Азәрбајҹан ССР
Елмләр Академијасы
Академия наук
Азербайджанской ССР

ISSN 0002—3078

МӘ'РУЗӘЛӘР
ДОКЛАДЫ

ҸИЛД
XLIII
ТОМ

8

1987

ДАН Азерб. ССР публикует краткие сообщения об оригинальных, нигде не печатанных ранее, результатах научных исследований, представленные академиками АН Азерб. ССР, которые тем самым берут на себя ответственность за научные достоинства представляемой статьи.

В «Докладах» не публикуются крупные статьи, механически разделенные на ряд отдельных сообщений, статьи полемического характера, без новых фактических сообщений, статьи полемического характера, без новых фактических данных, статьи с описанием промежуточных опытов, без определенных выводов и обобщений, чисто методические статьи, если предлагаемый метод не является принципиально новым, а также статьи по систематике растений и животных (за исключением описания особо интересных для науки находок).

Будучи органом срочной информации, журнал «ДАН Азерб. ССР» принимает и отбирает к печати статьи, объем которых допускает их публикацию в установленные решение Президиума АН Азерб. ССР сроки.

В связи со всеми перечисленными ограничениями отклонение статьи редакцией «Доклады АН Азерб. ССР» означает только, что она не согласуется с требованиями и возможностями этого журнала и не исключает ее публикации в других изданиях.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция журнала «Доклады АН Азерб. ССР» просит авторов руководствоваться приведенными правилами и надеется, что авторы ознакомятся с ними прежде, чем пришлют статью в редакцию.

Статьи, присланные без соблюдения этих правил, к рассмотрению не принимаются.

1. Статьи, направляемые в редакцию, должны иметь представление члена АН СССР или академика АН Азерб. ССР, если оно требуется (см. выше).

Статьи с просьбой направить их на представление редакцией не принимаются.

2. Статья публикуется по мере поступления. Единственным поводом для внеочередной публикации является исключительная важность сообщения и соображения приоритета. Для этого необходимо специальное решение редколлегии.

3. Как правило, редакция направляет представленные статьи на рецензию.

4. «Доклады» помещают не более трех статей одного автора в год. Это правило не распространяется на членов АН СССР, академиков Академии наук Азерб. ССР.

5. Авторы должны определить раздел, в который следует поместить статью, а также дать индекс статьи по Универсальной десятичной классификации (УДК). К статье прилагается отпечатанный на машинке реферат в двух экземплярах, предназначенный для передачи в один из реферативных журналов ВИНИТИ.

6. В конце статьи нужно указать полное название учреждения, в котором выполнено исследование, фамилии всех авторов а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный и домашний) каждого соавтора.

Кроме того, авторский коллектив должен указать лицо, с которым редакция будет вести переговоры и переписку.

7. Возвращение рукописи автору на доработку не означает, что статья принята к печати. После получения доработанного текста рукопись вновь рассматривается редколлегией. Доработанный текст автор должен вернуть вместе с первоначальным экземпляром статьи, а также ответом на все замечания. Датой поступления считается день получения редакцией окончательного варианта статьи.

8. В «Докладах» публикуются статьи, занимающие не более $^1/_4$ авторского листа (6 страниц машинописи). В этот объем входит текст, таблицы, библиография (не больше 15 источников) и рисунки, число которых не должно превышать четырех, включая и обозначения «а», «б» и т. д. в том числе вклейки на мелованной бумаге. Вклейки даются только для микрофотографий большого увеличения. Штриховые рисунки (карты, схемы и т. п.) на вклейках не печатаются, а даются на кальке. Текст и графический материал представляются в двух экземплярах. Повторение одних и тех же данных в тексте, таблицах и графиках недопустимо. Рисунки должны быть выполнены четко, в формате, обеспечивающем ясность передачи всех деталей фотографии представляются на глянцевой бумаге. Подписи к рисункам должны быть напечатаны в 2-х экземплярах через два интервала на отдельной странице. На обороте рисунков мягким карандашом указываются фамилии авторов, название статьи и номер рисунка.

(Продолжение на третьей странице обложки)

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫ
АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

МӘ'РУЗӘЛӘР
ДОКЛАДЫ

ТОМ XLIII ҸИЛД

№ 8

„ЕЛМ“ НӘШРИЈЈАТЫ—ИЗДАТЕЛЬСТВО „ЭЛМ“
БАКЫ — 1987 — БАКУ

Адрес: г. Баку, Коммунистическая, 10. Редакция «Докладов Академии наук Азербайджанской ССР»

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 517.984

МАТЕМАТИКА

Чл.-корр. АН АзССР М. Г. ГАСЫМОВ, А. М. МАГЕРРАМОВ

О ЕДИНСТВЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ РАССЕЯНИЯ ДЛЯ ПУЧКОВ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ОПЕРАТОРОВ

Данная статья посвящена изучению прямых и обратных задач теории рассеяния пучка операторов L_λ в $L_2(0, \infty)$, порожденного уравнением

$$l\left(x, \frac{d}{dx}, \lambda\right) = \left(\frac{d^2}{dx^2} + \lambda^2\right)^m y + \sum_{\kappa=0}^{m-1} P_\kappa(x, \lambda)\, y^{(\kappa)} = 0 \qquad (1)$$

с граничными условиями

$$y^{(j)}(0) = 0, \quad j = \overline{0, m-1}, \qquad (2)$$

в предположении, что коэффициентные функции

$$P_\kappa(x, \lambda) = \sum_{s=0}^{m-\kappa-1} \lambda^s p_{\kappa s}(x), \qquad (3)$$

где комплекснозначные функции $p_{\kappa s}(x)$ имеют все производные до порядка κ и в дальнейшем везде выполняется условие

$$\int_0^\infty \sum_{\kappa=0}^{m-1} \sum_{s=0}^{m-\kappa-1} (1+x)^{3m-s-2} \left| p_{\kappa s}^{(\kappa)}(x) \right| dx < \infty. \qquad (4)$$

Заметим, что при $m=1$ и $p_0 \equiv q(x)$ получается классическая задача Штурма-Лиувилля. Здесь прямые и обратные задачи теории рассеяния были исследованы в ряде известных работ и изложены в [1], [2].

