализа комнатная.

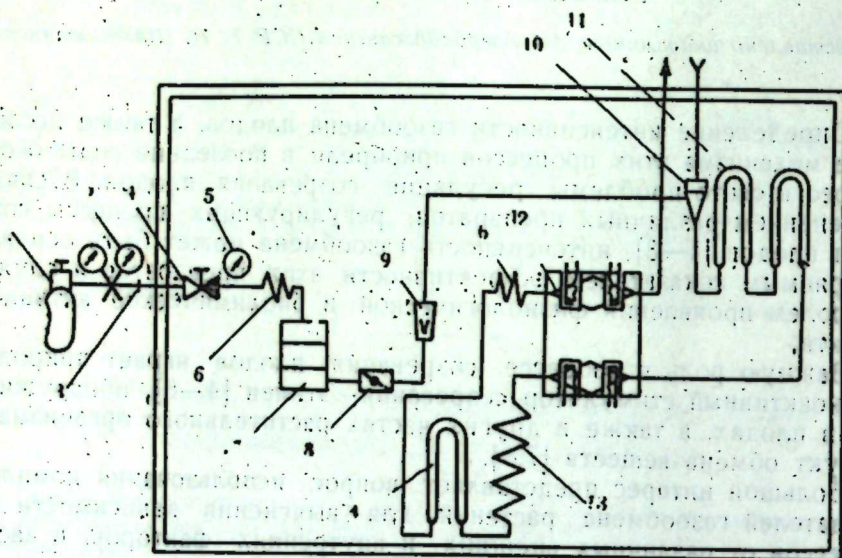


Рис. 1. Модификация функциональной схемы хроматографа ХЛ-69: 1—баллон с газом-носителем; 2—редуктор высокого давления; 3—трубка вакуумная; 4—редуктор РДВ-1; 5—манометр МТ-4; 6—змеевик; 7—фильтр; 8—дрессель; 9—ротаметр; 10—испаритель; 11—колонка I; 12—детектор; 13—металлический змеевик-замедлитель; 14—колонка II

Использован хроматограф ХЛ-69, модифицированный, как показано на рис. 1. Газовую пробу объемом 0,5–1 мл направляли в две колонки, соединенные последовательно через змеевик-замедлитель (стальной, длиной 3 м и внутренним диаметром 2 мм).

Первая колонка (дл. 2,8 м, \varnothing 4 мм) содержала 25% эфира триэтиленгликоля и *n*-масляной кислоты (ТНГМ) на ТНД–ТСМ и служила для разделения воздуха, CO_2 и углеводородных газов. Для раздельного определения O_2 , N_2 , CO использовалась вторая колонка (дл. 1,4 м, \varnothing 4 мм), заполненная молекулярными ситами 13X, которые активированы при 600°C в течение 3 ч. Хроматограмма приведена на рис. 2.

При описанных условиях работы, кроме указанных, хорошо разделяются и углеводородные газы: пропилен, бутен-1, *цис*-бутен-2, *транс*-бутен-2, дивинил, пентан.

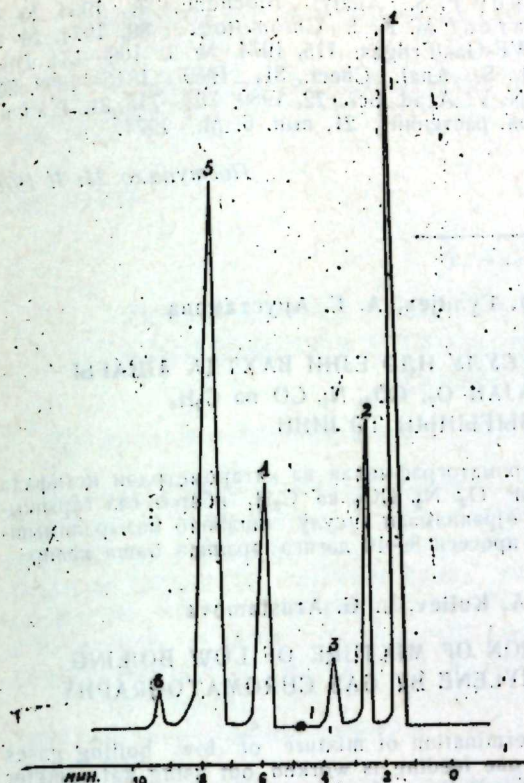


Рис. 2. Хроматограмма искусственной смеси газов O_2 , N_2 , CO_2 , CO и C_2H_4 : 1—воздух; 2—этилен; 3— CO_2 ; 4— O_2 ; 5— N_2 ; 6— CO ; —переключение полярности; I колонка—25% ТНГМ на ТНД–ТСМ, фракция 0,3–0,5 мм II колонка—молекулярные сита 13X. Скорость газа-носителя (гелий) 10 мл/мин, детектор—катарометр, температура анализа—комнатная

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Предлагаемая нами методика одновременного определения смеси низкокипящих газов O_2 , N_2 , CO_2 , CO и этилена из одной подачи с применением катарометра может быть использована при анализе сложной смеси газов, но основным ее назначением является определение газового состава, образующегося при дыхании растений. Преимуществом данной методики является то, что разделение анализируемых газов происходит при комнатной температуре за малый промежуток времени.

Литература

1. Pecheur J., Ribaillet D. In: "Facteurs et regulation de la maturation des fruits CNRS". Paris, 1975, 121.
2. Bial J. B. In: "Handbuch der Pflanzenphysiologie (W. Ruland ed.)", XII. Springer, Berlin, 1960, 536–592.
3. Pentzer W. T., Heins P. H. Ann. Rev. Plant Physiol., 5, 1954, 205.
4. Rhodes M. I. Acad. Press, 1, 1973, 521–523.
5. Pratt H. K. et Goeshol Y. D. Ann. Rev. Plant Physiol., 20, 1969, 541.
6. Kidd F., West C. Plant Physiol., 20, 1975, 437.
7. Pratt H. K. Plant Physiol., 29, 1954, 16.
8. Ficher C. W. Jr., № 4. State Slower Growers Bull., 61, 1950, 250–255.
10. Poast P. A., Lightfoot H. J., Forsyth F. R. Amer. Potato № 4, 250–255.
11. Young R. E., Pratt H. K., Biale J. B. Anal. Chem., 24, 1952, 551.
12. Crocker W., Zimmerman R. N., Hitchcock A. E. Contrib. Boyce Thompson Inst., 1939, № 4, 177.
13. Burg S. P. Ann. Rev. Plant Physiol., 13, 1962, 265.
14. Burg S. P., Burg E. A. Plant Physiol., 37, 1962, 179.
15. Bolzman D. N., Mortimer D. M. J. Chromatogr. Sci., 10, 1972, № 8, 523–527.
16. Kri-

chevsky M. J., Rogosa M., Bishop F. S. - *Analyt. Biochem.*, 7, 1961, № 3, 350—356. 17. Mand Sachchida, Sarcar M. K. J. *Chromotogr.*, 89, 1974, № 1, 73—75. 18. Lauer Kark-Heinz. *GWF-Gas/Erdgas*, 115, 1974, № 3, 108—134. Diskuss, 114. 19. Brenner N., Ettre L. S. *Anal. Chem.*, 31, 1959, 1815—1898, 20. Brenner N., Cieplinski E. *Ann. N. V. Acad. Sci.*, 72, 1989, 705—713. 21. Ракитин В. Ю., Ракитин Л. Ю. *Физиол. растений*, 21, вып. 6. М., 1974.

АГУ и.м. С. М. Кирова, ИНХП
и.м. Ю. Г. Мамедалиева

Поступило 24. II 1978

Т. Г. Гаракезов, А. Э. Гулиев, А. Г. Арустамова

ГАЗ ХРОМАТОГРАФИЈА ҲСУЛУ ИЛЭ ЕЈНИ ВАХТДА АШАҒЫ
ТЕМПЕРАТУРДА ГАЈНАЈАН O₂, CO₂, N₂, CO ВЭ C₂H₄
ГАЗ ГАРЫШЫҒЫНЫН ТЭЈИНИ

Модификасија олунмуш ХЛ—69 хроматографындан вэ катарометрдэн истифадэ юлу илэ ашағы температурда гајнајан O₂, N₂, CO₂ вэ C₂H₄ ибарэт газ гарышыгында һәмни маддэлэрин ејни вахта өјрәнилмәси үсулу ишләниб һазырланмышдыр. Тәдгиг олунан газларын ажрылма процесси 8—10 дәгигә әрзиндә баша кәлир.

T. G. Karagoyzov, A. A. Kuliev, L. G. Arustamova

SIMULTANEOUS DETERMINATION OF MIXTURE OF LOW BOILING
GASES O₂, N₂, CO₂, CO AND ETHYLENE BY GAS CHROMATOGRAPHY

The technique of simultaneous determination of mixture of low boiling gases like O₂, N₂, CO₂, CO and ethylene in one feeding is worked out using katarometer on the modified chromatograph CL-69. Separation of determined gases takes place during 8—10 minutes.

С. Ф. КАРАЕВ

РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ АЦЕТИЛЕНОВЫХ
ГАЛОИДЭФИРОВ В РЕАКЦИЯХ НУКЛЕОФИЛЬНОГО
ЗАМЕЩЕНИЯ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР К. Д. Мехтиевым)

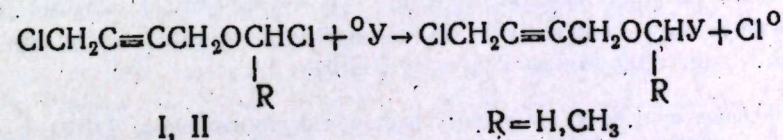
Галоидэфиры—удобные модели для изучения реакционной способности (РС) и взаимного влияния атомов и групп. В сравнении с насыщенными и этиленовыми аналогами до недавних пор недостаточно были исследованы ацетиленовые галоидэфиры [1,2]. Отсутствовали сведения об их относительной РС, в особенности таких, которые объединяет общий структурный фрагмент. Причиной этого являлась слабая разработка методов их получения.

К настоящему времени предложены способы синтеза многих типов ацетиленовых галоидэфиров [3—12] с достаточно удовлетворительными выходами.

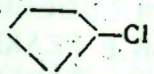
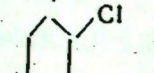
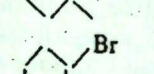
Исходя из этого весьма своевременной была попытка проанализировать и качественно оценить относительную РС в реакциях нуклеофильного замещения серии моно- и дигалоидэфилов с общим структурным фрагментом—C≡CCH₂O—(таблица) на основании накопившихся экспериментальных данных, а также из результатов осуществленных конкурирующих реакций.

Приведенный в таблице ряд галоидэфилов выбран из соображений сопоставимости и удобства для выяснения влияния кратной связи и атома кислорода, природы галогена и растворителя, введения дополнительного гетероатома, пространственных факторов и анхимерного содействия на активность атомов галогенов в исследуемых процессах.

В первую очередь казалось целесообразным выявить степень влияния двух различных по природе активирующих центров в молекуле (атома кислорода и тройной C≡C связи) на подвижность галогена. Для этой цели в качестве модельного соединения использован 1,6-дихлор-5-окса-2-гексин (I). На основании его поведения в реакциях с нуклеофилами (спирты, амины, алкоголяты) установлено, что α-эфирный атом хлора более реакционноспособен, чем α-ацетиленовый. Введение к нему „метильной помехи“ (соединение II) несколько уменьшает РС, однако взаимодействие нуклеофила с α-ацетиленовым атомом хлора при наличии α-эфирного практически осуществить не удается:

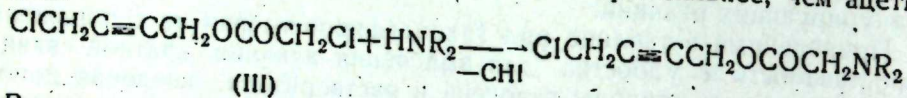


Галондэфиры $RC\equiv CCH_2OR'$

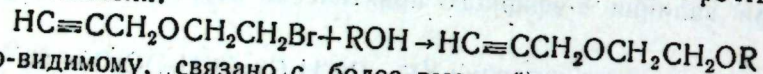
| № п.п. | R | R' | Метод синтеза [лит. ссылка] |
|--------|--------------------|---|-----------------------------|
| I | $ClCH_2$ | $ClCH_2$ | [8] |
| II | $ClCH_2$ | $ClCH_2CH_3$ | [12] |
| III | $ClCH_2$ | $COCH_2Cl$ | [11] |
| IV | H | CH_2CH_2Br | [4] |
| V | H | CH_2CH_2Cl | [5] |
| VI | H |  | [7] |
| VII | H |  | [12] |
| VIII | H |  | — |
| IX | H | $COCH_2Cl$ | [6] |
| X | $ClCH_2$ | CH_2CH_2Cl | [3] |
| XI | $(CH_3)_3Si$ | CH_2Cl | [9] |
| XII | $ClCH_2Si(CH_3)_2$ | CH_2Cl | [9] |
| XIII | $ClCH_2Si(CH_3)_2$ | CH_3CHCl | [10] |

Таким образом, при равной удаленности от атома галогена ацетиленовая связь активирует атом галогена значительно слабее, чем атом кислорода.

Аналогичным образом удалось установить, что сложноэфирная группа в соединении (III) активирует атом хлора сильнее, чем ацетиленовая.



В то же время в конкурирующей реакции (I и III) со спиртами более реакционноспособным оказался простой эфир (I). При нахождении атомов галогена в β -положении к атому кислорода РС в целом существенно уменьшается (как и в ряду предельных галондэфиров). Так, ацетиленовые моногалондэфиры (V—VIII) практически инертны в реакциях с нуклеофилами в среде низкокипящих полярных и неполярных растворителей (эфир, этанол, изопропанол, бензол, гексан), что не позволяет даже качественно сравнить их РС¹. Природа галогена вносит свой вклад в относительную РС: β -бромэтилпропаргильный эфир (IV), в отличие от хлорного аналога (V), реагирует со спиртами в изопропанолу с образованием простых эфиров этиленгликоля:



Это, по-видимому, связано с более высокой полярностью связи $C-Br$ (9.37) по сравнению с $C-Cl$ (6.53).

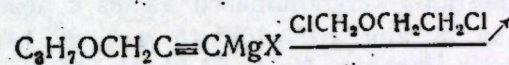
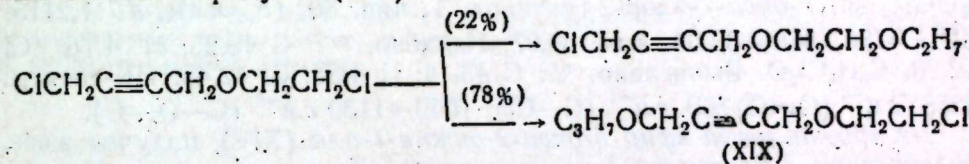
¹ Применение полярных апротонных растворителей, например, ДМСО, позволяет реализовать замещение хлора при действии нуклеофилов.

Между тем в случае шестичленных циклических β -галондэфиров (VI—VIII) реакция замещения не происходит, т. е. подтверждается то положение, что атомы галогена в кольчатых системах более инертны, чем в линейных.

Из сопоставления РС сложного эфира (IX) и простых (IV, V) (хлор-ацетат можно рассматривать как структурный аналог β -хлорэфира V), в котором два гемминальных H-атома заменены на карбонильный кислород) установлена большая РС хлор-ацетата (IX), который в неполярном растворителе (C_6H_6) вступает в реакции нуклеофильного замещения с аминами [6]. Большая подвижность атома хлора в хлор-ацетатах (IX, III) обусловлена, несомненно, промотирующим влиянием соседней сложноэфирной группы, создающей благодаря своему I-эффекту значительный дефицит электронов на C-атоме, несущем хлор.

ИК-спектроскопическое проявление взаимного влияния сложноэфирной группы и атома хлора в соединениях (III, IX) заключается в наличии явно смещенной полосы поглощения карбонильной группы, вызванном эффектом поворотной изомерии, когда на частоту группы $C=O$ влияет значительным образом атом хлора, находящийся ближе в пространстве к атому кислорода карбонильной группы (синконфигурация).