Случай $m=2$ частично был предметом исследований работ [3], [4].

1. **Теорема 1 об операторах преобразования с условием на бесконечности.** *Уравнение (1) имеет фундаментальную систему решений $F_s^\pm(x, \lambda)$, $j = \overline{0, m-1}$, которые удовлетворяют условиям*

$$\lim_{x \to +\infty} \left[F_\mu^\pm(x, \lambda) - x^\mu \exp(\pm i\lambda x) \right] = 0, \qquad \pm Jm\lambda \geqslant 0. \qquad (5)$$

Существуют ядра $K_\mu^\pm(x, t)$, такие, что

$$F_\mu^\pm(x, \lambda) = x^\mu \exp(\pm i\lambda x) + \int_x^\infty K_\mu^\pm(x, t) \exp(\pm i\lambda t)\, dt, \qquad (6)$$

при этом $K_\mu^\pm(x, t)$ удовлетворяет интегральному уравнению

$$K_\mu^\pm(x, t) = \sum_{r=0}^{m-1} \sum_{s=0}^{m-r-1} \int_{\frac{x+t}{2}}^\infty \xi^\mu q_{rs}(\xi)\, Q_{rsm}^\pm(\xi - x, t - \xi)\, d\xi +$$

$$+\sum_{r=0}^{m-1}\sum_{s=0}^{m-r-1}\int_{x}^{\frac{x+t}{2}} d\xi \int_{t-\xi+x}^{t+\xi-x} q_{rs}(\xi)\, Q^{\pm}_{rsm}(\xi-x,\ t-\xi)\, K^{\mp}_{\mu}(\xi,\alpha)\, d\alpha \tag{7}$$

$$+\sum_{r=0}^{m-1}\sum_{s=0}^{m-r-1}\int_{\frac{x+t}{2}}^{\infty} q_{rs}(\xi)\, d\xi \int_{t}^{t+\xi-x} Q^{\pm}_{rsm}(\xi-x,\ t-\alpha)\, K^{\pm}_{\mu}(\xi,\alpha)\, d\alpha.$$

Здесь введены следующие обозначения:

$$q_{rs}(x)=\sum_{\kappa=r}^{m-s-1}(-1)^{\kappa+1} C^{r}_{\kappa}\, p^{(\kappa-r)}_{\kappa r}(x),$$

$$Q^{\pm}_{rsm}(x,\ t)=(\pm t)^{s} a_m \frac{\partial^{r+s}}{\partial x^{r}\,\partial t^{s}}(x^2-t^2)^{m-1},$$

$$a_2=\frac{1}{8},\quad a_s=\frac{a_{s-1}}{2(s-1)(2s-3)},\qquad s=3,\ 4\ldots.$$

Имеет место оценка

$$\sup_{0<\xi<\infty}(1+\xi)^{-m+1}\int_{\xi}^{\infty}\left|K^{\pm}_{\mu}(\xi,\ \alpha)\right| d\alpha<\infty.$$

Используя уравнение (7) можно получить более точные оценки для $K^{\pm}_{\mu}(x,\ t)$.

Теорема 2. *Пусть $q_{rs}(x)$ имеет непрерывные производные до порядка $m+r+s$, $x^{2m-2} q^{(\nu)}_{rs}(x)\in L_1(0,\ \infty)$, $\nu=\overline{0,\ m+r+s}$. Тогда $K^{\pm}_{\mu}(x,\ t)$ имеет все производные до порядка $2m$, которые непрерывны при $0<x<t<\infty$, и имеет место*

$$\lim_{x+t\to\infty}\frac{\partial^{\alpha+\beta}}{\partial x^{\alpha}\,\partial t^{\beta}} K^{\pm}_{\mu}(x,\ t)=0,\quad \alpha+\beta\leqslant 2m-1, \tag{8}$$

$$l\left(x,\ \frac{\partial}{\partial x},\ \pm i\frac{\partial}{\partial t}\right) K^{\pm}_{\mu}(x,\ t)=0. \tag{9}$$

Для ядра $K^{\pm}_{\mu}(x,\ t)$ выполняется так же m условий на характеристике $t=x$.

Они сложные и здесь не приводятся. Только заметим, что эти условия позволяют определить все $p_{\kappa s}(x)$ однозначно по $K^{+}_{\mu}(x,\ t)$ и $K^{-}_{\mu}(x,\ t)$, $\mu=\overline{0,\ m-1}$.

2. Разложение по собственным функциям пучка L_λ. Пучок L_λ имеет не более чем счетное число собственных значений с предельными точками в конечной части вещественной оси $(-\infty,\ \infty)$. Если при некотором $\varepsilon>0$ имеет место

$$\exp(\varepsilon x)\, p^{(\kappa)}_{\kappa s}(x)\in L_1(0,\ \infty), \tag{10}$$

то пучок L_λ может иметь лишь конечное число невещественных собственных значений и конечное число спектральных особенностей на $(-\infty,\ \infty)$, а непрерывный спектр его совпадает с вещественной осью $(-\infty,\ \infty)$. Для удобства изложения предположим, что пучок L_λ не имеет собственных значений и спектральных особенностей. Известно, что определить Вронского

$$W(\lambda)=\begin{vmatrix} F^{+}_{0},\ldots,\ F^{+}_{m-1},\ F^{-}_{0},\ldots,\ F^{-}_{m-1}\\ (F^{+}_{0})',\ldots,\ (F^{+}_{m-1})',\ (F^{-}_{0})',\ldots,\ (F^{-}_{m-1})'\\ (F^{+}_{0})^{(2m-1)},\ldots,\ (F^{+}_{m-1})^{(2m-1)},\ (F^{-}_{0})^{(2m-1)},\ldots,(F^{-}_{m-1})^{(2m-1)}\end{vmatrix} \tag{11}$$

не зависит от x. Обозначим через $\psi^{\pm}_{\mu}(x,\ \lambda)$ алгебраическое дополнение элемента $F^{\pm}_{\mu}(x,\ \lambda)$ в определителе (11), деленное на $W(\lambda)$. Эти функции являются решениями уравнения, которые получаются из (1) транспонированием по Лагранжу. Пусть

$$\varphi_{\mu}(x,\ \lambda)=\sum_{s=0}^{m-1} b_{s\mu}(\lambda)\, F^{+}_{s}(x,\ \lambda)-F^{-}_{\mu}(x,\ \lambda), \tag{12}$$

$$\Theta_{\mu}(x,\ \lambda)=\sum_{s=0}^{m-1} d_{s\mu}(\lambda)\, \psi^{+}_{s}(x,\ \lambda)-\psi^{-}_{\mu}(x,\ \lambda) \tag{13}$$

и $\varphi^{(s)}_{\mu}(0,\ \lambda)=\Theta^{(s)}_{\mu}(0,\ \lambda)=0$, $s=\overline{0,\ m-1}$. Отсюда неизвестные функции $b_{s\mu}(\lambda)$ и $d_{s\mu}(\lambda)$ определяются однозначно. С помощью специальных решений можно написать спектральное разложение пучка L_λ. Имеет место

Теорема 3. *Пусть $f(x)$ достаточно гладкая функция, которая обращается в нуль в окрестности нуля и бесконечности. Тогда имеет место следующее кратное спектральное разложение*

$$f(x)=\frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{\infty}\lambda^{2m-1}\sum_{\mu=0}^{m-1} E_{\mu}(\lambda)\, \varphi_{\mu}(x,\ \lambda)\, d\lambda,$$

$$0=\int_{-\infty}^{\infty}\lambda^{s}\sum_{\mu=0}^{m-1} E_{\mu}(\lambda)\, \varphi_{\mu}(x,\ \lambda)\, d\lambda,\qquad s=0,\ \overline{2m-2}, \tag{14}$$

где

$$E_{\mu}(\lambda)=\int_{0}^{\infty} f(x)\, \Theta_{\mu}(x,\ \lambda)\, dx. \tag{15}$$

3. Данные рассеяния пучка. Матричную функцию

$$S(\lambda)=\{b_{s\mu}(\lambda)\}$$

назовем матрицей рассеяния пучка L_λ. Она допускает симметричную факторизацию. Ставится задача о восстановлении пучка L_λ по матрице рассеяния $S(\lambda)$.

Обозначим через $S_0(\lambda)$ матричную функцию пучка L_λ в случае нулевых коэффициентов $p_{\kappa s}(x)\equiv 0$. Тогда можно доказать, что $S(\lambda)-S_0(\lambda)\in L_2(-\infty,\ \infty)$ и поэтому функции

$$B_{s\mu}(x)=\frac{1}{2\pi i}\int_{-\infty}^{\infty}\left[b_{s\mu}(\lambda)-b^{0}_{s\mu}(\lambda)\right]\exp(i\lambda x)\, d\lambda$$

также принадлежат $L_2(-\infty,\ \infty)$. Можно более подробно исследовать эти функции. Для этого надо использовать следующие интегральные уравнения:

$$\sum_{s=0}^{m-1} x^{s} B_{s\mu}(x+t)-K^{-}_{\mu}(x,\ t)+$$

$$+\int_{x}^{\infty}\sum_{s=0}^{m-1} B_{s\mu}(t+\xi)\, K^{+}_{s}(x,\ \xi)\, d\xi=0. \tag{16}$$

Заметим, что если все $p_{ks}(x)$—вещественные функции, то $\overline{K_\mu^+}=K_\mu^-$ и система (16) дает m уравнений для определения m неизвестных функций $K_\mu^+(x, t)$, $\mu=\overline{0, m-1}$. Это система уравнений при каждом фиксированном $x\in(0, \infty)$ имеет единственное решение. Таким образом, имеет место

Теорема 4. *Если $p_{ks}(x)$—вещественные функции, пучок не имеет собственных значений и спектральных особенностей, то по матрице рассеяния $S(\lambda)$ уравнение (1) определяется единственным образом.*

Литература

1. *Марченко В. А.* Операторы Штурма—Лиувилля и их приложения.—Киев: Наукова думка, 1977, с. 332. 2. *Левитан Б. М.* Обратная задача оператора Штурма—Лиувилля.—М.: Наука, 1984. 3. *Гасымов И. Г., Магеррамов А. М.* О существовании операторов преобразования для дифференциальных уравнений высокого порядка, полиномиально зависящих от параметра.—Докл. АН СССР, 1977, т. 235, № 2, с. 259—262. 4. *Гасымов М. Г., Магеррамов А. М.* Исследование одного класса дифференциальных операторных пучков четного порядка.—Докл. АН СССР, 1982, т. 265, № 2, с. 277—280.

АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 5. I 1987

М. К. Гасымов, Ә. М. Мәһәррәмов

АДИ ДИФЕРЕНСИАЛ ОПЕРАТОРЛАР ДӘСТӘСИ ҮЧҮН СӘПИЛМӘ НӘЗӘРИЈЈӘСИНИН ТӘРС МӘСӘЛӘСИНИН ҺӘЛЛИНИН ЈЕКАНӘЛИЈИ ҺАГГЫНДА

Мәгалә спектрал параметрә нәзәрән полиномиал әмсаллы кениш синиф ади дифференсиал операторлар үчүн сәпилмә нәзәријјәсинин дүз вә тәрс мәсәләләринә һәср едилмишдир.