На примере взаимодействия дихлорэфира (X) с пропилатом натрия в пропанолу удалось установить, что α -ацетиленовый атом хлора более реакционноспособен, чем атом хлора в β -положении к атому кислорода. Преимущественное направление реакции подтверждено встречным синтезом продукта (XIV):



При наличии органосилильных групп по соседству с тройной связью (XI—XIII) отмечается низкая химическая активность α -эфирного атома хлора в реакциях сольволиза в сравнении с органическими аналогами [3]. Наиболее простое объяснение этому — увеличение молекулярного веса. Кремний-ацетиленовые α -хлорэфиры (XI—XIII) взаимодействуют с нуклеофилами, но в конкурирующих с соединением (I) реакциях проявляется большая РС последнего.

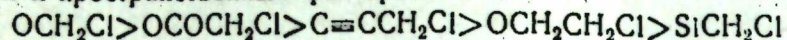
Изучение реакций дихлорэфиров (XII, XIII) позволило оценить РС атомов хлора в зависимости от природы гетероатомов (O, Si). Здесь проявляется очень низкая РС атома хлора в α -положении к атому кремния (в реакциях алкоголиза) [9, 10].

Такая пассивность α -силильного атома хлора связана с „ α -эффектом“, заключающимся в существовании внутримолекулярной координации между атомами хлора и кремния [13], которая способствует проявлению группой $ClCH_2$ электронодонорных свойств, а следовательно, упрочивает связь $C-Cl$.

Для выяснения относительной подвижности атома хлора в зависимости от α -влияния атома кремния и тройной связи использован дихлорид $ClH_2Si(CH_3)_2C\equiv CCH_2Cl$ (XV).

Из взаимодействия с нуклеофилами (пентакарбонилы марганца и рения), выяснено, что α -ацетиленовый атом хлора более реакционно-способен [9].

Таким образом, полученные результаты позволяют расположить атомы хлора в следующей ряд убывающей РС в зависимости от полярных и пространственных факторов:



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Реакционная способность двух сопоставляемых соединений определялась путем измерения относительных количеств продуктов конкурирующих реакций методом ГЖХ (серийный хроматограф ЛХМ-7А). Эталонные образцы индивидуальных продуктов реакций и данные по времени удерживания описаны в работах [3—12]. Ниже приводятся синтезы и константы неописанных соединений.

2-Пропаргиллокси-1-бромциклогексан (VIII) получен действием PBr_3 на 2-пропаргиллоксициклогексанол. Т. кип. $97-99^\circ$ (2 мм), d_4^{20} 1,3660, n_D^{20} 1,5102, M_{R_D} 47,56, выч. 49,04. Найдено, %: С 49,88; Н 5,88; Вг 36,70; $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{BrO}$. Вычислено, %: С 49,77; Н 6,03; Вг 36,83. ИК-спектр ($UR-20$, микрослой, см^{-1}): 2100 и 3300 ($\text{C}\equiv\text{CH}$), 1100 ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$). Спектр ПМР (Вариан Т-60), δ 2,15 ($=\text{C}-\text{H}$, 1H), δ 4,05 ($\text{CH}_2\text{C}\equiv\text{C}$, 2H), δ 3,45 ($\text{CH}-\text{Br}$, 1H), мультиплет 1,0—2,05 (кольцевые протоны).

2-Хлорэтиловый эфир 4-хлор-2-бутинола (X) получен действием POCl_2 на 5-окса-7-хлор-2-гептинол. Т. кип. 89° (5 мм); d_4^{20} 1,2115, n_D^{20} 1,4736, M_{R_D} 39,63, выч. 38,97. Найдено, %: С 43,25; Н 4,76; Cl 42,28, $\text{C}_6\text{H}_8\text{Cl}_2\text{O}$. Вычислено, %: С 43,14; Н 4,83; Cl 42,45. ИК-спектр: 2255 см^{-1} ($\text{C}\equiv\text{C}$) 760 см^{-1} ($\text{C}-\text{Cl}$), 1050—1130 см^{-1} ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$).

2-Хлорэтиловый эфир 5-окса-2-октин-1-ола (XIV) получен взаимодействием α -хлорметил- β -хлорэтилового эфира с реактивом Иоцича пропаргиллоксипропана. Т. кип. $107-108^\circ$ (5 мм), d_4^{20} 1,0691, n_D^{20} 1,4620, M_{R_D} 49,03, выч. 50,21. Найдено, %: С 57,49; Н 7,90; Cl 18,45. Вычислено, %: С 56,69; Н 7,93; Cl 18,59. ИК-спектр: 2240 см^{-1} (слабая, $\text{C}\equiv\text{C}$), 1095—1120 см^{-1} ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$).

Выводы

Экспериментально обоснован и предложен ряд активности атомов хлора замещенных ацетиленовых хлорэфиров в реакциях нуклеофильного замещения.

Полученные результаты могут быть использованы в направленных синтезах технически ценных продуктов для проведения реакций по желаемому реакционному центру.

Литература

1. Поконова Ю. В. Галондэфиры. М.—Л., "Наука", 1965.
2. Методы элементарной органической химии. Хлор. Аليفатические соединения. М., "Наука", 1973.
3. Шихиев И. А., Ибрагимов В. А., Караев С. Ф. ЖОХ, 41, 1971, 622.
4. Шихиев И. А., Цаликова З. М., Караев С. Ф. ЖОХ, 42, 1972, 866.
5. Караев С. Ф., Шихиев И. А., Цаликова З. М. ЖОХ, 43, 1973, 109.
6. Караев С. Ф., Цаликова З. М., Шихиев И. А. "Азерб. хим. ж.", 1974, № 4

30. 7. Караев С. Ф., Цаликова З. М., Шихиев И. А. "Уч. зап. АЗИНЕФ-ТЕХИМа", 1974, № 4, 68.

8. Шихиев И. А., Абдул-Рагимова С. С., Ахундов Э. А., Караев С. Ф., Насиров Я. Ф. ЖОХ, 12, 1976, 513.

9. Шихиев И. А., Гараева Ш. В., Гусейнов Ш. О., Караев С. Ф. ЖОХ, 48, 1978, 1368.

10. Караев С. Ф., Дадашева Я. А., Шихиев И. А. ЖО, 48, 1978, 1745.

11. Шихиев И. А., Караев С. Ф., Казиев С. Т., Джафаров Д. С. "Азерб. хим. ж.", 1978, № 6, 65.

12. Караев С. Ф., Абдул-Рагимова С. С., Аскеров М. Э., Ахундов Э. А. "Азерб. хим. ж.", 1978, № 3, 13.

13. Хоршев С. Я., Егорочкина А. Н., Севастьянова Е. И., Кузьмин О. В. Тез. докл. I Всесоюз. симпозиума "Строение и реакционная способность кремнийорганических соединений". Иркутск, 1977, 80.

АЗИНЕФТЕХИМ им. М. Азизбекова

Поступило 14. VII 1978

С. Ф. Гараев

АСЕТИЛЕН ГАЛОНДЕФИРЛЭРИНИН НУКЛЕОФИЛГЭВЭЗЭТМЭ РЕАКСИЈАЛАРЫНДА РЕАКСИЈАЖАКИРМЭ ГАБИЛИЈЈЭТИ

Мәгаләдә бир сыра садә, мүрәккәб, тәркибиндә силсиһум олан алифатик вә алитсиклик асетилен галондефирләринин нуклеофилләрлә реаксиялары тәдгиг олунмуш, онларын активлик сырасы тәклиф едилмишдир.

S. F. Karayev

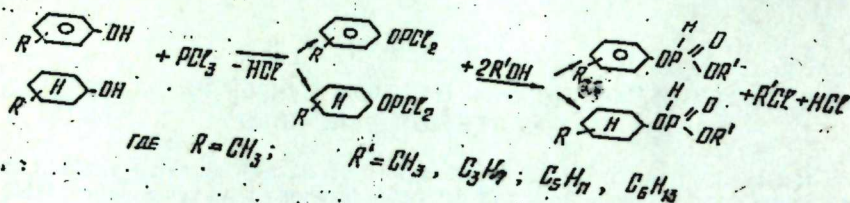
REACTIVITY OF ACETYLENIC HALOGEN ETHERS IN NUCLEOPHILIC SUBSTITUTION REACTIONS

On the basis of the study of the behaviour of silicon-containing aliphatic, alicyclic and acetylenic halogen ethers and esters in reactions with nucleophiles, their order of activeness has been proposed.

Академик АН Азерб. ССР И. М. ОРУДЖЕВА, А. А. ДЖАВАДОВА,
А. С. СУЛЕЙМАНОВ, А. К. ИБАД-ЗАДЕ, Н. П. КУРНОСОВА,
Э. М. ДЖАВАДОВА

[СИНТЕЗ АЛКИЛ(4-МЕТИЛФЕНИЛ)-И АЛКИЛ
(4-МЕТИЛЦИКЛОГЕКСИЛ) ФОСФИТОВ

Синтез кислых эфиров фосфористой кислоты осуществлен по известной методике [1,2] взаимодействием дихлорангидрида 4-метилфенил-и 4-метилциклогексилфосфористой кислоты с алифатическими спиртами по схеме



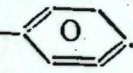
где R = CH₃; R' = CH₃, C₃H₇, C₅H₁₁, C₆H₁₃.

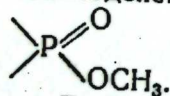
Синтезированные алкиларилфосфиты представляют собой бесцветные жидкости, хорошо растворимые в органических растворителях.

Строение синтезированных эфиров фосфористой кислоты подтверждено снятием их ИК и ПМР-спектров. ИК-спектры регистрировались прибором ИКС-14, ПМР-спектры — INM=C=6OHL и T-60 фирмы Варнаи.

Химические сдвиги измерялись по шкале δ относительно гексаметилдисилоксана, примененного в качестве внутреннего стандарта. Соединение метил(4-метилфенил)фосфит было снято как в чистом виде, так и в 60%-ном растворе четыреххлористого углерода при двух температурах — 27 и 70°C.

Спектры алкил(4-метилфенил)-и алкил(4-метилциклогексил) фосфитов приведены на рис. 1, 2.

В спектре обнаружен интенсивный синглет при δ = 1,98, относящийся к группе CH₃-. Дублет с константой спин-спинового взаимодействия I = 12 ц принадлежит метильной группе фрагмента



Дублетное расщепление происходит вследствие спинового J³¹. Химический сдвиг этого сигнала равен δ = 3,34 (27°C) и δ = 3,36 (70°C) при концентрации 60%. В чистом растворе получены несколько пони-

женные величины, δ = 3,30 и δ = 3,31 — соответственно при 27 и 70°C. В области ароматических протонов обнаруживается характерное сочетание двух дублетов — δ_{Hx} = 6,64, δ_{HA} = 6,40; относящихся к сигналам протонов пара-замещенного фенильного кольца. Этот симметричный

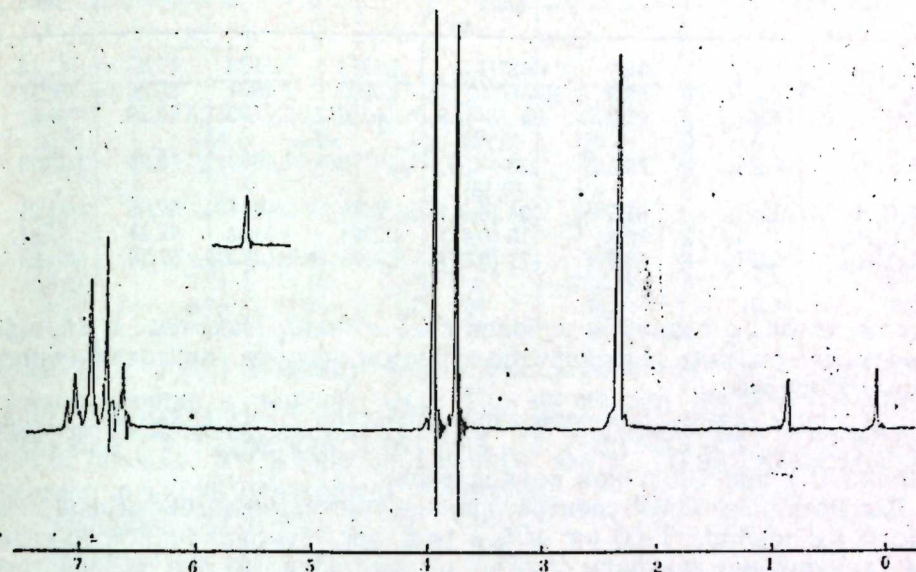


Рис. 1. ПМР-спектр метил (4-метилфенил) фосфита

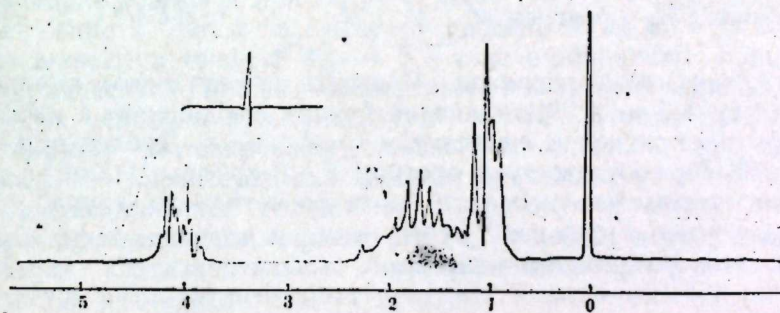
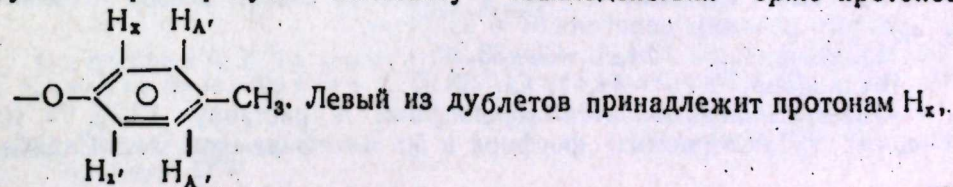


Рис. 2. ПМР-спектр метил (4-метилциклогексил) фосфита

спектр типа AA'XX' может приближенно анализироваться как спектр АВ-типа, так как константа спин-спиновой связи I орто- существенно больше, чем I пара- или I мета-. Следует, однако, иметь в виду, что расстояние внутри каждой пары характеризует не I_{AB}, а сумму (I орто- + I пара-).

Эту константу можно оценить примерно в 8,0—8,5 Гц, что грубо характеризует константу взаимодействия орто-протонов.



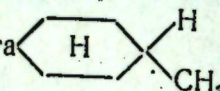
Кислые эфиры фосфористой

| R | R ₁ | Выход, % | Т. кип. (р, мм рт. ст.) | d ₄ ²⁰ | n _D ²⁰ | Мол. вес | |
|--|-------------------------------|----------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|----------|-------|
| | | | | | | найд. | выч. |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₄ | CH ₃ | 54,6 | 92—93° (1,3) | 1,1284 | 1,4928 | 47,85 | 47,14 |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₄ | C ₂ H ₅ | 68,3 | 61—63 (0,17) | 1,0895 | 1,4801 | 55,86 | 56,38 |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₄ | C ₃ H ₇ | 67,0 | 136,5—138 (0,23) | 1,0382 | 1,4796 | 66,26 | 65,61 |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₄ | C ₃ H ₇ | 70,3 | 133—135 (0,42) | 1,0110 | 1,4663 | 70,24 | 70,23 |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₁₀ | C ₂ H ₅ | 67,5 | 104 (0,6) | 1,0465 | 1,4471 | 52,06 | 53,21 |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₁₀ | C ₃ H ₇ | 70,8 | 116 (0,48) | 1,0221 | 1,4432 | 57,14 | 57,81 |
| 4-CH ₃ C ₆ H ₁₀ | C ₃ H ₇ | 69,4 | 121 (0,55) | 0,9675 | 1,4375 | 67,30 | 67,04 |

сигналы которых сдвинуты в более слабое поле. Наконец, в спектре имеются два сигнала, являющиеся дублетом протона, присоединенного к атому фосфора.