M. G. Gasimov, A. M. Magerramov

CONCERNING THE SINGULARITY OF SOLUTION OF DESPERSION THEORY OF THE REVERSE TASK FOR BUNCHES OF THE GENERAL DIFFERENTIAL OPERATORS

The article is devoted to the investigation of the straight and reverse task of the despersion theory for a wide class of general differential operators with polynomial coefficients relatively to the spectrum parameter.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 517.956 МАТЕМАТИКА

В. М. МИРЗОЕВ

О ГРАНИЧНЫХ И НАЧАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ РЕШЕНИЙ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ВТОРОГО ПОРЯДКА С РАЗРЫВНЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)

Пусть Q—область n-мерного пространства R_n $(x=(x_1, \ldots, x_n)$—точка в $R_n)$, граница которой ∂Q $(n-1)$-мерная замкнутая поверхность без края класса C^2, Q_δ—подмножество Q:

$$Q_\delta = Q \cap \left\{\min_{y\in\partial Q} |x-y| > \delta\right\}.$$

Как известно [1], существует такое малое число $\delta_0>0$, что для всех $\delta\in(0, \delta_0)$ подмножество Q_δ является областью с границей ∂Q_δ класса C^2, при этом для любой точки $x_0\in\partial Q$ существует единственная точка поверхности ∂Q_δ, отстоящая от точки x_0 на расстояние, равное δ, т. е. $|x-y|=\delta$:

$$x_\delta = x_\delta(x_0) = x_0 - \delta\nu(x_0), \tag{1}$$

где $\nu(x_0)$—вектор внешней по отношению к Q единичной нормали к ∂Q в точке x_0. Соответствие (1) есть взаимно однозначное (с отличным от нуля якобианом) отображение класса C^1 ∂Q на ∂Q_δ.

Обозначим через Q^T цилиндр $Q^T = Q\times(0, T)$.

Пусть $\varkappa(\delta)$—некоторая дифференцируемая, монотонно возрастающая функция на $(0, \delta_0)$, удовлетворящая условиям:

$$\varkappa(0)=0, \quad \varkappa(\delta_0) < \frac{T}{2}.$$

Введем следующие функциональные пространства: $L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)$—множество функций, получающееся в результате пополнения $C^\infty(\overline{Q^T})$ по норме:

$$\|f\|_{L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)} = \|f\|_{L_2(Q_{\delta_0}\times(\varkappa(\delta_0), T'))} + \int_0^{\delta_0} \mu \|f\|_{L_2(\partial Q_\mu\times(\varkappa(\mu), T'))}\, d\mu +$$

$$+ \int_0^{\delta_0} \left[\int_{Q_\mu} f^2(x, \varkappa(\delta))\, r(x)\, dx\right]^{\frac{1}{2}} d\mu;$$

$L_2(r, Q)$—множество функций, получающееся в результате пополнения множества $C^\infty(\overline{Q})$ по норме:

$$\|v\|_{L_2(r,Q)} = \left(\int_Q v^2 r(x)\, dx\right)^{\frac{1}{2}};$$

$L_{\frac{n}{2}\theta,1}(Q^T)$—множество функций, получающееся в результате пополнения множества $C^\infty(\overline{Q^T})$ по норме:

$$\|w\|_{L_{\frac{n}{2}\theta,1}(Q^T)} = \operatorname*{vraimax}_{0<t<T} \|w\|_{L_{\frac{n}{2}\theta}(Q)}, \quad \theta > 1.$$

Рассмотрим в Q^T линейное параболическое уравнение

$$\frac{\partial u}{\partial t} - \sum_{i,j=1}^{n} \frac{\partial}{\partial x_j}\left(a_{ij}(x,t)\frac{\partial u}{\partial x_i}\right) + \sum_{i=1}^{n} b_i(x,t)\frac{\partial u}{\partial x_i} + c(x,t)u = f(x,t) \tag{2}$$

с вещественными коэффициентами

$$a_{ij};\ \frac{\partial a_{ij}}{\partial t};\ \frac{\partial a_{ij}}{\partial x_i} \in L_\infty(Q^T);\quad \sum_{i=1}^{n} b_i^2,\ c \in L_{\frac{n}{2}\theta,1}(Q^T). \tag{3}$$

Для $\forall \xi = (\xi_1, \ldots, \xi_n)$ и для всех $(x,t) \in Q^T$ существует такая постоянная $\gamma > 0$, что

$$\gamma^{-1}|\xi|^2 < \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}\xi_i\xi_j < \gamma|\xi|^2. \tag{4}$$

Правая часть $f(x,t)$ уравнения (2) принадлежит пространству

$$L_{2,\mathrm{loc}}(Q^T) \cap L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T).$$

Будем считать, что $u(x,t)$ является обобщенным из $W^{1,0}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ решением уравнения (2), если $u(x,t) \in W^{1,0}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ для всех финитных в Q^T функций $v(x,t) \in \dot{W}^1_2(Q^T)$ удовлетворяет интегральному тождеству

$$\int_0^T\int_Q \left(-uv_t + \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}u_{x_i}v_{x_j} + \sum_{i=1}^{n} b_i u_{x_i} v + cuv\right)dxdt = \int_0^T\int_Q fv\,dxdt. \tag{5}$$

Определение 1. Будем говорить, что функция $u(x,t)$ принадлежит классу H_2, если для $\forall T' \in \left(\frac{T}{2}, T\right)$ функция

$$M(\delta) = \max_{\delta<\mu<\delta_0}\left[\int_{\varkappa(\mu)}^{T'}\int_{\partial Q_\mu} u^2 ds_\mu\,dt + \int_{Q_\mu} u^2(x, \varkappa(\mu))(r-\mu)\,dx\right]$$

ограничена на $(0, \delta_0]$, т. е. если

$$\sup_{0<\delta<\delta_0} M(\delta) < \infty.$$

Теорема 1. *Для того чтобы обобщенное из $W^{1,0}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ решение уравнения (2) с коэффициентами, удовлетворяющими условиям (3), (4) и с правой частью $f(x,t) \in L_{2,\mathrm{loc}}(Q^T) \cap L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)$ принадлежало классу H_2, необходимо и достаточно, чтобы для любого $T' \in \left(\frac{T}{2}, T\right)$ выполнялось неравенство*

$$\int_0^{T}\int_Q |\nabla_x u|^2 r(x)\,dx\,dt < \infty. \tag{6}$$

Определение 2. Будем говорить, что функция $u(x,t) \in W^{2,1}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ принимает граничное значение

$$u|_{\partial Q\times(0,T)} = \varphi(x,t), \qquad \varphi \in L_2(\partial Q \times (0,T)) \tag{7}$$

в смысле L_2', если для $\forall T' \in \left(\frac{T}{2}, T\right)$

$$\lim_{\delta\to 0}\int_{\varkappa(\delta)}^{T'}\int_{\partial Q} |u(x_\delta(x), t) - \varphi(x,t)|^2 ds\,dt = 0. \tag{8}$$

Будем также говорить, что функция $u(x,t) \in W^{2,1}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ принимает начальное значение

$$u|_{t=0} = u_0(x), \qquad u_0(x) \in L_2(r, Q) \tag{9}$$

в смысле L_2 с весом $r(x)$, если

$$\lim_{\delta\to 0}\int_{Q_\delta} |u(x, \varkappa(\delta)) - u_0(x)|^2 r(x)\,dx = 0. \tag{10}$$

Определение 3. Функция $u(x,t)$ является обобщенным из $W^{1,0}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ решением задачи (2), (7), (9), если она является обобщенным из $W^{1,0}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ решением уравнения (2), удовлетворяет граничному условию (7) в смысле L_2' и начальному условию (9) в смысле L_2 с весом $r(x)$.

Теорема 2. *При любых функциях $\varphi(x,t) \in L_2(\partial Q \times (0,T))$, $u_0(x) \in L_2(r, Q)$ и любой функции $f(x,t) \in L_{2,\mathrm{loc}}(Q^T) \cap L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)$ первая смешанная задача (2), (7), (9) имеет обобщенное из $W^{1,0}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ решение. Это решение единственно и для него справедлива оценка*

$$\int_0^T\int_Q |\nabla_x u|^2 r(x)\,dx\,dt + \max_{0<\delta<\delta_0}\left[\int_{\varkappa(\delta)}^{T}\int_{\partial Q_\delta} u^2 ds_\delta\,dt + \int_{Q_\delta} u^2(x, \varkappa(\delta))(\rho-\delta)\,dx\right] + \int_0^T\int_Q u^2 r(x)\,dx\,dt \leqslant$$

$$\leqslant C_1\left[\|f\|^2_{L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)} + \|\varphi\|^2_{L_2(\partial Q\times(0,T))} + \|u_0\|^2_{L_2(r,Q)}\right]$$

с постоянной C_1, зависящей только от коэффициентов уравнения (2).

Определение 4. Будем говорить что функция $u(x,t) \in W^{2,1}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ имеет предел в смысле L_2' на боковую поверхность цилиндра если существует такая функция $\varphi(x,t) \in L_2(\partial Q \times (0, T'))$, $\forall T' \in \left(\frac{T}{2}, T\right)$, что для нее справедливо равенство (8).

Будем также говорить, что функция $u(x,t) \in W^{2,1}_{2,\mathrm{loc}}(Q^T)$ имеет предел в смысле L_2 с весом $r(x)$ при $t \to +0$, если существует такая функция $u_0(x) \in L_2(r, Q)$, что для нее справедливо равенство (10).

$L_{\frac{n}{2},\theta,1}(Q^T)$—множество функций, получающееся в результате пополнения множества $C^\infty(\overline{Q^T})$ по норме:
$$\|w\|_{L_{\frac{n}{2},\theta,1}(Q^T)} = \operatorname*{vraimax}_{0<t<T} \|w\|_{L_{\frac{n}{2},\theta}(Q)}, \quad \theta > 1.$$

Рассмотрим в Q^T линейное параболическое уравнение
$$\frac{\partial u}{\partial t} - \sum_{i,j=1}^{n} \frac{\partial}{\partial x_j}\left(a_{ij}(x,t)\frac{\partial u}{\partial x_i}\right) +$$
$$+\sum_{i=1}^{n} b_i(x_1 t)\frac{\partial u}{\partial x_i} + c(x_1 t)\,u = f(x_1 t) \tag{2}$$

с вещественными коэффициентами
$$a_{ij};\ \frac{\partial a_{ij}}{\partial t};\ \frac{\partial a_{ij}}{\partial x_i} \in L_\infty(Q^T);\qquad \sum_{i=1}^{n} b_i^2,\ c \in L_{\frac{n}{2},\theta,1}(Q^T). \tag{3}$$

Для $\forall\,\xi = (\xi_1,\ldots,\xi_n)$ и для всех $(x_1 t)\in Q^T$ существует такая постоянная $\gamma > 0$, что
$$\gamma^{-1}|\xi|^2 < \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}\xi_i\xi_j < \gamma|\xi|^2. \tag{4}$$

Правая часть $f(x,t)$ уравнения (2) принадлежит пространству
$$L_{2,loc}(Q^T)\cap L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T).$$

Будем считать, что $u(x,t)$ является обобщенным из $W^{1,0}_{2,loc}(Q^T)$ решением уравнения (2), если $u(x,t)\in W^{1,0}_{2,loc}(Q^T)$ для всех финитных в Q^T функций $v(x,t)\in \overset{\circ}{W}{}^1_2(Q^T)$ удовлетворяет интегральному тождеству
$$\int_0^T\int_Q\left(-uv_t + \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}u_{x_i}v_{x_j} +\right.$$
$$\left. + \sum_{i=1}^{n} b_i u_{x_i} v + cuv\right)dxdt = \int_0^T\int_Q fv\,dxdt. \tag{5}$$

Определение 1. Будем говорить, что функция $u(x,t)$ принадлежит классу H_2, если для $\forall T'\in\left(\frac{T}{2},\ T\right)$ функция
$$M(\delta) = \max_{\delta<\mu<\delta_0}\left[\int_{\varkappa(\mu)}^{T'}\int_{\partial Q_\mu} u^2 ds_\mu\, dt + \int_{Q_\mu} u^2(x,\varkappa(\mu))\,(r-\mu)\,dx\right]$$
ограничена на $(0,\delta_0]$, т. е. если
$$\sup_{0<\delta<\delta_0} M(\delta) < \infty.$$

Теорема 1. *Для того чтобы обобщенное из $W^{1,0}_{2,loc}(Q^T)$ решение уравнения (2) с коэффициентами, удовлетворяющими условиям (3), (4) и с правой частью $f(x,t)\in L_{2,loc}(Q^T)\cap L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)$ принадлежало классу H_2, необходимо и достаточно, чтобы для любого $T'\in\left(\frac{T}{2},T\right)$ выполнялось неравенство*
$$\int_0^T\int_Q |\nabla_x u|^2 r(x)\,dx\,dt < \infty. \tag{6}$$