Константа спин-спинового взаимодействия P—H в данном случае равна 708 Гц, δ = 6,6 (27°), δ = 6,65 (70°) при 60%, δ = 6,58 (27°), δ = 6,64 (70°) при 100%-ной концентрации.

Рассмотрение ПМР-спектра пропил(4-метилциклогексил)фосфита, снятого на приборе Т-60 на мГц в растворе четыреххлористого углерода (внутренним эталоном служил тетраметилсилан) при температуре 35°С, показывает, что дублет при δ = 0,96 м. д. (I = 5 Гц) принадле-

жит группе CH₃—фрагмента , а при δ = 1 м. д. — груп-

пе—CH₃ пропильного радикала. Протоны цикла имеют химический сдвиг δ = 1,2—2,3 м. д. Метиленовая группа соединения с кислородным атомом дает сигнал с химсдвигом δ = 4,1 м. д. Дублет при δ = 6,8 м. д. I = 708 Гц соответствует протону P—H-группы. Один из пиков дублета перекрывается сигналами протонов метильных групп.

Частоты 2460 и 1200 см⁻¹ в ИК-спектрах подтверждают наличие группы P—H и P=O соответственно.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

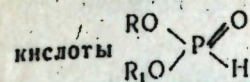
Исходными продуктами служили 4-метилфенил, 4-метилциклогексанол и алифатические спирты нормального строения.

4-Метилфенилдихлорфосфит. К раствору 13,75 г (0,1 г-моля) треххлористого фосфора в 50 мл бензола при 10—15°С и перемешивании по каплям добавляют 10,8 г (0,1 г-моля) 4-метилфенола, также взятого в растворе сухого бензола. Затем температуру реакционной смеси повышают до 80—85°С и продолжают перемешивание еще 4 ч. Реакцию проводят в токе очищенного азота. Бензол отгоняют, а продукт реакции перегоняют в вакууме.

Найдено, %: P—14,90; Cl—33,28.

Вычислено, %: P—14,81; Cl—33,97.

4-Метилциклогексидихлорфосфит. К раствору 13,75 г (0,1 г-моля) треххлористого фосфора в 50 мл эфира при 0—5°С добав-



| Найдено, % | | | Ф-ла | Вычислено, % | | |
|------------|------|-------|--|--------------|-------|-------|
| С | Н | Р | | С | Н | Р |
| 51,47 | 5,75 | 16,63 | C ₉ H ₁₁ O ₃ P | 51,62 | 5,99 | 16,07 |
| 55,91 | 6,04 | 15,02 | C ₁₀ H ₁₅ O ₃ P | 56,06 | 6,58 | 14,48 |
| 59,75 | 7,21 | 12,30 | C ₁₂ H ₁₉ O ₃ P | 59,90 | 7,90 | 12,78 |
| 61,44 | 7,65 | 11,98 | C ₁₃ H ₂₁ O ₃ P | 60,92 | 8,25 | 12,08 |
| 52,85 | 9,42 | 15,08 | C ₉ H ₁₀ O ₃ P | 52,47 | 9,28 | 14,87 |
| 55,03 | 9,24 | 14,16 | C ₁₀ H ₁₂ O ₃ P | 54,53 | 9,61 | 14,06 |
| 58,21 | 9,75 | 12,35 | C ₁₂ H ₂₃ O ₃ P | 58,04 | 10,14 | 12,48 |

ляют 11,4 г (0,1 г-моля) 4-метилциклогексанола при непрерывном перемешивании в течение часа. При окончании подачи температуру реакционной смеси повышают до 30—35°С и продолжают перемешивание в течение 3 ч в токе очищенного азота. Эфир отгоняют, далее продукт реакции перегоняют в вакууме.

Найдено, %: P—14,16; Cl—33,40.

Вычислено, %: P—14,42; Cl—33,02.

Алкил(4-метилфенил)- и алкил(4-метилциклогексил)фосфит. 20,9 г (0,1 г-моля) 4-метилфенил- или 21,5 г 0,1(г-кмоля) 4-метилциклогексидихлорфосфита при 5—10°С добавляют к 9,2 г (0,2 г-моля) этилового спирта. Затем температуру повышают до 30—35°С и раствор перемешивают в течение 3,5—4 ч в токе очищенного азота. Реакция экзотермическая. Продукт подвергается вакуумной перегонке. В аналогичных условиях при температуре 30—35°С (в зависимости от взятого спирта) синтезированы остальные алкиларил- и алкилциклогексидифосфиты; характеристика которых приведена в таблице.

Синтезированные соединения представляют собой бесцветные, прозрачные жидкости, хорошо растворяющиеся в органических растворителях. Предварительные испытания синтезированных соединений в качестве антиокислительных присадок к смазочным маслам дали положительные результаты.

Выводы

Взаимодействием 4-метилфенил- и 4-метилциклогексидихлорфосфитов с алифатическими спиртами синтезирован и охарактеризован ряд не описанных в литературе алкил (4-метилфенил)- и алкил (4-метилциклогексил)фосфитов.

Литература

1. Арбузов А. Е. Тр. сессии АН по органич. хим. М., Изд-во АН СССР, 1939.
2. Макляев Ф. Л., Друзини М. И. и Палагина И. В. ЖОХ, 31, 3, 1961, 895.

Институт химии присадок
АН Азерб. ССР

Поступило 5. V 1978

И. М. Оручова, Н. Э. Чавадова, А. С. Сүлейманов, А. К. Ибадзаде,
Н. П. Курносова, Е. М. Чавадова

АЛКИЛ(4-МЕТИЛФЕНИЛ)-ВЭ АЛКИЛ(4-МЕТИЛЦИКЛОГЕКСИЛ)-
ФОСФИТЛЭРИН СИНТЕЗИ

Мәгәләдә 4-метилфенил- вә 4-метилциклогексидихлорфосфитлэрин алифатик спиртлэрлэ гаршылыглы тәсири нәтижәсиндә алынган бир сыра алкил(4-метилфенил)- вә алкил(4-метилциклогексил)-фосфитлэрин синтезиндән бәһс едилдир.

I. M. Orudzheva, A. A. Dzhavadova, A. S. Suleimanov,
A. K. Ibad-zade, N. P. Kurnosova, E. M. Dzhavadova

SYNTHESIS OF ALKYL (4-METHYLPHENYL)-AND
(4-METHYLCYCLOHEXYL) PHOSPHITES

By interaction of 4-methylphenyl- and 4-methylcyclohexyl dichlorophosphites with aliphatic alcohols some novel alkyl (4-methylphenyl)-and alkyl(4-methylcyclohexyl)-phosphites were synthesized and characterized.

АЗӘРБАЙҶАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘРҮЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XXXV ЧИЛД

№ 1

1979

УДК 678.067:539

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Д. А. МУСТАФАЕВ

РЕОПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛИМЕРОВ ПРИ
ИХ ЦИКЛИЧЕСКОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ В ТЕКУЧЕМ
И ВЫСОКОЭЛАСТИЧЕСКОМ СОСТОЯНИЯХ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Т. Н. Шахтахтинским)

Поляризационно-оптические методы измерения напряжений приобрели широкое распространение при статическом и циклическом режимах нагружения твердых тел [1, 2]. Получившие в последние годы дальнейшее развитие эти методы измерения применительно к оценке напряженного состояния, возникающего при течении полимеров, основаны на существовании простых связей между оптическими и реологическими характеристиками полимеров [3—7].

Задача, описанная в настоящей статье, заключается в экспериментальном обосновании возможности реоптических измерений сдвиговых и нормальных напряжений в полимерах при нестационарных режимах деформирования. Для ее решения создан динамовиброоптиметр [7], сочетающий в себе виброреометр [8] и современную оптическую аппаратуру, широко применяемую в методе фотоупругости [1, 2].

Краткая характеристика исследованных образцов

| Индекс образца | Полимер | M_w/M_n | $M_v \cdot 10^{-5}$ | Изомерный состав | | | |
|----------------|--------------|-----------|---------------------|------------------|-----------|------|-----|
| | | | | цис-1,4 | транс-1,4 | -1,2 | 3,4 |
| А | Полибутадиен | 1,2 | 0,76 | 45,0 | 45,0 | 10,0 | — |
| Б | " | 1,1 | 1,41 | 47,2 | 44,0 | 8,8 | — |
| В | " | 1,1 | 3,01 | 45,0 | 41,0 | 14,0 | — |
| Г | " | 3,0 | 2,40 | — | — | — | — |
| Д | Полиизопрен | 1,61 | 1,48 | 72,0 | 20,8 | — | 6,2 |
| Е | " | 1,14 | 2,40 | 77,4 | 14,6 | — | 8,0 |
| Ж | " | 1,10 | 3,80 | 79,0 | 15,2 | — | 5,8 |
| З | " | 2,0 | 3,00 | — | — | — | — |

В качестве объектов исследования выбраны полибутадиены и полиизопрены узкого и широкого молекулярно-массового распределения, которые ранее широко использовались в лаборатории реологии полимеров при циклическом деформировании [8] и продавлировании в капиллярах [9]. Характеристика образцов представлена в таблице.

В динамовиброоптиметре величина двулучепреломления полимера при циклическом деформировании определяется путем регистрации на выходе из анализатора интенсивности потока света, поляризованного по кругу. Эксперименты показали, что эта величина (Δn) содержит

постоянную (Δn_c)- и переменную (Δn_a)-составляющие двулучепреломления. Определяющее значение имеет амплитуда первой гармоники двулучепреломления, а вклад амплитуд более высоких гармоник не превышал 5% от амплитуды первой.

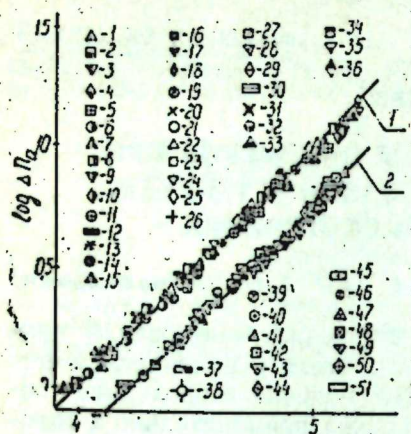


Рис. 1. Зависимость амплитуды двулучепреломления Δn_a от амплитуды напряжений τ_a , $H \cdot M^{-2}$, для исследованных полибутадиенов (1) и полиизопрена (2) при различных частотах. Образцы полимеров: А (частоты: 1—0,03 Гц; 2—0,1; 3—0,3; 4—1,0; 5—1,85); Б (частоты: 6—0,01 Гц; 7—0,03; 8—0,1; 9—0,3; 10—1,0; 11—1,85); В (частоты: 12—0,001 Гц; 13—0,003; 14—0,01; 15—0,3; 16—0,1; 17—0,3; 18—1,0; 19—1,85); Г (частоты: 20—0,003 Гц; 21—0,01; 22—0,03; 23—0,1; 24—0,3; 25—1,0; 26—1,85); Д (частоты: 27—0,1 Гц; 28—0,3; 29—1,0; 30—1,85); Е (частоты: 31—0,003 Гц; 32—0,01; 33—0,03; 34—0,1; 35—0,3; 36—1,0; 37—1,85); Ж (частоты: 38—0,001 Гц; 39—0,003; 40—0,01; 41—0,03; 42—0,1; 43—0,3; 44—1,0; 45—1,85); З (частоты: 46—0,01 Гц; 47—0,03; 48—0,1; 49—0,3; 50—1,0; 51—1,85)

Для измерения напряжений при циклическом деформировании полимеров в текучем и высокоэластическом состояниях оптическим методом важное значение имеет, с одной стороны, соответствие между углом сдвига фаз $\varphi_{\Delta n}$ [угол сдвига фаз между амплитудой двулучепреломления (Δn_a) и амплитудой деформации (τ_a)], полученным из оптических измерений, и углом сдвига фаз φ_m [угол сдвига фаз между амплитудой сдвиговых напряжений (τ_a) и амплитудой деформации (γ_a)], полученным из прямых механических измерений, а с другой—между Δn_a и τ_a . Сопоставление $\varphi_{\Delta n}$ и φ_m показало, что $\varphi_{\Delta n} = \varphi_m$, т. е. фазы двулучепреломления и напряжений по отношению к задаваемой деформации совпадают, а следовательно, они совпадают и по отношению друг к другу. На рис. 1 представлены зависимости Δn_a от τ_a для исследованных полибутадиенов и полиизопренов в широком диапазоне частот и амплитуд деформаций. Величины τ_a взяты из работы [8] при соответствующих амплитудах деформации, для которых нами измерены амплитуды двулучепреломления. Точками показаны экспериментальные данные, а сплошной линией—результаты расчетов по формуле $\Delta n_a = 2\tau_a C H / \lambda$, где C —динамооптический коэффициент, H —толщина слоя полимера, а λ —длина волны источника света. Значения динамооптических коэффициентов, равные $C = 3,3 \cdot 10^{-9} M^2/H$ и $C = 1,9 \cdot 10^{-9} M^2/H$, взяты из работы [9], в которой для исследованных полибутадиенов и полиизопренов соответственно они были найдены на установившихся режимах течения экспериментально. Отсюда следует, что динамооптический коэффициент при циклическом деформировании полимеров в текучем и высокоэластическом состояниях не зависит от частоты, амплитуды напряжения и деформации, а также от молекулярной массы и молекулярно-массового распределения. Кроме того, значения коэффициента C , найденные на установившихся режимах течения, могут быть использованы для неуставившихся режимов деформирования. Таким образом, экспериментально обоснована применимость динамооптического закона к неуставившимся режимам

деформирования полимеров в текучем и высокоэластическом состояниях.

Выше указывалось, что величина двулучепреломления полимеров при циклическом деформировании содержит постоянную компоненту Δn_c . По измеренной величине Δn_c может быть рассчитана постоянная составляющая первой разности нормальных напряжений по формуле $\sigma_c = \Delta n_c \lambda / C H$.

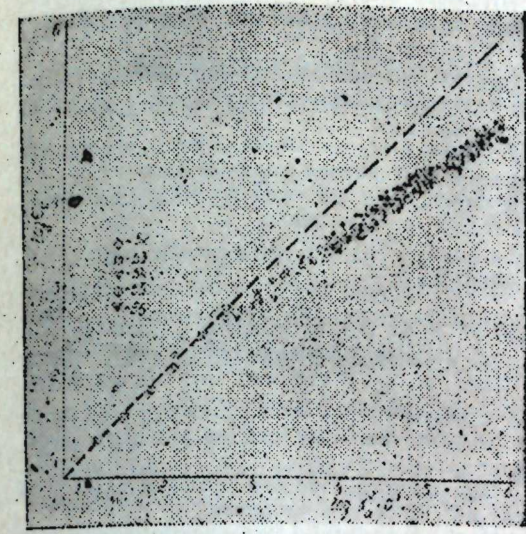


Рис. 2. Обобщенная характеристика постоянной составляющей первой разности нормальных напряжений σ_c , $H \cdot M^{-2}$, от величины $\gamma_a^2 \cdot G'$, $H \cdot M^{-2}$. Здесь же представлены данные измерений постоянной составляющей первой разности нормальных напряжений для растворов полистирола [10] (частоты: 52—1,5 Гц; 53—0,95; 54—0,6; 55—0,38)

Рассмотрим зависимость σ_c от $\gamma_a^2 \cdot G'$. Эта зависимость для исследованных полибутадиенов и полиизопренов представлена на рис. 2. Кроме того, здесь показаны экспериментальные данные σ_c , полученные из зависимостей $\sigma_c(\tau_a)$, приведенных в работе [10] для растворов полистирола при различных частотах воздействия. Как видно, при таком построении получается единая зависимость для исследованных полимеров и растворов полистирола, инвариантная по отношению к частоте, молекулярной массе и молекулярно-массовому распределению. При низких значениях $\gamma_a^2 \cdot G'$ величины σ_c ей пропорциональны. Этому отвечает пунктирная линия на рис. 2. При высоких амплитудах равенство не выполняется. Однако важно то, что для различных полимеров в широком диапазоне частот все экспериментальные данные описываются одной зависимостью.