Определение 2. Будем говорить, что функция $u(x,t)\in W^{2,1}_{2,loc}(Q^T)$ принимает граничное значение
$$u|_{\partial Q\times(0,T)} = \varphi(x,t),\qquad \varphi\in L_2(\partial Q\times(0,T) \tag{7}$$
в смысле L_2', если для $\forall T'\in\left(\frac{T}{2},\ T\right)$
$$\lim_{\delta\to 0}\int_{\varkappa(\delta)}^{T'}\int_{\partial Q}|u(x_\delta(x),t)-\varphi(x,t)|^2 ds\,dt = 0. \tag{8}$$

Будем также говорить, что функция $u(x,t)\in W^{2,1}_{2,loc}(Q^T)$ принимает начальное значение
$$u|_{t=0} = u_0(x),\qquad u_0(x)\in L_2(r,Q) \tag{9}$$
в смысле L_2 с весом $r(x)$, если
$$\lim_{\delta\to 0}\int_{Q_\delta}|u(x,\varkappa(\delta)) - u_0(x)|^2 r(x)\,dx = 0. \tag{10}$$

Определение 3. Функция $u(x,t)$ является обобщенным из $W^{1,0}_{2,loc}(Q^T)$ решением задачи (2), (7), (9), если она является обобщенным из $W^{1,0}_{2,loc}(Q^T)$ решением уравнения (2), удовлетворяет граничному условию (7) в смысле L_2' и начальному условию (9) в смысле L_2 с весом $r(x)$.

Теорема 2. *При любых функциях $\varphi(x,t)\in L_2(\partial Q\times(0,T))$, $u_0(x)\in L_2(r,Q)$ и любой функции $f(x,t)\in L_{2,loc}(Q^T)\cap L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)$ первая смешанная задача (2), (7), (9) имеет обобщенное из $W^{1,0}_{2,loc}(Q^T)$ решение. Это решение единственно и для него справедлива оценка*
$$\int_0^T\int_Q|\nabla_x u|^2 r(x)\,dx\,dt + \max_{0<\delta<\delta_0}\left[\int_{\varkappa(\delta)}^{T}\int_{\partial Q_\delta} u^2 ds_\delta\,dt +\right.$$
$$\left.+\int_{Q_\delta} u^2(x,\varkappa(\delta))\,(\rho-\delta)\,dx\right] + \int_0^T\int_Q u^2 r(x)\,dx\,dt <$$
$$\leqslant C_1\left[\|f\|^2_{L^{\varkappa}_{2,1}(Q^T)} + \|\varphi\|^2_{L_2(\partial Q\times(0,T))} + \|u_0\|^2_{L_2(r,Q)}\right]$$
с постоянной C_1, зависящей только от коэффициентов уравнения (2).

Определение 4. Будем говорить что функция $u(x,t)\in W^{2,1}_{2,loc}(Q^T)$ имеет предел в смысле L_2' на боковую поверхность цилиндра если существует такая функция $\varphi(x,t)\in L_2(\partial Q\times(0,T'))$, $\forall T'\in\left(\frac{T}{2},\ T\right)$, что для нее справедливо равенство (8).

Будем также говорить, что функция $u(x,t)\in W^{2,1}_{2,loc}(Q^T)$ имеет предел в смысле L_2 с весом $r(x)$ при $t\to+0$, если существует такая функция $u_0(x)\in L_2(r,Q)$, что для нее справедливо равенство (10).

Теорема 3. *Если обобщенное из $W_{2,\mathrm{loc}}^{1,0}(Q^T)$ решение $u(x, t)$ уравнения (2) с коэффициентами, удовлетворяющими условиям (3), (4), и с правой частью $f(x, t) \in L_{2,\mathrm{loc}}(Q^T) \cap L_{2,1}^{r}(Q^T)$ принадлежит классу H_2, то оно имеет предел на боковую поверхность в смысле L_2' и предел при $t \to +0$ в смысле L_2 с весом $r(x)$.*

Замечание. Из теорем 3 и 1 вытекает, что следующие условия эквивалентны:

1) $u(x, t)$ принадлежит классу H_2;

2) существуют такие функции $\varphi(x, t) \in L_2(\partial Q \times (0, T'))$, $\forall T' \in \left(\frac{T}{2}, T\right)$ и $u_0(x) \in L_2(r, Q)$, что имеет место равенство (8) и (10);

3) выполнение условия (6).

Аналогичные задачи для эллиптических уравнений исследованы в [1]—[4], для параболических уравнений с гладкими коэффициентами —в [5], с разрывными коэффициентами в звездных областях—в [6].

Литература

1. *Михайлов В. П.* — Матем. сб., 1976, 101 (143), с. 163—188. 2. *Михайлов В. П.* — Дифференц. уравнения, 1976, 12, 1877—1891. 3. *Гущин А. К., Михайлов В. П.* — Матем. сб., 1979, 108 (150), с. 3—21. 4. *Михайлов Ю. А.* — Дифференц. уравнения, 1983, т. 19, № 2, с. 318—521. 5. *Петрушко И. М.* — Матем. сб., 1984, 125 (167), № 4, 12, с. 489—521. 6. *Мирзоев В. М.* Матер. VI Республ. конф. молодых ученых ИММ АН АзССР, посвящ. 40-летию Победы (Баку, 6—8 мая 1985 г.): Математика. — Баку, 1985, с. 149—154.

ИММ АН АзССР

Поступило 10. IX 1986

В. М. Мирзәјев

КӘСИЛӘН ӘМСАЛЛЫ ПАРАБОЛИК ТӘНЛИКЛӘРИН БАШЛАНҒЫЧ ВӘ СӘРҺӘД ГИЈМӘТЛӘРИ

Мәгаләдә кичик тәртибли төрәмәләринин гаршысындакы әмсаллары L_q типли фәзалара дахил олан икинчи тәртиб параболик тәнлијин һәллинин $Q^T = Q \times (0, T)$ силиндрик областынын јан сәтһи үзәриндә L_2 мә'нада, ашағы отурачағында исә L_2 чәкили мә'нада лимитинин варлығы үчүн зәрури вә кафи шәртләр тапылмышдыр.