В заключение автор выражает благодарность заслуженному деятелю науки и техники РСФСР, доктору хим. наук проф. Г. В. Виноградову за руководство работой.

Литература

1. Александров А. Я., Ахметзянов М. Х. Поляризационно-оптические методы механики деформируемого тела. М., Наука, 1973.
2. Фрохт М. М. Фотоупругость, т. 1. М., 1948.
3. Janeschitz-Kriegl H. Adv. Polym. Sci., 6, 1969, 170.
4. Philippoff W. Trans. Soc. Rheol., 7, 1963, 33.
5. Han C. D. J. Appl. Pol. Sci., 19, 1975, № 9, 2403.
6. Thurston C., Schrag J. Trans. Soc. Rheol., 6, 1962, 35.
7. Мустафаев Д. А., Бризицкий В. И. В кн.: Новые аспекты нефтехимического синтеза. М., 1977, 170—177.
8. Кацюевич В. В. Канд. дисс., М., 1978.

Ч. Ә. Мустафаев

ДӨВРИ (СИКЛИК) ДЕФОРМАСИЈА ЗАМАНЫ АХАН ВӘ ЛҮКСӘК ЕЛАСТИК ЫЛДА ПОЛИМЕРЛӘРИН РЕООПТИК ТӘДГИГАТЫ

Мәгаләдә полибутәдиен вә полиизопрен нүмунәләринин дар вә кенш, күтләви-молекуләр тәгсиматы әсасында мүхтәлиф тәзликли вә амплитудлу сиклик сүрүшмә деформасијасынын ики шүә әкси тәдгиг едилмишдир.

Оптик үсулла өлчмәјә әсасән тохунан кәркинлијин вә нормал кәркинлијин би-ринчи фәргинин сабит иштиракчысынын һесаблилма методу верилмишдир.

Динамик, оптик ганунуи полимерләрин сабитләшмәмиш деформасија режиминә тәтбиг олунамасы эксперимент јолу илә әсасландырылмышдыр.

D. A. Mustafaev

RHEOPTICAL INVESTIGATIONS OF POLYMERS DURING THEIR CYCLIC DEFORMATION IN FLUID AND HIGH-ELASTIC STATES

Based on samples of polybutadienes and polyisoprenes having narrow and wide molecular-weight distribution the birefringence studies were carried out upon shearing at different frequencies and amplitudes.

Starting from optical measurements a calculation method for shear stresses and steady component of the first normal stress difference was proposed.

The applicability of stress-optical law to unsteady behaviours of deformation was substantiated experimentally.

Р. А. МАХМУДОВ

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БАКИНСКОГО АРХИПЕЛАГА В СРЕДНЕПЛИОЦЕНОВОЕ ВРЕМЯ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ш. Ф. Мехтиевым)

Воссоздание истории геологического развития Бакинского архипелага доплиоценового времени в деталях не представляется возможным ввиду отсутствия геолого-геофизических материалов, а также из-за бурения сверхглубоких скважин. Хотя по поводу времени образования депрессии Каспийского моря существуют различные точки зрения, нам представляется более убедительным окончательное оформление депрессии Каспия как крупного меридионального прогиба в начале среднего плиоцена. После этого времени геологическое развитие депрессии, как отмечал А. Л. Путкарадзе [4], протекало до известной степени обособленно от окружающих районов. В целом современные очертания рельефа дна Каспийского моря обусловлены геологическим развитием этой впадины в плиоцене и тесно связаны с новейшими и современным тектоническими движениями.

Палеогеологическая обстановка начала века продуктивной толщи так же как и у А. Л. Путкарадзе, нам представляется в следующем виде: наиболее пониженный участок бассейна продуктивной толщи, возможно занимал район Бакинского архипелага, о чем в известной мере может свидетельствовать однообразность минералогического состава песчаных образований нижней части разреза продуктивной толщи последнего

Как показывает материал, отобранный из пробуренных скважин на площадях Бакинского архипелага и изученный большим коллективом геологов, разрез продуктивной толщи в литологическом отношении так же как во многих других районах развития этой толщи, представляет собой однообразную глинисто-песчанистую серию осадков с преобладанием глинистых пород.

Как отмечает А. Л. Путкарадзе, глины представлены большей частью плохо отсортированными разностями и суглинками, а пески — сильно глинистыми, плохо отсортированными породами, переходящими в хлидолиты. В значительной части легкой фракции песчаных пород преобладают свежие, неизмененные, слабо или совсем не окатанные обломки эффузивных пород.

Насколько можно судить по имеющимся материалам, в исследуемом районе понтический бассейн характеризовался относительно спокойным слабрасчлененным рельефом дна с почти равномерным слоем вод. Относительно пологая окружающая суша не могла обеспечить естественным материалом. Именно поэтому процесс седиментации осадков здесь был медленными и маломощным.

Осаждающийся материал понтического века представлен в основном пелитовыми образованиями. Район Бакинского архипелага за время понта и вплоть до начала века продуктивной толщи не испытывал резких тектонических движений и ни разу не выходил из-под уровня моря.

Одновременно следует отметить что тектоническая жизнь в акватории не замерла, своды антиклинальных зон поднимались на общем фоне дна бассейна и на ряде из них временами действовали мощные грязевые вулканы (подводные), выносившие огромное количество терригенного материала [2]. Но, как известно, конец понтического времени характеризовался усилением орогенических движений, что привело, в первую очередь, к обособлению Каспийского бассейна седиментации, а проявление молодых складчатых сооружений способствовало расширению речной сети и увеличению объема поступающего потока воды в бассейн осадконакопления. В связи с этим увеличилось количество приносимого терригенного материала. Однако подверженная активным геотектоническим процессам Каспийская впадина сравнительно интенсивно продолжала прогибаться; при возросшем объеме воды произошло сужение моря и к началу калинского времени регрессия бассейна достигла максимума. Водоем оказался сосредоточенным в основном в южной части Каспия.

Южно-Каспийская впадина в это время претерпела наибольшее прогибание. На общем фоне впадины особо выделялись районы Апшеронского и Бакинского архипелагов. Сюда приносился мелкоокатанный терригенный материал.

Характер литолого-фациального состава разрезов КаС и частично ПК в этих регионах не оставляет сомнения в том, что они отлагались недалеко от источников сноса терригенного материала. Особенно это касается разреза КаС на Апшеронском архипелаге, который носит явные следы быстрого переотложения без длительной транспортировки размывающейся прибрежной суши. КаС на северных берегах Бакинского архипелага почти не отлагалась, так как в начале калинского времени северная часть архипелага находилась на большом расстоянии от источников сноса, а сам архипелаг являлся преградой на пути сноса терригенного материала. Исходя из этого распространение отложений КаС, несомненно, должно иметь место на площадях наиболее погребенных структур Бакинского архипелага, а также в его южных зонах. Мощность КаС здесь должна изменяться в незначительных пределах.

Литофациальная характеристика пород калинского времени в районе Бакинского архипелага должна резко отличаться от отложений КаС Апшеронского архипелага. В отложениях КаС первого должны участвовать также угловатые мелкоокатанные эффузивные породы.

На основе вышеизложенного палеотектонического соображения нам представляется, что участок моря, занятый современным Бакинским архипелагом, в начале века продуктивной толщи являлся более пониженной частью бассейна, чем соседние участки.

В центральной части Бакинского архипелага КаС имеет мощность до 300—310 м (Хаммамдаг-море, скв. 5, 13; о-в Санги-Мугань, скв. 16), а в разрезах скв. 5, 13, 16 эта свита охарактеризована даже фаунистически. В подкирмакинское время в результате трансгрессии воды этого бассейна покрыли некоторые ранее существовавшие острова и возвышенности.

Анализ накопленных в последнее время данных глубокого разведочного бурения позволяет сделать вывод о том, что в исследуемом регионе зоны поднятий и осложняющие их продольные тектонические нарушения (рис. 1) унаследовали свое положение от структурных элементов более раннего заложения [3]. Это подтверждается также данными сейсморазведочных исследований, выражающимися в уменьшении углов наклона, отражающих сейсмические площадки по мере удаления от сводовой части к крыльям современных поднятий.

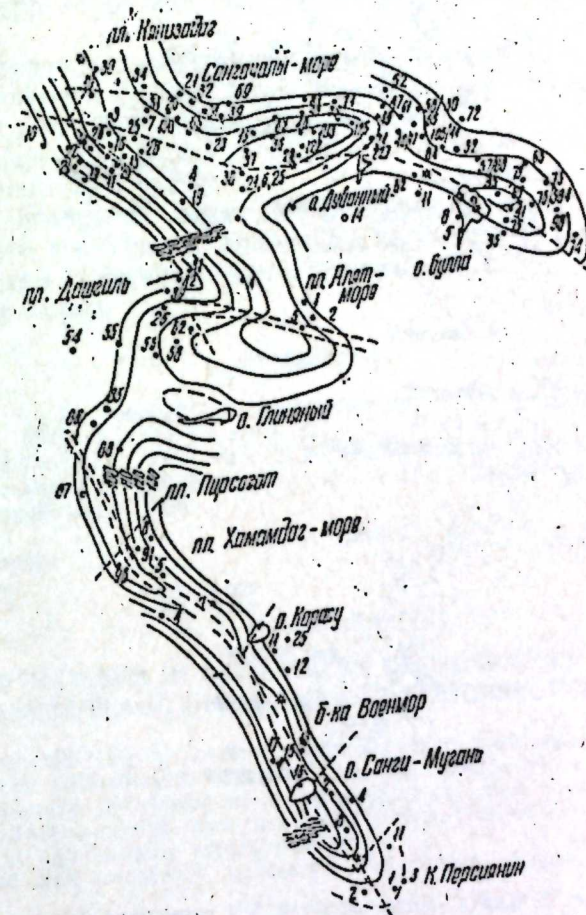


Рис. 1. Карта равнин мощностей VII гор. ПТ Бакинского архипелага Южно-Каспийской впадины:
1—тектонические нарушения; 2—изолинии мощностей; 3—скважины; 4—грязевые вулканы

Из вышеизложенного следует, что отложения кирмакинской свиты Бакинского архипелага имеют конседиментационный характер и отлагались они по мере роста складчатости. Общая тенденция изменения мощности и литофации (в основном песчанистости—рис. 2) как по простиранию свит кирмакинского времени, так и в направлении от сводов структур к крыльевым частям позволяет считать продольное нарушение вдоль сводов современных поднятий антиклинальных

зон Бакинского архипелага унаследованным и относящимся к более раннему заложению.

Этим и объясняется то, что указанные нарушения при составлении палеопостроений для описываемых антиклинальных зон Бакинского архипелага на век продуктивной толщи не улавливались.

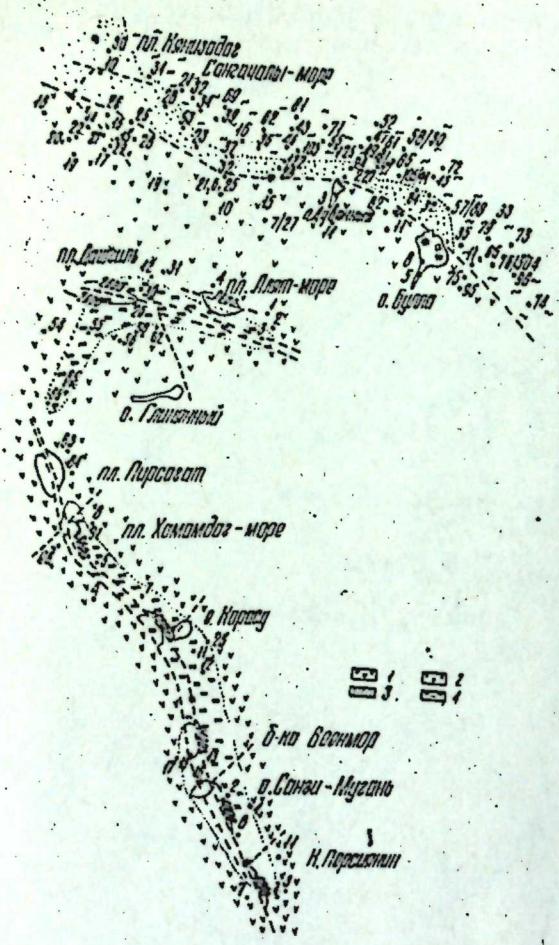


Рис. 2. Карта песчанности VII горизонта Бакинского архипелага Южно-Каспийской впадины. Предел песчанности %: 1—30—40; 2—41—50; 3—51—60; 4—61—70

Как видно из карты (рис. 1, 2), в течение кирмакинского времени в антиклинальной зоне Киязидаг—о-в Булла существовала всего лишь одна складка с единым сводом, которая охватывала всю северо-восточную часть Бакинского архипелага. В центральной части (район современной антиклинальной зоны Пирсагат—К. Игнатия) во время отложения верхнеплиоценовых пород имелось два свода. Один из них распространялся на современные складки Хамамдаг-море и Пирсагат и далее протягивался в сторону о-ва Глиняный. Второй свод соединил в себе структуры К. Персиянин, К. Игнатия и о-в Санги-Мугань в единую складку. Терригенный материал переносился на северо-восток,

о чем свидетельствует улучшение литофациальной характеристики кирмакинской свиты в этом направлении. Далее, по мере погружения зоны и усиления тангенциальных движений в век балаханской свиты вдоль антиклинальных зон Киязидаг—о-в Булла и Пирсагат—К. Игнатия, начинают вырисовываться в виде сопредельных складок наиболее сглаженные сводообразные возвышенные части. В седловинах, образовавшихся в этой связи, закладываются основы последующих поперечных нарушений, которые наблюдаются на разных крыльях современных структур как северных, так и центральных складок архипелага.

Таким образом, можно говорить, что формирование складок Бакинского архипелага происходило в основном в среднем плиоцене. К началу этого времени имелись лишь небольшие возвышенности. В конце верхнего плиоцена, особенно в антропогене [4], тектонические движения усилились.

Палеогеологическое исследование среднеплиоценового времени показывает, что с глубиной амплитуда вертикального смещения разрывов по сводам структур увеличивается и прорезает всю толщу продуктивных пород.

Литература

1. Алиев А. К. Геология и нефтегазоносность Кура-Араксинской области. Азербайджан, 1960.
2. Оруджев В. А., Махмудов Р. А. Уч. зап. АЗИНЕФТЕХИМа. сер. IX, 1975, № 7.
3. Керимов А. А., Халилов Н. Ю. и др. Нефтегазовая геология и геофизика. 1971, № 1.
4. Путкардазе А. Л. Бакинский архипелаг. Азербайджан, 1958.

Институт геологии
им. Губкина

Поступило 13 III 1976

R. A. Makhmudov

THE MAIN FEATURES OF GEOLOGICAL DEVELOPMENT OF BAKINSKI ARCHIPELAGO DURING MIDDLE PLIOCENE PERIOD

During Kyrmiaki time in modern anticlinal zone Kjanizadag island Bulla only one fold with one arch existed, which covered the whole NE part of archipelago. In the central part in the region of modern anticlinal zone Pirsagat—Ignatij stones during upper pliocene period there were two arches. One of them covered Chamamdag-sea, Pirsagat and Glinjany extended to island.

The second arch comprised structures Persijanina stones, Ignatij stone and Sangl-Mugan.

А. И. МАХМУДОВ, Ш. И. АЛЛАХВЕРДИЕВ, Ш. С. БЕКТАШИ,
Н. В. ТРОНЕВА

**ПЕРВАЯ НАХОДКА ПАРАРАММЕЛЬСБЕРГИТА
В АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР**

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. Д. Султановым.)

Парараммельсбергит—диарсенид никеля $NiAs_2$ в природе очень редок. Установлен впервые в рудах гидротермальных месторождений серебряно-никелево-кобальтовой формации Онтарио [6] в ассоциации со смальтин-хлоантитом, раммельсбергитом, никелином, герсдорфитом, самородным серебром и леллингитом. Затем П. Рамдору [2] удалось дополнить список месторождений еще одной находкой парараммельсбергита, который он описал. В СССР парараммельсбергит впервые упоминался при характеристике руд $Co-Ni-As$ -состава месторождения Хову-Аксы [4]. Более детально он описывался в рудах Берикюльского (Кузнецкий Алатау) золоторудного месторождения [1].

Условия нахождения. В Азербайджанской ССР парараммельсбергит впервые обнаружен нами в Шорбулакском месторождении ртути Кельбаджарского рудного района (Малый Кавказ) в ассоциации с раммельсбергитом, никелином, аннабергитом и другими минералами. Шорбулакское месторождение ртути расположено в пределах Сарыбабинского синклинория Севано-Карабахской структурно-формационной зоны Малого Кавказа. В его геологическом строении принимают участие вулканогенно-осадочные образования средней юры и мела. Интрузивные образования представлены основными и почти полностью серпентинизированными ультраосновными породами.

Гидротермальные изменения представлены в основном каолиннизацией, окварцеванием и карбонатизацией. Наиболее широко распространена лиственитизация. Шорбулакское месторождение приурочено к линзовидному телу лиственитов, образовавшихся в зоне северо-западного простиранья разлома с крутыми углами падения на СВ. Рудовмещающие листвениты зажаты между серпентинитами с висячего и зоной милонитизации с лежащего боков.

Оруденение представлено прожилково-вкрапленными выделениями киновари, образующими промышленные концентрации. Вещественный состав руд прост и характеризуется немногочисленными рудными и нерудными минералами. Главным рудным минералом является киноварь. Нередко встречается пирит, халькопирит и сфалерит. Из нерудных минералов отмечаются кварц, кальцит и барит. Морфологически мышьяково-никелевые минералы (никелин, раммельсбергит, парараммельсбергит) и вторичные их изменения образуют

Межплоскостные расстояния парараммельсбергита из Шорбулакского месторождения

| Шорбулакское месторождение | | | | Берикюльское месторождение (по [1]) | | По [5] | |
|----------------------------|------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------|----------|------------|
| <i>l</i> | <i>d/n</i> | <i>d_{ннч}</i> | <i>h_{кл}</i> | <i>l</i> | <i>d/n</i> | <i>l</i> | <i>d/n</i> |
| 4 | 3,85 | 3,85 | 111 | — | — | 1/2 | 3,87 |
| 2 | 3,78 | 3,80 | 003 | — | — | — | — |
| 2 | 3,013 | — | — | 2 | 3,013 | — | — |
| 3 | 2,925 | 2,925 | 020 | 2 | 2,931 | — | — |
| 5 | 2,85 | 2,85 | 004 | — | — | 3 | 2,85 |
| 3 | 2,831 | 2,831 | 021 | 3 | 2,836 | 1 | 2,80 |
| 2 | 2,609 | 2,60 | 022 | 1 | 2,603 | 1 | 2,59 |
| 8 | 2,550 | 2,563 | 014 | 8 | 2,553 | 8 | 2,54 |
| 10 | 2,511 | 2,52 | 211 | 10 | 2,513 | 10 | 2,51 |
| 6 | 2,361 | 2,362 | 122 | 5 | 2,354 | 6 | 2,36 |
| — | — | — | — | 2 | 2,309 | 1/2 | 2,31 |
| 3 | 2,151 | 2,14 | 123 | 2 | 2,148 | 1 | 2,15 |
| 2 | 2,032 | 2,022 | 204 | — | — | 1 | 2,03 |
| 4 | 2,004 | 2,009 | 221 | — | — | — | — |
| 3 | 1,994 | 1,995 | 115 | 3 | 1,989 | 4 | 1,994 |
| 7 | 1,820 | 1,82 | 302,310 | 7 | 1,810 | 5 | 1,817 |
| 5 | 1,734 | 1,73 | 033,116 | 2 | 1,730 | 6 | 1,731 |
| — | — | — | — | 1 | 1,699 | — | — |
| 3 | 1,661 | 1,65 | 133 | — | — | — | — |
| 3 | 1,640 | 1,63 | 007 | 2 | 1,636 | 3 | 1,639 |
| 4 | 1,591 | 1,592 | 304,206,026 | 2 | 1,589 | 4 | 1,590 |
| 5 | 1,545 | 1,55 | 134 | 1 | 1,542 | 2 | 1,544 |
| 5 | 1,538 | 1,53 | 126 | — | — | 2 | 2,533 |
| 2 | 1,480 | 1,475 | 035 | 2 | 1,475 | 2 | 1,480 |
| 2 | 1,440 | 1,439 | 400,041 | — | — | 1 | 1,439 |
| — | — | — | — | — | — | 1 | 1,472 |
| 2 | 1,381 | 1,385 | 127 | 1 | 1,375 | 2 | 1,382 |
| 3 | 1,322 | 1,32 | 136 | 3 | 1,327 | 2 | 1,321 |
| 1 | 1,258 | 1,25 | 128 | 2 | 1,257 | 1 | 1,258 |
| 2 | 1,227 | 1,23 | 045 | 1 | 1,230 | 1 | 1,228 |
| 1 | 1,223 | 1,22 | 405 | 1 | 1,220 | 2 | 1,220 |
| — | — | — | — | — | — | 1 | 1,199 |
| 2 | 1,136 | 1,135 | 150,308,052 | 1 | 1,135 | 2 | 1,139 |
| — | — | — | — | — | — | 1/2 | 1,120 |
| 2 | 1,111 | 1,111 | 408,0110 | 2 | 1,109 | 2 | 1,110 |
| 1 | 1,100 | 1,102 | 129 | 2 | 1,099 | 1 | 1,100 |
| 1 | 1,085 | 1,085 | 045 | 1 | 1,084 | 1 | 1,085 |
| 4 | 1,068 | 1,065 | 504 | 3 | 1,068 | 5 | 1,069 |
| 2 | 1,047 | 1,047 | 12,10 | 1 | 1,046 | 2 | 1,047 |
| 1 | 1,038 | 1,036 | 0011,055 | — | — | 1 | 1,037 |
| — | — | — | — | 3 | 1,032 | — | — |
| 2 | 1,021 | 1,022 | 440,505 | 2 | 1,020 | 2 | 1,020 |
| — | — | 1,025 | — | — | — | — | — |
| 5 | 1,018 | 1,02 | 048 | — | — | — | — |
| 3 | 1,013 | 1,01 | 427 | 2 | 1,014 | 2 | 1,012 |

Примечание. Рентгеновской съемке подвергалась тонкая стружка парараммельсбергита, извлеченная с помощью ПМТ-3 и закатанная в шарик из резинового клея. Условия съемки: РКУ-114, УРС-50И, Fe-анткатод, 14 мА, 70 кВ.

прожилки и жилы в лиственитах мощностью до 0,5 см в поперечнике и приурочиваются к трещинам со следующими элементами залегания: 1) аз. пад. СВ : 35 < 40°; 2) аз. пад. СВ : 10 < 50°. Представлены в

Таблица 2
Спектры отражения (R_m , %) никелина, раммельсбергита и парараммельсбергита

| λ , нм | Парараммельсбергит | Раммельсбергит | Никелин |
|----------------|--------------------|----------------|---------|
| 440 | 58,4 | 54,8 | 39,3 |
| 460 | 58,2 | 55,2 | 40,2 |
| 480 | 59,8 | 56,4 | 40,8 |
| 500 | 60,1 | 56,6 | 42,4 |
| 520 | 60,8 | 57,0 | 44,2 |
| 540 | 61,6 | 56,0 | 46,1 |
| 560 | 62,0 | 56,4 | 47,9 |
| 580 | 62,0 | 55,8 | 50,0 |
| 600 | 62,6 | 55,2 | 52,2 |
| 620 | 61,8 | 55,4 | 54,6 |
| 640 | 61,6 | 55,0 | 56,0 |
| 660 | 61,4 | 55,2 | 57,8 |
| 680 | 61,6 | 55,2 | 58,6 |
| 700 | 61,8 | 55,4 | 59,6 |
| 720 | 62,0 | 55,0 | 60,4 |
| 740 | 62,6 | 55,2 | 62,0 |

Примечание. Измерения выполнены на установке ПИОР Л.Н. Вильсовым (ИГЕМ АН СССР). Эталоны—кремний и пирит. Условия измерения: объектив 3 фирмы „Лейтц“ эффективная апертура 0,08, диаметр фотометрируемого участка 10 мкм, освещаемого—20 мкм, спектральная частота излучения 30 А, направление колебаний по поляризатору перпендикулярно к плоскости падения.

сплошных массивных агрегатах с гипергенными нитевидными полостями вторичных аннабергита и арсенолита. Последние часто образуют ярко-зеленого цвета глинистую массу в оторочках вкрапленников и вдоль прожилок никелина, парараммельсбергита и раммельсбергита. Внутреннее строение. Парараммельсбергит отличается от раммельсбергита отсутствием двойникования, слабыми цветными эффектами анизотропии и характерными главными рентгеновскими линиями (табл. 1).

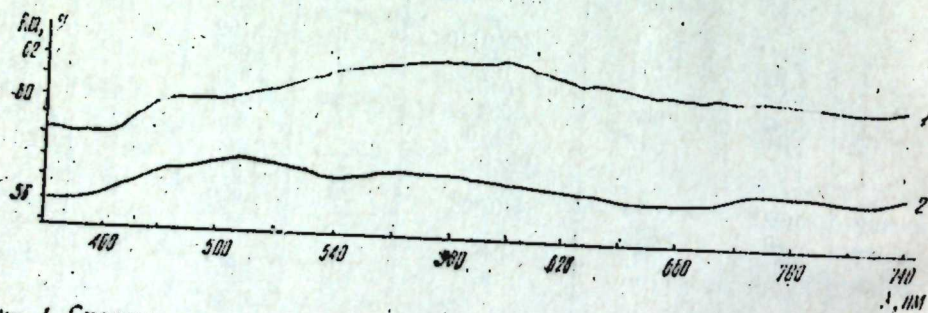


Рис. 1. Спектры отражения (R_m) парараммельсбергита (1) и раммельсбергита (2) из Шорбулакского месторождения Кельбаджарского района Азербайджанской ССР (Малый Кавказ): 1—обр. 3000 (анал. 3000); 2—обр. 3001 (анал. 3001)

Физические свойства. В отраженном свете парараммельсбергит белый, сильно анизотропный, изменяет окраску от желтовато-белой до глубовато-белой. Отражательная способность выше, чем у нике-

лина и раммельсбергита. Полученные нами спектры отражения парараммельсбергита и раммельсбергита из Шорбулакского месторождения приведены в табл. 2 и на рис. 1.

Двуотражение у парараммельсбергита в воздухе слабое, в иммерсии по границам зерен отчетливое. Наблюдается страстание с раммельсбергитом и никелином.

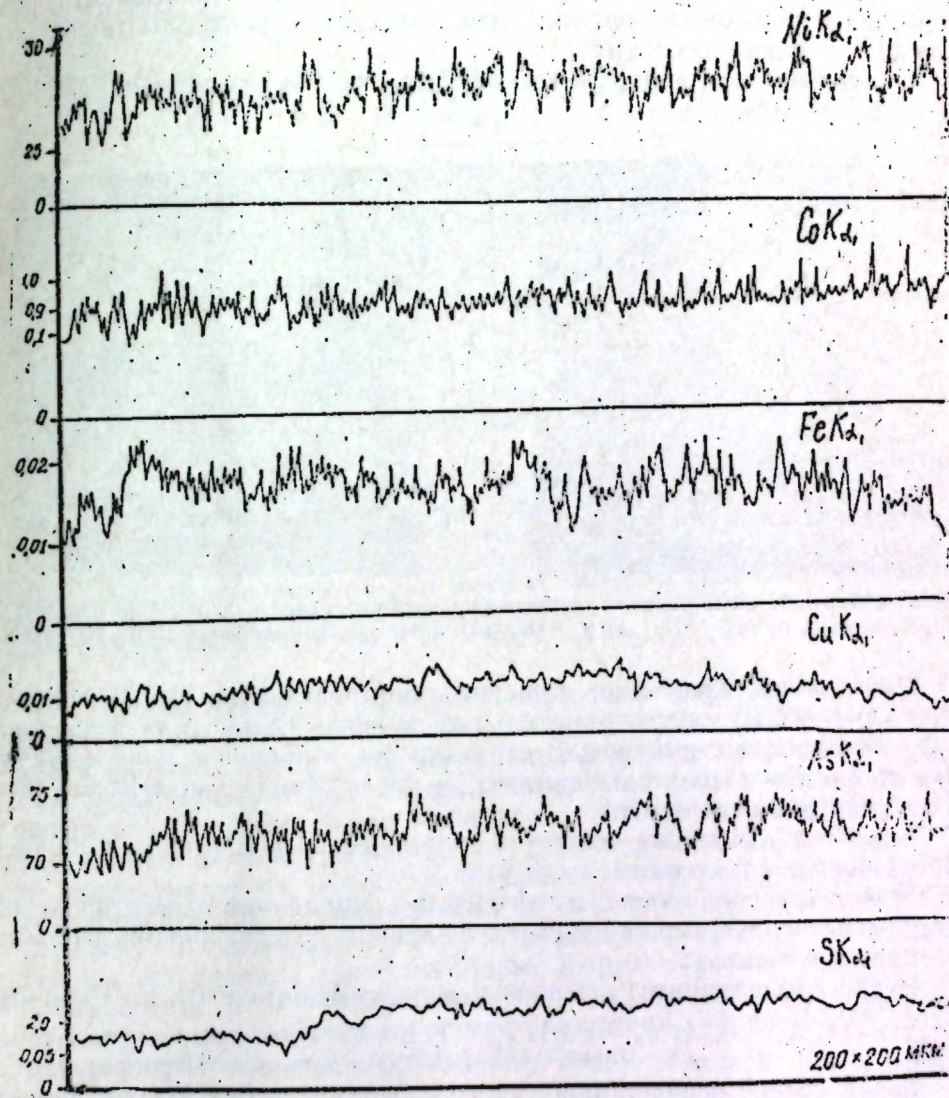


Рис. 2. Распределение Ni, Co, Fe, Cu, As и S в зерне парараммельсбергита из Шорбулакского месторождения Кельбаджарского района Азербайджанской ССР (Малый Кавказ). Обр. 3000

Твердость парараммельсбергита (ПМТ-3, нагрузка P 100 ГС), по данным четырех замеров, $H = 722-810$ кгс/мм²; $H_{cp} = 781 \pm 19$ кгс/мм²; коэффициент анизотропии твердости около 19.

Анизотропия микротвердости в парараммельсбергите возникла в связи с пластической деформацией зерен. Для проверки этого предположения в лабораторных условиях образцы грубополосчатой руды были подвергнуты одностороннему сжатию по направлению полосчатости. В результате произошло упрочнение зерен парараммельсбергита с возникновением анизотропии микротвердости. Таким образом, эффект упрочнения и связанная с ним анизотропия микротвердости могут рассматриваться как существенный признак пластической деформации парараммельсбергита. Эти свойства характерны также для никелина и раммельсбергита.

Удельный вес парараммельсбергита, по литературным данным, $d_{cp} = 7,24 \pm 0,002$.

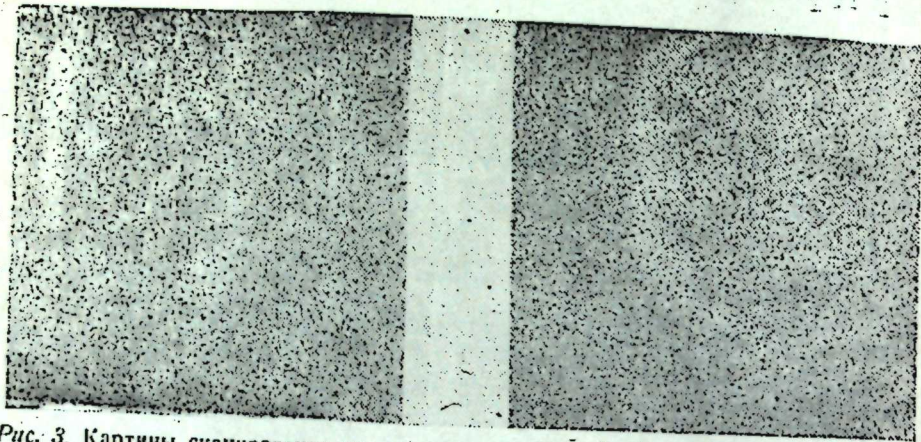


Рис. 3. Картины сканирования зерна парараммельсбергита в характеристических рентгеновских лучах NiK_{α} (а) и AsK_{α} (б). Участок сканирования 200×200 мкм.