V. M. Mirzoev

ON BOUNDARY AND INITIAL VALUES OF SOLUTIONS OF SECOND ORDER PARABOLIC EQUATION WITH DISCONTINUOUS COEFFICIENTS

In the article the author establishes the necessary and sufficient conditions for the existence of the limit in L_2 of solutions of the second order paraboli: equations in tube-domain $Q^T = Q \times (0, T)$ on lateral surface and the limit in L_2 with the weight on lower surface of the cylinder, when coefficients belong to the space of type L_q under the lowest derivatives of equation.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 517.043

МАТЕМАТИКА

М. Б. ИСКЕНДЕРОВА

О СУММИРУЕМОСТИ ПО АБЕЛЮ РАЗЛОЖЕНИЙ ПО СОБСТВЕННЫМ ФУНКЦИЯМ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ПУЧКОВ ЧЕТВЕРТОГО ПОРЯДКА

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ф. Г. Максудовым)

Рассмотрим следующую краевую задачу:

$$l(y, \lambda) \equiv y^{IV} + p_1 \lambda y^{III} + p_2 \lambda^2 y^{II} + p_3 \lambda^3 y^{I} + p_4 \lambda^4 y = 0, \tag{1}$$

$$y(0) = y'(0) = y(1) = y'(1) = 0, \tag{2}$$

где p_i $(i = \overline{1, 4})$—комплексные числа. Пусть L—оператор, порожденный дифференциальным выражением (1) и краевыми условиями (2). Спектральные свойства задач с подобным вхождением параметра в дифференциальное выражение $l(y, \lambda)$ определяются не только типом краевых условий (2), но и коэффициентами p_i, а именно: при краевых условиях (2) в зависимости от p_i задача может оказаться как регулярной (по Тамаркину) [1], так и нерегулярной.

В предлагаемой статье в случае простых корней характеристического многочлена

$$\kappa^4 + p_1 \kappa^3 + p_2 \kappa^2 + p_3 \kappa + p_4 = 0 \tag{3}$$

дан ответ на вопрос о суммируемости по Абелю рядов по системе собственных функций (с. с. ф.) задачи (1, 2).

Пусть $\kappa_j = \alpha_j + i\beta_j$, $(j = \overline{1, 4})$—корни характеристического многочлена (3) и расположены следующим образом:

1. $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 \geqslant 0$; $\alpha_3, \alpha_4, \beta_2, \beta_4 \leqslant 0$.

Обозначим

$$\lambda = |R| \exp(i\varphi); \qquad \kappa_j = |r_j| \exp(i\varphi_j).$$

Рассмотрим вначале случай

$$\operatorname{arctg} \frac{\alpha_1}{\beta_1} < \operatorname{arctg} \frac{\alpha_4}{\beta_4}; \qquad \operatorname{arctg} \left|\frac{\alpha_3}{\beta_3}\right| < \operatorname{arctg} \left|\frac{\alpha_2}{\beta_2}\right|. \tag{4}$$

Введем в рассмотрение сектора

$$S_1: \left\{ \varphi \mid -\operatorname{arstg} \left|\frac{\alpha_3}{\beta_3}\right| \leqslant \varphi \leqslant \operatorname{arctg} \frac{\alpha_1}{\beta_1} \right\};$$

$$S_2: \left\{ \varphi \mid \operatorname{arctg} \frac{\alpha_4}{\beta_4} < \varphi \leqslant \pi - \operatorname{arctg} \left|\frac{\alpha_2}{\beta_2}\right| \right\};$$

$$S_3 = R_0^{\pi}(S_1), \qquad S_4 = R_0^{\pi}(S_2);$$

$$S_1': \left\{ \varphi \mid \operatorname{arctg} \frac{\alpha_1}{\beta_1} < \varphi < \operatorname{arctg} \left(\frac{\alpha_1 + |\alpha_4|}{\beta_1 + |\beta_4|} \right) \right\};$$

$$S_2':\left\{\varphi \mid \operatorname{arctg}\left(\frac{\alpha_1+|\alpha_4|}{\beta_1+|\beta_4|}\right)<\varphi<\operatorname{arctg}\frac{\alpha_4}{\beta_4}\right\};$$

$$S_3':\left\{\varphi \mid \pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_2}{\beta_2}\right|<\varphi<\pi-\operatorname{arctg}\left(\frac{\alpha_2+|\alpha_3|}{|\beta_2|+\beta_3}\right)\right\};$$

$$S_4':\left\{\varphi \mid \pi-\operatorname{arctg}\left(\frac{\alpha_2+|\alpha_3|}{|\beta_2|+\beta_3}\right)<\varphi<\pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_3}{\beta_3}\right|\right\};$$

$$S_i''=R_0^{\pi}(S_i'),\qquad i=\overline{1,\,4},$$

где R_0^{π} означает поворот вокруг начала координат на угол π. Имеет место следующая

Лемма 1. *Функция Грина задачи (1, 2) допускает оценку*

$$|G(x,\xi,\lambda)|<\frac{K_\delta}{|\lambda|^3} \tag{5}$$

в секторах S_i $(i=\overline{1,\,4})$ *для любых* $x,\ \xi\in[0;\ 1]$ *вне* δ*-окрестности спектра и имеет вид*

$$G(x,\xi,\lambda)=G_1(x,\xi,\lambda)+G_2(x,\xi,\lambda),$$

где

$$|G_1(x,\xi,\lambda)|\leqslant\frac{K_\delta}{|\lambda|^3},$$

а

$$G_2(x,\xi,\lambda)\underset{x>\xi}{=}\begin{cases}\dfrac{A_1\exp(\lambda\kappa_1(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_1',\ S_1''\\[2mm] \dfrac{A_2\exp(\lambda\kappa_2(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_2',\ S_2''\end{cases}$$

$$G_2(x,\xi,\lambda)\underset{x>\xi}{=}\begin{cases}\dfrac{A_3\exp(\lambda\kappa_3(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_3',\ S_3''\\[2mm] \dfrac{A_4\exp(\lambda\kappa_4(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_4',\ S_4'',\end{cases}$$

где $A_i\neq 0$ — *числа, зависящие от* K_i.