Структура. Травление стандартными реактивами ($HgCl_2$, HNO_3 , HCl , KOH , KCN) дает отрицательный эффект. Только при травлении $FeCl_3$ выявляется структура. В структурном отношении парараммельсбергит близок к раммельсбергиту, и потому первоначально он был описан как раммельсбергит.

Парараммельсбергит является ромбической или псевдоромбической разновидностью раммельсбергита.

Рентгенометрические исследования парараммельсбергита из Шорбулакского месторождения в сравнении с литературными данными приводятся в табл. 1.

Параметры элементарной ячейки парараммельсбергита по Рамдору следующие: $a_0 = 5,74$; $b_0 = 5,81$; $c_0 = 11,40$ Å, соотношение их очень близко к 1:1:2; $z = 8$. Ромбический, пирамидальный. Параметры элементарной ячейки псевдоромбического парараммельсбергита по Пикоку следующие: $a_0 : b_0 : c_0 = 0,988 : 1 : 1,963$; $z = 8$ [6]. Параметры элементарной ячейки исследуемого минерала, рассчитанные М. И. Чираговым, следующие: $a_0 = 5,76$; $b_0 = 5,85$; $c_0 = 11,41$ Å.

Химический состав парараммельсбергита определен на электронном микроанализаторе MS-66 "Камека" в лаборатории ИГЕМ АН СССР. В зернах парараммельсбергита Fe, Co, Ni, Cu, As и S распределены равномерно (рис. 2), что подтверждается снимками сканирования зерен парараммельсбергита (рис. 3): Химический состав и рас-

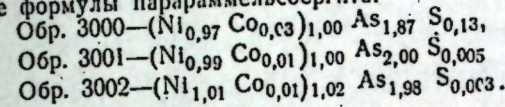
считанные по ним кристаллохимические формулы, соответствующие теоретической, приводятся в табл. 3. В составе парараммельсбергита, кроме главных рудных компонентов, присутствуют Co и в незначительном количестве Cu и Fe^{+2} .

Таблица 3

Химический состав парараммельсбергита

| Обр. | Fe | | Co | | Ni | | Cu | | As | | S | | Сумма |
|------|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|---------|--------------|--------|--------------|--------|--------------|--------|
| | Вес. % | Атом. кол-во | Вес. % | Атом. кол-во | Вес. % | Атом. кол-во | Вес. % | Атом. кол-во | Вес. % | Атом. кол-во | Вес. % | Атом. кол-во | |
| 3000 | He обн. | | 0,95 | 0,016 | 28,28 | 0,482 | He обн. | | 69,21 | 0,924 | 1,99 | 0,062 | 100,43 |
| 3001 | 0,02 | 0,0003 | 0,15 | 0,003 | 27,45 | 0,468 | 0,01 | 0,0001 | 70,86 | 0,938 | 0,07 | 0,002 | 98,56 |
| 3002 | 0,01 | 0,0002 | 0,16 | 0,003 | 28,43 | 0,484 | 0,01 | 0,0001 | 71,26 | 0,951 | 0,05 | 0,002 | 99,92 |

После пересчета химического анализа получены следующие кристаллохимические формулы парараммельсбергита:



Примечание. Условия анализа: аналитические линии FeK_{α} , CoK_{α} , NiK_{α} , CuK_{α} , AsK_{α} , SK_{α} (отсутствие свинца предварительно проверялось по излучению PbL_{β}); ускоряющее напряжение 20 кВ (для Fe, Co, Ni), 10 кВ (для S) и 25 кВ (для As); эталоны—чистые металлы (Fe, Co, Ni), а также природные пирит и никелин; время измерения интенсивности рентгеновских линий на образцах и эталонах 150 с. Введение поправочных коэффициентов на разницу состава образца и эталона выполнено на ЭВМ БЭСМ-6 (Тронева и др., 1975).

Генезис. Парараммельсбергит образуется при более низкой температуре, чем никелин и раммельсбергит, путем замещения последних и является более устойчивой модификацией диарсенидов никеля, чем раммельсбергит [6]. Микроскопические исследования руд Шорбулакского месторождения показывают, что парараммельсбергит развивается по никелину и иногда по раммельсбергиту, замещение идет от краев внутрь их агрегатов и зерен. Однако замещения парараммельсбергита другими минералами не наблюдается. По отношению к никелину и раммельсбергиту парараммельсбергит идиопластичен. Иногда встречаются скелетообразные формы среди никелина и раммельсбергита. В экзоконтактных зонах и вмещающих породах (зона окисления) рассматриваемого месторождения очень редко за счет парараммельсбергита образуется аннабергит.

Литература

1. Виноградова Р. А., Бришанская С. С., Еремин Н. И., Вяльсов Л. Н. Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 2 серия, ч. 103, 1974. 2. Рамдор П. Рудные минералы и их сростания. М., Изд-во иностр. лит., 1962. 3. Тронева Н. В., Лапутина И. П., Ценин А. И., Игамбердиев Ш. Х. Алгоритм и программы, вып. 23, 1975. 4. Шишкин Н. Н., Михайлова В. А., Кондратьев А. В., Рудашевский Н. С. Тр. Ин-та "Гипроникель", вып. 35, 1967. 5. Bergy L. O., Thompson R. M. X-ray powder data for ore minerals; the Peacock

Ә. И. Махмудов, Ш. И. Аллахвердиев, Ш. С. Бекташи, Н. В. Тронева

АЗЭРБАЈЧАН ССР-дә ПАРАРАММЕЛСБЕРКИТИН ИЛК
ТАПЫНТЫСЫНА ДАИР

Парараммелсберкити Кичик Гафгазын Севан-Гарабаг структур-формасион зона-сында, Азербайжан ССР-ин Кэлбэчэр районундакы Шорбулаг чивэ Јатагында никел-ли вэ раммелсберкит минераллары илэ бир ассоциацияда тапылмышдыр.
Парараммелсберкитин сапвары агрегатларына раммелсберкитин дәнэлэриндэ тэсадүф едилишиди. О, ашагы температур шэрант.ндэ никелли вэ раммелсберки-тин эвэз олунмасы Јолу илэ эмэлэ кэлмишиди. Јүксэк анизотроплулуг хассэснини малликди. Микроскоп алтында парараммелсберкитин ишыгы экетмэ габилитэти никеликиндэн артыгдыр. Тэзэ тапылмыш минералын хусуси чэкиси $7,24 \pm 0,02$ -дир. $FeCl_3$ илэ парараммелсберкитэ тэсир етдикдэ зонал структур Јараныр. Минерал үчүн эсас рентгенметрик хэтлэр—2,550; 2,551; 2,361; вэ 1,820 сэчијэвидир. Еlemen-стар шэбэкэнин параметрлэри белэди: $a_0 = 5,76 \text{ \AA}$, $b_0 = 5,85 \text{ \AA}$ вэ $c_0 = 11,41 \text{ \AA}$.

A. M. Makhmudov, Sh. I. Allahverdiev, Sh. S. Bektashi, N. V. Troneva

THE FIRST FIND OF PARARAMMELSBERGITE IN AZERBAIJAN SSR

Pararammelsbergite is discovered at the same association with copper nickel, rammelsbergite in ore of Shorbulagh deposits of Kelbadghar region (Minor Caucasus). It is formed at low temperature conditions by replacement of copper nickel and rammelsbergite. In reflected light it is white, strongly anisotropic. The reflection ability is higher than at copper nickel and rammelsbergite. The specific weight (d_{sp}) is $7,24 \pm 0,02$. In the presence of etching with $FeCl_3$ the structure is discovered. Characteristic roentgenometric lines are 2,550; 2,361; 1,820. Parameters of elemental cells are $a = 5,76$, $b = 5,85$, $c = 11,41 \text{ \AA}$.

УДК 575.12 + 631.523:633.1

ГЕНЕТИКА

Р. А. СЕИДОВА

МЕЙОЗ У ГИБРИДА Т. AESTIVUM \times S. SEGETALE

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР И. Д. Мустафаевым)

Гибридизация пшеницы с рожью уже давно привлекает внимание ученых.

Первые пшенично-ржаные гибриды были получены в 1876 г. Вильсоном, в 1884 г. Гарманом и в 1891 г. Римпау (по Мейстеру [1]).

В 1922 г. гибриды удалось получить путем опыления цветков ржи пшеничной пылью [2]. Результатом скрещивания пшеницы с рожью в прямом и обратном направлении явились гибриды F_1 , идентичные как морфологически, так и по развитию и урожайности [3]. Аналогичные результаты констатированы и другими исследователями [4—7].

Биологические особенности пшенично-ржаных гибридов изучены в [8—13]. В течение многих лет цитогенетические исследования указанных гибридов проводил Накаджима [14—18]. В ряде работ приводятся некоторые итоги сравнительного анализа мейоза у гибридов рода Triticum и у представителей рода Secale [19—21]. Литература по мейозу у пшенично-ржаных гибридов довольно обширна [22—29]. Лейтскому и Бенецкой [25] удалось обнаружить существенные нарушения в ходе мейоза, а именно: образование мостов, наличие большого числа унивалентов, формирование микроядер, полиад и т. п. Неспаривание хромосом объясняется несогласованным взаимодействием наборов хромосом двух разных родов. В другой работе [30] предполагается, что в процессе мейотического деления отстают, вероятно, хромосомы ржи, что, с одной стороны, объясняется различной длительностью клеточного цикла хромосом ржи и пшеницы, а с другой—несовместимостью ядра ржи с цитоплазмой пшеницы. Существует также мнение [31], что нарушение стабильности мейоза в тритикале, препятствующее нормальной конъюгации хромосом, обуславливается тем, что определенные гены пшеницы влияют на интенсивность конъюгации хромосом ржи или ведут к ее полному отсутствию.

В сложном геноме тритикале количественно преобладают геномы пшеницы. Перевес хромосом пшеничных геномов над хромосомами ржи предопределяет общее более значительное сходство гибридных форм с родительской формой пшеницы—многоцветковость колоса. Вместе с тем обнаруживаются также и следы генома ржи—окраска, наличие густого воскового налета на листьях, опущение стебля под колосом, удлинение колосковых и цветочных чешуй, увеличение числа колосков в колосе.

Установлено, что генетическая несовместимость хромосом ржи и пшеницы приводит к глубокому нарушению генетически контролируемых процессов мейоза (синтез ДНК и конъюгация хромосом) [32—33].

Геном ржи у тритикале может отставать от генома пшеницы в клеточном цикле, вплоть до обособления и образования в профазе отдельного ядра. В M_1 образуется собственное веретено и наблюдается самостоятельное расхождение хромосом в A_1 [34].

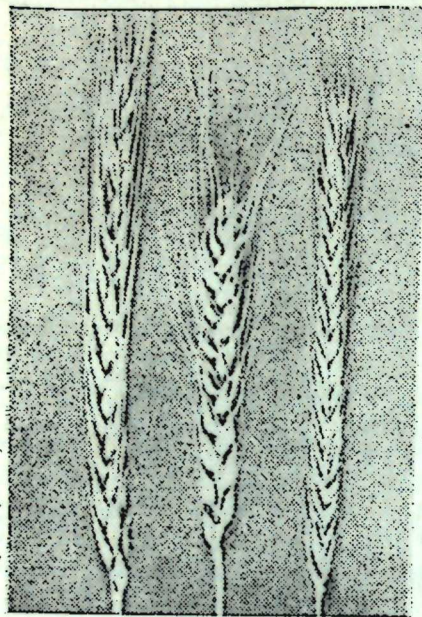


Рис. 1. а—гибрид; б—материнская форма; в—отцовская форма



Рис. 2. Клетка с 28 унивалентами в МКП

Наша работа проделана на Апшеронской научно-экспериментальной базе Института генетики и селекции АН Азербайджанской ССР. Материалом исследования служил гибрид F_1 комбинации *T. aestivum* var. *egyptroperitum* с. Mexico 50—Б—21 (2n-42) × *S. segetale* L. (2n-14). Произведена гибридизация 50 колосьев прямого (1600 цветков) и 50 колосьев обратного (2000 цветков) скрещивания. В первом случае получено семь семян, или 0,42%. От обратного скрещивания семена получить не удалось. Полученные семена были высеяны в горшки (условия оранжерейные). В период кушения растения переносились из теплового отсека в холодный. При перенесении в грунт корешки фиксировались по методу Баталья [35] с предварительной обработкой альфа-бромнафталином и по Карнуа [3:1].

Цитонализ показал, что число хромосом в соматических клетках гибрида 28 (21 пшеничная + 7 ржаных).

Для изучения мейоза у гибрида фиксировались молодые колосья по Ньюкомеру (6:3:1:1:1) и по Карнуа (3:1). В период цветения с целью установления процента стерильности пыльцевых зерен фиксировалась зрелая пыльца. Фотографирование производилось через микроскоп МБИ-11 с использованием фотонасадки МФН-3. Цитонализ осуществлялся на временных ацетокарминовых препаратах.

Гибридное растение—темно-зеленого цвета, с явно выраженным восковым налетом. Габитус его напоминает пшеничное растение. Высота куста гибридного растения (в среднем 90 см) занимает промежуточное положение между родительскими формами. Так, у мате-

ринской формы она составляет в среднем 58 см, а у отцовской—150 см. Длина гибридного колоса (рис. 1а) 15 см, у материнской формы (рис. 1б)—9, а у отцовской (рис. 1в)—14 см. Колос гибрида содер-



Рис. 3. Отставание хромосом в анафазе I

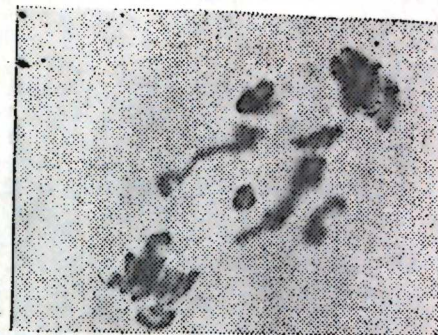


Рис. 4. Расположение слившихся хромосом на веретене в телофазе I

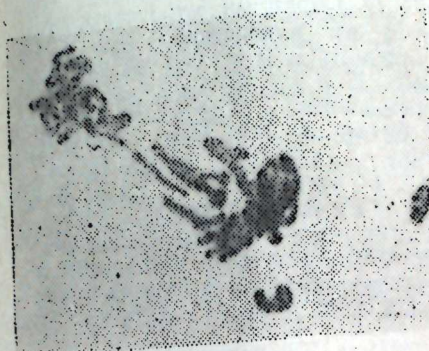


Рис. 5. Отставание и отброшенные хромосомы в анафазе I

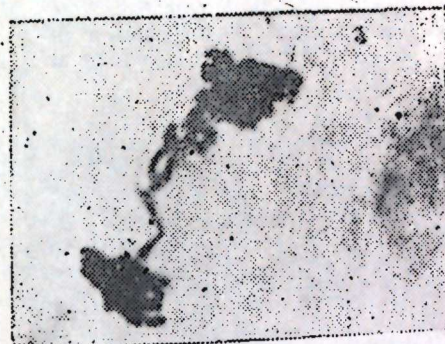


Рис. 6. Хромосомный мост в телофазе I

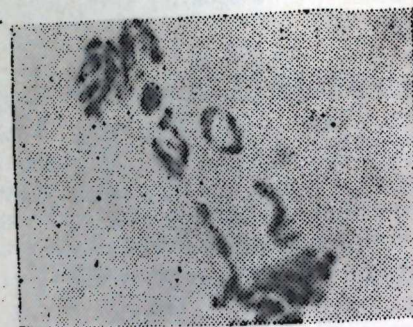


Рис. 7. Хроматидный мост и отставшие хромосомы в анафазе I



Рис. 8. Хроматиновые сгустки в телофазе I

жит большое количество колосков, и в то же время колос у него многоцветковый. У гибрида число колосков 21—23, у материнской формы—9—10, у отцовской—15. Солома средней толщины, под колосом опущенная.

Цитонализ молодых пыльников гибрида раскрывает причину его 100%-ной стерильности.

Для пшенично-ржаных гибридов F_1 характерны различные нарушения мейоза в материнских клетках пыльцы: высокая частота унивалентов в метафазе I, отставание хромосом, образование фрагментов и мостов в анафазе I и II, наличие микроядер в диадах и тетрадах, полнады микроспор и т. п.

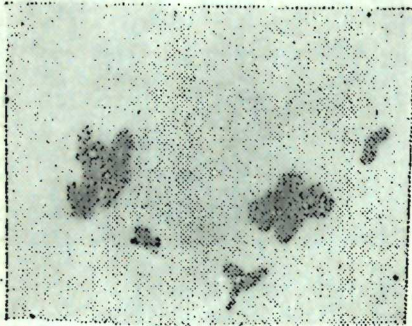


Рис. 9. Неравномерное расхождение хромосом к полюсам в результате нарушения функции веретена

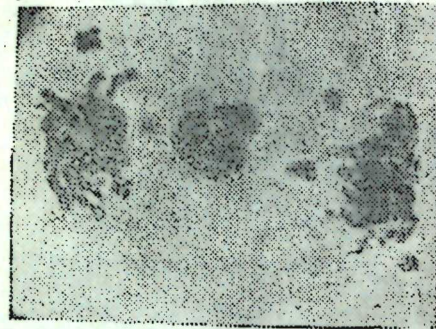


Рис. 10. Образование трехполюсного веретена

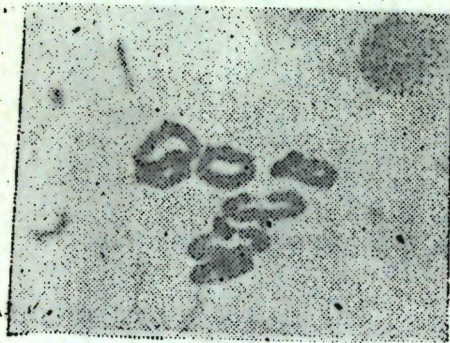


Рис. 11. Клетки с семью ржаными ассоциациями, обнаруженные среди гибридных клеток

В процессе исследования микроспорогенеза у гибрида $T. aestivum \times S. segetale$ установлено, что здесь имеет место асинхронизм, в результате чего в M_1 насчитывается 28 унивалентов (рис. 2). Вместо анафаз наблюдается лишь беспорядочное движение хромосом к полюсам (рис. 3), отставание хромосом и расположение их на веретене (рис. 4). Имеются также клетки с отброшенными хромосомами и мелкими фрагментами (рис. 5). Вследствие нарушения митотического веретена униваленты слипаются в компактную массу, которая в дальнейшем приводит к образованию хромосомных (рис. 6) и хроматидных (рис. 7) мостов. Нередка картина обособления хроматиновых сгустков (рис. 8,9), возникновение трехполюсного митоза (рис. 10) и т. д.

Интересно отметить, что среди многочисленных клеток с 28 унивалентами в материнских клетках пыльцы у гибрида $T. aestivum \times S. segetale$ нами обнаружены клетки с семью ржаными бивалентными ассоциациями (рис. 11). Можно полагать, что такие ассоциации возникли в результате обособления генома ржи и дальнейшего удвоения хромосом.

Литература

1. Мейстер. В кн.: "Цитогенетика гибридов мутаций и эволюция кариотипа". Новосибирск, "Наука", 1977.
2. Gaines E. F. and Stevenson F. J. *J. Heredity*, 13, 1922.
3. Мейсер Н. Г., Тюмяков Н. А. "Опыт агроп. Юго-Востока", 4, 1927, № 1.
4. Bledsoe R. P. *J. Heredity*, 26, № 4, 1935.
5. Taylor J. W., Quidsenberry K. S. *J. Amer. Soc. Agron.*, 27, 1935.
6. Канделаки Г. В. Отдаленная гибридизация и ее закономерности. Тбилиси, 1969.
7. Ригин Б. В. Тр. по прикл. бот., генетике и селекции, 58, вып. 1, Л., 1976.
8. Васильев В. И. Тр. лабор. генетики АН СССР, 1932, № 9.
9. Баева Р. Симпозиум по отдаленной гибридизации растений. София, 1964.
10. Георгиев А. Д. "Сообщ. АН Груз. ССР", 42, 1966.
11. Канделаки Т. В., Мелиян Н. С. "Сообщ. АН Груз. ССР", 70, 1973, № 1.
12. Рамазанов Е. В. В сб.: "Генетика и селекция растений и животных в Казахстане". Алма-Ата—Кайнар, 1974.
13. Мустафаев И. Д., Пиратов Г. Р. "С.-х. биол.", XII, 1974, № 2.
14. Nakajima G. *Japan J. Genet.*, 25, 1950, 139—148.
15. Nakajima G. *Japan J. Genet.*, 28, 1950, 191—199.
16. Nakajima G. *Cytologia*, 17, 1952, 145—155.
17. Накаджима Г. *Сэнсекутай. Кромосома*, 22—24, 1955, 816—823.
18. Nakajima G. *J. Bot.*, 16, 1957, № 1.
19. Вакар Б. А. Тр. Омского с.-х. ин-та им. С. М. Кирова вып. 1, 1935.
20. Вакар Б. А. Тр. Белорус. с.-х. ин-та, XIII, вып. 1, 1948.
21. Берхин Ю. И. Тр. Свердлов. с.-х. ин-та, II, 1974, 195, 188.
22. Зеленский В. Р., Дорошенко А. Б. Тр. по прикл. бот., генетике и селекции, 14, вып. 1, Л., 185—210.
23. Thompson W. P. *Genetics*, 11, 1926.
24. Плотникова Т. В. Тр. НИС, 5, Киев, 1930.
25. Левитский Г. А., Бенецкая Г. К., Тр. по прикл. бот., генетике и селекции, 27, 1931, № 1, 241—247.
26. Riley R. J. *Heredity*, 14, 1960, 1—2.
27. Шкутина Ф. М., Шепелев В. М., Хвостова В. В. Бюлл. Моск. о-ва испытат. природы. Отд. биол., вып. 1, 1964.
28. Голубовская И. Н., Шкутина Ф. М., Хвостова В. В. "Генетика", 1967, № 1, 25—33.
29. Межлумов Ф. К. Тез. науч. конфер. аспирантов АН Азерб. ССР. Баку, "Элм", 1973.
30. Авдулов Н. П. Тр. Саратов. селек.-опыт. ст. М.—Л., 1937, 127—134.
31. Krolou K. E. *Zs. Pflanzenzuchtg*, 48, 1962, № 2.
32. Банникова В. П. В кн.: "Цитозамбриология межвидовой несовместимости у растений". Киев, 1975.
33. Орлова И. Н. Тр. по прикл. бот., генетике и селекции, 58, вып. 1, Л., 1976.
34. Шкутина Ф. М., В кн.: "Цитогенетика гибридов мутаций и эволюция кариотипа". Новосибирск, "Наука", 1977.
35. Battaglia S. *Caryologia*, IX, 1957, № 2, 368—376.

Институт генетики и селекции АН Азерб. ССР

Поступило 17. VII 1978

Р. Э. Сеидова

T. AESTIVUM X S. SEGETALE ГИБРИДИНДЭ МЕЈОЗУН ӨРЭНИЛМЭСИ

Чинсарасы гибридашдирмэдэ мејозун өрэнилмэси үчүн јумшар бугдалардан *T. aestivum* var. *elit.* Mexico сорту илэ *S. segetale* Z. (човдар) арасында дүзүнэ вэ экинэ чарпазлаша апарылмышдыр. Јалпыз бугда биткисини ана кими көтүрүлдүјү комбинашјада аз да олса тохум алынмышдыр. Бу тохумлардан алынган биткилэри һамысы дөлсүз олмушдыр. Апарылмыш ситоложи анализлэрин нэтичэси көстэрмишдир ки, дөлсүзлүјэ сәбәб һәмин гибридардэ мејоз просесиндэ баш верән бир сыра хромосом позгуилугларыдыр.

R. A. Seidova

MEIOSIS IN HYBRID OF COMBINATION $T. AESTIVUM \times S. SEGETALE$

Meiosis in interspecific hybrid goes with the breaches. Bridges and fragments are formed here, lags of chromosomes are observed. There are cells with univalents and with 7 rye bivalent associations among the female cells of pollen. The hybrid is 100% sterile.

В. А. ЛЕРНЕР

К ВОПРОСУ О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ
БУРЖУАЗНО-НАЦИОНАЛИСТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ „ДИФАИ“

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР А. С. Сумбатзаде)

Исходя из своих классовых интересов буржуазная историография всячески превозносит буржуазных националистов и националистические организации Азербайджана начала XX в., в частности партию „Дифаи“, деятельность которой, как пишут современные буржуазные фальсификаторы, якобы была направлена на защиту интересов и прав азербайджанского народа. Реакционный идеолог М. Мамедзаде, например, делает даже смехотворную попытку поставить знак равенства между этой националистической партией и большевистской организацией „Гуммет“¹.

Что же на самом деле представляла собой организация „Дифаи“, интереса каких классов и слоев населения она выражала и защищала?

Возникла эта буржуазно-националистическая политическая организация осенью 1906 г. в Баку по почину редактора газеты „Иршад“ А. Агаева². По инициативе того же А. Агаева отделения „Дифаи“ были созданы и в других городах Закавказья³. В августе А. Агаев собрал в Шуше „влиятельных и почетных татар“, которые на собраниях „находились в весьма возбужденном состоянии и говорили речи политического характера“⁴. Из донесения жандармских властей видно, что вскоре после этого А. Агаев разъезжал по Карабаху и содействовал организации порайонных комитетов „Дифаи“, назначением которых было „сплотиться всем мусульманам“⁵. Организаторы партии „Дифаи“ вели агитацию среди мусульманского населения также в Дагестане и на Терек⁶.

Созданные на местах партийные организации возглавлялись выборными руководителями, составляющими „меджлис“, или „комитет“. Карягинский, Бардинский и др. При этих комитетах были созданы боевые команды, которые приводили в исполнение решения „меджлиса“, следили за выполнением программы и устава, налагая на лиц, нарушивших программные документы и невыполнивших решения, различные взыскания⁷.

¹ Mehmet-zade Mirza-Bala. Azerbaijan Hareketi Milli Ar. „Musavat“ Halk firkesi tarihi, Berlin, 1938, s. 14.

² ЦГАОР, ф. 102, оп. 1909, д. 309, л. 34; ЦГИА Азерб. ССР, ф. 62, оп. 1, д. 59.

³ ЦГИА Азерб. ССР, ф. 62, оп. 1, д. 59.

⁴ Там же.

⁵ ЦГИА Груз. ССР, ф. 94, оп. 1, д. 309, л. 142.

⁶ Там же, д. 57, л. 201.

⁷ Там же, д. 686, л. 12.

Из обвинительного акта по делу члена „Дифаи“ Ирзабека Ирзабекова, происходившего из беков и привлеченного царским судом к уголовной ответственности, видно, что нарушение программных предписаний или невыполнение решений „меджлиса“ влекло за собой различные наказания: денежные штрафы, лишение свободы и т. д. В Шуше и Агдаме существовала партийная тюрьма. „Винные“, кроме того, подвергались телесным наказаниям, изгнанию из уезда (остракизму), им объявлялся бойкот и, наконец, они приговаривались к смертной казни⁸.

Организационное укрепление партии „Дифаи“, а также разработка „некоторых тактических и программных вопросов“ были осуществлены весной 1907 г. во время так называемого „мусульманского съезда“ в Елизаветполе, явившемся, по существу, совещанием руководителей этой буржуазно-националистической партии. На съезде, в котором принял участие и видный идеолог национализма редактор, выходившей в Крыму газеты „Терджуман“ И. Гаспринский, было решено организовать всеобщий мусульманский союз по примеру действовавшей на Кавказе армянской националистической организации „Дашнакцутюн“. Финансовое обеспечение „Дифаи“ возлагалось на бакинских капиталистов и в частности на известного миллионера Г. З. Тагиева. Главой Закавказского мусульманского союза на съезде был избран бывший член Государственной думы националист Исмаилхан Знатханов.

Съезд подтвердил, что основным средством борьбы за претворение в жизнь идеи национализма должен стать ранее провозглашенный и уже осуществляемый индивидуальный террор⁹.

Разного рода террористические акты „Дифаи“ осуществляла с помощью оружия, которое закупалось на местах или за границей¹⁰. Деньги на оружие насильственно собирали с местного населения.

Хотя „Дифаи“ была создана под предлогом защиты азербайджанского народа от „армянской опасности“ (отсюда и ее название: по-арабски „дифаун“ — „защита, оборона“), однако, как показал анализ архивных документов, она стояла на позициях федерации Кавказа. В печатной прокламации, выпущенной в октябре 1906 г., целью организации называлось „благоденствие Кавказа“ при неперменном сохранении „прав и преимуществ всех народностей Кавказа на почве равенства“¹¹.

Выступая в условиях конкуренции со стороны „Дашнакцутюн“ как защитница азербайджанского народа от „армянской опасности“, „Дифаи“ проявляла беспокойство, что армянский „Дашнакцутюн“ в случае „автономного управления“ захватит власть на Кавказе¹², и выражала готовность действовать „по-братски“, солидарно с дашнаками, если последние открыто заявят о своих целях, ознакомят со своей программой и не станут посягать на самостоятельность отдельных народов Кавказа¹³. О том, что деятели „Дифаи“ предлагали

⁸ ЦГИА Груз. ССР, ф. 94, оп. 1, д. 686, л. 12 об.

⁹ ЦГАОР, ф. 102, оп. 1907, д. 180, ч. 5, л. 24.

¹⁰ ЦГИА Груз. ССР, ф. 157, оп. 1, д. 225, л. 260.

¹¹ ЦГАОР, ф. 102, оп. 1906, д. 25, ч. 73, л. 1.

¹² ЦГИА ССР, ф. 821, оп. 133, д. 469, л. 333.

¹³ ЦГАОР, ф. 102, оп. 1906, д. 25, ч. 73, л. 2 об.: „Иршад“ № 241, 13 октября 1906.

„блок“ дашнакам, сообщал и начальник Бакинского губернского жандармского управления¹⁴. А елизаветпольский губернатор летом 1907 г. доносил, что деятели партии „Дифаи“ считают и вскоре займутся пропагандой той мысли, что принципом административного управления должно быть самоуправление Кавказа с предоставлением „автономии мусульманским областям“¹⁵.

Так как членами партии „Дифаи“ были мелкая буржуазия, кулаки, торговцы, буржуазная интеллигенция, духовенство—программа партии была весьма расплывчатой¹⁶.

Учитывая все усиливающееся обострение классовых противоречий, „Дифаи“ прежде всего ставила своей целью отравить классовое сознание трудящихся мусульман ядом национализма, свести классовую борьбу к религиозно-националистической. ...Кто, организовавшись в группы, поднимает руку на своих старших мусульманских братьев, наносит ущерб и зарится на их имущество...будет наказан мечом „Дифаи“,—говорится в программном документе партии¹⁷. Это положение отражает, кроме того, и готовность любыми средствами защищать частную собственность имущих классов Азербайджана.

Лейтмотивом деятельности националистов являлось стремление сгладить классовые противоречия на основе настойчиво пропагандированной ими „общей почвы“, что, несомненно, служило реакционным целям буржуазии и помещиков и прямо выражало их интересы. „Партия „Дифаи“ будет преследовать...тех людей, кто вносит разногласия и разлад в среду мусульман, кто путем создания враждебных партий посеет семена вражды между мусульманами, являющимися братьями...“,—грозили составители программы¹⁸.

Националистическая сущность теории „общей почвы“ особенно ярко проявлялась в требованиях развивать промышленность и торговлю Азербайджана в чисто национальном направлении¹⁹. Требование это конечно же, отражало узкоклассовые интересы. Стремясь к монополюльной эксплуатации азербайджанских трудящихся, „Дифаи“ требовала ограждения интересов азербайджанских торговцев и предпринимателей, чтобы „мусульмане покупали товары только у мусульман для предоставления выгоды своим, а не другим нациям“²⁰. С этих же позиций партия заботилась об учреждении „акционерных компаний, где состоятельные мусульмане“ должны были закупать у мусульман сельскохозяйственную продукцию с тем, чтобы „это добро мусульманское не перешло в руки других наций“²¹. В развитии национального капитала должны быть заинтересованы все слои населения, считала „Дифаи“. Невыполнение этих требований грозило штрафом, как за измену нации. Защищая интересы имущих слоев, лидеры „Дифаи“ в то же время обходили такие важные вопросы, как аграрный, ограничившись, как пишет исследователь В. Ю. Самедов, робким требо-

ванием „об обеспечении кулацкого землевладения“²². Но, поскольку подобные требования не могли привлечь крестьянские массы, лидеры партии „Дифаи“, как следует из архивных документов, прибегали к демоagogической фразеологии²³, которая была направлена на то, чтобы скрыть корыстные интересы партии „Дифаи“ и подчинить своему влиянию крестьянское движение.²³

В самой общей форме выдвигалось требование просвещения азербайджанского народа.

Как видно из донесений полицейских властей в департамент полиции, деятели „Дифаи“ в пропаганде не касались сколько-нибудь серьезно политических вопросов, и действия их сводились главным образом „к приобретению среди населения влияния и авторитета“²⁴.

Партия „Дифаи“ объявила себя единственной организацией, которая призвана объединить нацию. Поскольку „наш народ“ в последнее время „стал подвергаться опасным несчастьям“ и переживал период „постепенного нарушения общего настроения—характера“,—говорится в программе партии,—и в то же время нет ни „правительственного, ни передового народного элемента“, способного искоренить эти „несчастья“, то „Дифаи“ бралась всти борьбу за их избавление от национальной катастрофы²⁵. Разрешение национального вопроса, отмечалось там же, возможно, с одной стороны, через просвещение, а с другой—посредством силы как средства избавления народа от его врагов, например, от „плохих правительственных мужей“, „изменников народа“ и т. п. Тогда „правительственные мужи“, по утверждению „Дифаи“, склонятся к справедливости и беспристрастному отношению к „нашему народу“. Подобная постановка вопроса свидетельствует о том, что буржуазные националисты из „Дифаи“ были весьма далеки от осознания истинной природы системы управления в условиях царского режима. Сводя критику колониальной политики к обличению отдельных царских чиновников „Дифаи“ жертвовала жизненными интересами азербайджанских трудящихся ради узконационалистических целей буржуазии. Отрицая наличие „передового народного элемента“, лидеры партии, по существу, отрицали передовую роль рабочего класса в революционном преобразовании общества, в том числе в борьбе за утверждение действительного равноправия народов.

Реакционный характер „Дифаи“ усугубляется еще и тем, что свои классовые интересы она прикрывала постоянной апелляцией к религиозным чувствам азербайджанского населения, „солидарности“ и „единству“ всех мусульман. Это, несомненно, вело к ослаблению общедемократических элементов в национально-освободительном движении Азербайджана.

Некоторые активные члены „Дифаи“ (А. Рафибеков, Г. Улубеков, А. Хасмамедов, М. Пишнамазаде и др.) поддерживали связь с

¹⁴ ЦГИА Азерб. ССР, ф. 46, оп. 1, д. 334.

¹⁵ Документы по русской политике в Закавказье. Баку, 1920, стр. 21.

¹⁶ ЦГИА Азерб. ССР, ф. 62, оп. 1, д. 59.

¹⁷ ЦГИА Груз. ССР, ф. 113, оп. 1, д. 686, л. 314.

¹⁸ ЦГАОР, ф. 102, оп. 1906, д. 171, л. 118.

¹⁹ В. Ю. Самедов. Распространение марксизма-ленинизма в Азербайджане Баку, 1966, стр. 121.

²⁰ ЦГИА Груз. ССР, ф. 113, оп. 2, д. 686, л. 317.

²¹ Там же, л. 31 об.

²² В. Ю. Самедов. Указ. раб., стр. 121.

²³ ЦГАОР, ф. ДП, 4-е д-во, оп. 1908, д. 19, ч. 9, л. 7. Не разобравшись первоначально в истинных целях партии „Дифаи“ относительно аграрного вопроса, а также напуганные словесной шумихой лидеров этой партии, крупные помещики-беки западной части Елизаветпольской губернии и прилегающих к ней уездов Тифлисской создали в мае 1907 г. организацию „Мудафие“.

²⁴ Там же.

²⁵ ЦГАОР, ф. 102, оп. 1907, д. 171, л. 118; „Иршад“ № 241, 13 октября 1906 г.

младотурецкими организациями, стремившимися создать свои филиалы в Закавказье²⁶.

Турецкие эмиссары распространяли литературу, прокламации, в которых азербайджанский народ представлялся как некий придаток „османской нации“²⁷.

Анализ программных положений партии „Дифай“ и ее деятельности показал, что это была буржуазно-националистическая партия. В пропаганде националистических идей „Дифай“ видела средство подчинения интересов трудящихся Азербайджана интересам имущих классов.

Трудящимся массам Азербайджана трудно было самостоятельно преодолеть влияние буржуазной идеологии, в том числе идеологии национализма, поэтому большевики вели непримиримую борьбу против как великодержавного шовинизма так и местного национализма, противопоставляя им идею пролетарского интернационализма. „Пролетариат не признает национализма: через границы всех стран пролетарии братски протягивают друг другу руки“, — говорили большевики на митинге, посвященном революционным событиям в Гурии²⁸. Большевицкая газета „Девет-Коч“ подчеркивала, что антагонистические противоречия существуют не между нациями, а между классами, и призывала к борьбе²⁹.

Важнейшим результатом непримиримой борьбы большевиков Азербайджана с буржуазно-националистическими партиями было то, что эти партии не смогли подчинить своему влиянию рабочие и крестьянские массы.

АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 27. IV 1978

В. А. Лернер

АЗЭРБАЙЧАНДА ФЭАЛИЈАТ КЭСТЭРЭН „ДИФАЙ“ БУРЖУА-МИЛЛЭТЧИ ТЭШКИЛАТЫ МЭСЭЛЭСИНЭ ДАИР

Буржуа тарихшүнаслыгы өз синфи манафеји үчүн Азербайчанда ХХ эсрин эввәлиндә мөвчуд олан миллэтчи тәшкилатлары вә буржуа миллэтчиләрини һәр чүр мүдәфиә едир. Бу „Дифай“ буржуа-миллэтчи тәшкилатына да аидир.

„Дифай“ тәшкилатынын програм мүддәалары кәстәрди ки, бу партија миллэтчиллик идејаларыны јаймагла Азербайчан эһмәткешләрини ингилаби мүбаризәдән јайындырмаг, синфи мөгсәдләринә чатмаг үчүн халг күтләләрини варлы синфин манафејинә табе етмәк мөгсәдини күдүрдү.

V. A. Lerner

TO THE QUESTION ABOUT CREATIVE ACTIVITY OF BOURGEOIS-NATIONALISTIC ORGANIZATION „DIFAI“ IN AZERBAIJAN

Bourgeois historiography pursue its own interests extol bourgeois nationalists and nationalistic organizations in Azerbaijan at the beginning of the century. This concerns the bourgeois-nationalistic organization „Difai“ too. The analysis of the programme of this party shows that in propaganda of nationalistic ideas the party of „Difai“ saw the means of achievement of narrow class purposes striving to subordinate the working people of Azerbaijan to the interests of classes of property.

²⁶ ЦГИА Азерб. ССР, ф. 62, оп. 1, д. 59. Г. Алиев. Турция в период правления младотурок. Баку, 1972, стр. 87.

²⁷ М. Агамиров. Из истории борьбы за марксистско-ленинское учение в Азербайджане. Баку, 1971, стр. 140.

²⁸ „Баку“ № 161, 12 ноября 1905 г.

²⁹ „Девет-Коч“ № 1, 26 мая 1906 г.

МҮНДЭРИЧАТ

Ријазиијат

- Ә. Н. Маһмудов. Чохүзлү диференциал дахилетмәләр вә хәтти чохүзлүләрдә хәтти оптимал идарәетмә мөсәләләри 3
Ф. Г. Мағсудов, М. М. Һүсәјнов. Кәсилмәз спектрә малик квадратик опәраторлар дәстәси 9

Һесаблама ријазиијаты

- Ј. А. Кустов. Әдәд охунун парчасы үзрә сингулјар интегралларын тәгриби һесаблинамасы 14

Астрофизика

- З. Ф. Сејидов. Индекси ики олан Лен-Емден тәңлијини үстлү сыра шәклиндә һәлли 21

Јарымкечиричиләр физикасы

- Г. М. Гуро, Г. А. Калјужнаја, Т. С. Мәммәдов, Л. А. Шеленин. Енсіз золаглы јарымкечиричиләрин епитаксиал тәбәгәләрини көјәрдилмә процесинә електромагнит шүәләнмәсини тәсирини тәдгиги 25
Ф. М. Һашымзадә, С. М. Сејидрзајева, В. Г. Штејншрајбер. Магнит сәһәси олмајан һалда јарымметал $Cd_xHg_{1-x}Te$ әрнитиләриндә кишетик еффеќтләрин нәзәријәси 31

Молекулјар физика

- Р. Ә. Әлијев, Н. М. Гочајев, С. Һ. Аббасов, Н. А. Әһмәдов. Панкреатик трипсин инхибитору $Asn^{43}-Asn^{44}-Phe^{45}$ фрагментини нәзәри конформасија анализ 37

Механика

- Т. Н. Гијасбәјли. Чубугларын узунуна рөгсләри һаггында 40

Енеркетика

- А. А. Әлизадә, Ф. Л. Хыдыров. Илдырым бошамаларынын оптик-оссилографик үсулла тәдгиги 45

Гејри-үзви кимја

- И. Р. Әмирасланов, Х. С. Мәммәдов, Е. М. Мөвсүмов, Һ. Н. Нәчәфов, Ф. Н. Мусајев. Бис-(*n*-аминобензоато) синк (II) гидратынын кристал вә молекулјар гурулушу 50

Үзви кимја

- Ф. П. Һәсәнов, С. М. Әлијев, Р. Ә. Бабаханов, С. М. Казымов. Сиклоһексанын оксихлорлашмасы 53
Т. Г. Гаракөзов, А. Ә. Гулијев, А. Г. Арустамова. Газ хроматографија үсулу илә ејни вахтада ашағы температурда гајнајан O_2, CO_2, N_2, CO вә C_2H_4 газ гарышығынын тәјини 57
С. Ф. Гарајев. Асетилен һалондефирләрини нуклеофил әвәзетмә реаксияларында реаксијаакирмә габилијәти 61
И. М. Оручова, Һ. Ә. Чавадова, А. С. Сүлејманов, А. К. Ибадзадә, Н. П. Курносова, Е. М. Чавадова. Алкил(4-метилфенил)-вә алкил (4-метилсиклоһексил)-фосфитләрин синтези 66

Физици кимја

Ч. Э. Мустафајев. Деври (сиклик) деформација заманы ахан во јуксак
еластик халда полимерлерин реоптик тедгигаты 71

Кеотектоника

Р. А. Махмудов. Орта Плиосен дөврундө Бақы архипелагынын кеоложи
инкишафынын эсас хассэлэри 75

Минералокија

Э. И. Махмудов, Ш. И. Аллахвердијев, Ш. С. Бакташи, Н. В.
Тронева. Азербайжан ССР-дө парараммелсберкитин илк тапынтысына даир 80

Кенетика

Р. Э. Сејидова. T. aestivum X S. segetale гибридиндө мејозун өјрәнилмәси 87

Тарих

В. А. Лернер. Азербайжанда фәалијјәт көстәрән «Дифаји» буржуа-мил-
ләтчи тәшкилаты мәсәләсинә даир 92

СОДЕРЖАНИЕ

Математика

Э. Н. Махмудов. Принцип оптимальности для многогранных дифферен-
циальных включений и линейные задачи оптимального управления на линейных
многообразиях 3
Член-корр. АН Азерб. ССР Ф. Г. Максудов, М. М. Гусейнов. Квадра-
тичный пучок операторов при наличии непрерывного спектра 9

Вычислительная математика

Ю. А. Кустов. Приближенное вычисление сингулярных интегралов по отрез-
ку действительной прямой 14

Астрофизика

З. Ф. Сеидов. Степной ряд как решение уравнения Лена-Эмдена индекса два 21

Физика полупроводников

Г. М. Гуро, Г. А. Калюжная, Т. С. Мамедов, Л. А. Шелени. Ис-
следование влияния электромагнитного излучения на процесс роста эпитаксиаль-
ных слоев узкозонных полупроводников 25
Ф. М. Гашимзаде, С. М. Сеид-Рзаева, В. Я. Штейншрайбер.
Теория кинетических явлений полуметаллических сплавов CdHg_{1-x}. Тев отсутст-
вие магнитного поля 31
Р. Э. Алиев, Н. М. Годжаев, С. Г. Аббасов, Н. А. Ахмедов. Тео-
ретический конформационный анализ фрагмента Asn⁴⁺-Asn⁴⁺-Phe⁴⁺ панкреа-
тического трипсинового ингибитора 37

Механика

Т. Н. Киясбейли. К теории продольных колебаний стержней 40

Энергетика

Член-корр. АН Азерб. ССР А. А. Ализаде, Ф. Л. Хыдыров. Оптико-
осциллографическое исследование разрядов молнии 45

Неорганическая химия

И. Р. Амирасланов, член-корр. АН Азерб. ССР Х. С. Мамедов,
Э. М. Мовсумов, Г. Н. Наджафов, Ф. Н. Мусаев. Кристаллическая и
молекулярная структура гидрата бис-(*l*-аминобензоато) цинка (II) 50

Органическая химия

Ф. П. Гасанов, С. М. Алиев, Р. А. Бабаханов, С. М. Кязимов.
Окислительное хлорирование циклогексана 53
Т. Г. Карагезов, А. А. Кулиев, Л. Г. Арустамова. Одновременное
определение смеси низкокипящих газов O₂, N₂, CO₂, CO и этилена методом газо-
вой хроматографии 57
С. Ф. Караев. Реакционная способность ацетиленовых галоидэфиров в ре-
акциях нуклеофильного замещения 61
Академик АН Азерб. ССР И. М. Оруджева, А. А. Джавадова, А. С.
Сулейманов, А. К. Ибадзаде, Н. П. Курносова, Е. М. Джавадо-
ва. Синтез алкил(4-метилфенил)-и алкил(4-метилциклогексил) фосфоритов 66

Физическая химия

- Д. А. Мустафаев. Реооптическое исследование полимеров при их циклическом деформировании в текучем и высокоэластическом состояниях 71

Геотектоника

- Р. А. Махмудов. Основные черты геологического развития Бакинского архипелага в среднеплиоценовое время 75

Минералогия

- А. И. Махмудов, Ш. И. Аллахвердиев, Ш. С. Бекташи, Н. В. Тронева. Первая находка парараммельсбергита в Азербайджанской ССР 80

Генетика

- Р. А. Сендова. Мейоз у гибрида *T. aestivum* × *S. segetale* 87

История

- В. А. Лернер. К вопросу о деятельности в Азербайджане буржуазно-националистической организации «Дифан» 92

Сдано в набор 15/1 1979 г. Подписано к печати 29/V 1979 г. Формат бумаги 70×100^{1/16}. Бум. лист. 3,13. Печ. лист. 8,75. Уч.-изд. лист. 7,48. ФГ 21128. Заказ 18. Тираж 680. Цена 40 коп.

Издательство „Элм“. 370143. Баку—143, проспект Нариманова, 31, Академгородок, Главное здание.

Типография „Красный Восток“ Государственного комитета Азербайджанской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Баку, ул. Ази Асланова, 80.

40 коп.
гэл.

Индекс
76355