Если одно или оба из неравенств (4) не выполнены, то при определении границ секторов S_i следует поменять местами $\frac{\alpha_1}{\beta_1}$ и $\frac{\alpha_4}{\beta_4}$, $\frac{\alpha_3}{\beta_3}$ и $\frac{\alpha_2}{\beta_2}$. Тем самым случай 1 рассмотрен полностью.

Следствие 1. Для того чтобы задача (1, 2) была регулярна, достаточно, чтобы векторы $\vec{\kappa}_1$ и $\vec{\kappa}_4$, $\vec{\kappa}_2$ и $\vec{\kappa}_3$ были противоположно направлены

2. Пусть $\alpha_1,\ \alpha_2,\ \alpha_3,\ \alpha_4\ \beta_1\ \beta_3>0;\quad \beta_2,\ \beta_4<0$ и

$$\operatorname{arctg}\frac{\alpha_1}{\beta_1}>\operatorname{arctg}\frac{\alpha_3}{\beta_3};\qquad \operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_4}{\beta_4}\right|>\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_2}{\beta_2}\right|. \tag{6}$$

Введем следующие сектора:

$$S_1:\left\{\varphi \mid \operatorname{arctg}\frac{\alpha_1}{\beta_1}<\varphi<\pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_4}{\beta_4}\right|\right\};$$

$$S_2=R_0^{\pi}(S_1);$$

$$S_1':\left\{\varphi \mid 0<\varphi<\operatorname{arctg}\frac{\alpha_3}{\beta_3}\right\};$$

$$S_2':\left\{\varphi \mid \operatorname{arctg}\frac{\alpha_3}{\beta_3}<\varphi<\operatorname{arctg}\frac{\alpha_1}{\beta_1}\right\};$$

$$S_3':\left\{\varphi \mid 2\pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_4}{\beta_4}\right|<\varphi<2\pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_2}{\beta_2}\right|\right\};$$

$$S_4':\left\{\varphi \mid 2\pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_2}{\beta_2}\right|<\varphi<2\pi\right\};$$

$$S_i''=R_0^{\pi}(S_i'),\qquad i=\overline{1,\,4}.$$

Имеет место

Лемма 2. *Функция Грина задачи (1, 2) допускает оценку (5) в секторах* S_1, S_2, *для любых* $x,\ \xi\in[0;\ 1]$ *вне* δ*-окрестности спектра и имеет вид*

$$G(x,\xi,\lambda)=G_1(x,\xi,\lambda)+G_2(x,\xi,\lambda),$$

где

$$|G_1(x,\xi,\lambda)|\leqslant\frac{K_\delta}{|\lambda|^3}.$$

а

$$G_2(x,\xi,\lambda)\underset{x<\xi}{=}\begin{cases}\dfrac{A_1\exp(\lambda\kappa_2(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_3',\ S_3''\\[2mm] \dfrac{A_2\exp(\lambda\kappa_4(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_4',\ S_4''\end{cases}$$

$$G_2(x,\xi,\lambda)\underset{x>\xi}{=}\begin{cases}\dfrac{A_3\exp(\lambda\kappa_1(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\ni S_2',\ S_2''\\[2mm] \dfrac{A_4\exp(\lambda\kappa_3(x-\xi))}{\lambda^3}, & \lambda\in S_1',\ S_1'',\end{cases}$$

где $A_i\neq 0$ — *числа, зависящие от* κ_i.

Если неравенства (6) не выполняются, то при определении границ секторов S_1, S_2 следует поменять местами $\frac{\alpha_1}{\beta_1}$ и $\frac{\alpha_3}{\beta_3}$, $\frac{\alpha_2}{\beta_2}$ и $\frac{\alpha_4}{\beta_4}$.

Следствие 2. Для того чтобы задача (1, 2) была регулярна, достаточно, чтобы корни характеристического многочлена (3) были чисто мнимы и два из них располагались в верхней полуплоскости.

3. Пусть $\alpha_1,\ \alpha_2,\ \alpha_3,\ \beta_1,\ \beta_2,\ \beta_3,\ \beta_4\geqslant 0,\quad \alpha_4\leqslant 0.$

В этом случае верен результат, аналогичный случаю 2, где вместо S_1 и S_2 следует брать соответственно $\widetilde{S}_1$ и $\widetilde{S}_2$, где

$$\widetilde{S}_1:\left\{\varphi \mid \operatorname{arctg}\frac{\alpha_1}{\beta_1}<\varphi\leqslant\pi-\operatorname{arctg}\left|\frac{\alpha_4}{\beta_4}\right|\right\};$$

$$\operatorname{arctg}\frac{\alpha_1}{\beta_1} \geqslant \operatorname{arctg}\frac{\alpha_2}{\beta_2} \geqslant \operatorname{arctg}\frac{\alpha_3}{\beta_3}.$$

Замечание. Отметим, что преобразование $\mu = \lambda e^{i\theta}$ сводит к ситуации 1—3 произвольное расположение корней $\varkappa_i$, допускающее существование прямой d, проходящей через начало координат так, что в ограничиваемых ею полуплоскостях расположено одинаковое число $\varkappa_i$, где $\theta = (d, \widehat{0y})$.

Если с. с. ф. $\{y_i\}_{i=1}^{\infty}$ задачи (1, 2) 4-кратно полна в пространстве $L_2[0;1]$ [2], то возникает вопрос о сходимости разложений по этой системе. В случае, когда задача (1, 2) регулярна, имеет место равномерная сходимость ряда по с. с. ф. этой задачи к самой функции. В нерегулярном случае верна

Теорема. *Для произвольной функции из области определения оператора L соответствующий ряд по с. с. ф. этого оператора суммируем методом Абеля порядка q к самой функции, где*

$$1 < q \leqslant \frac{\pi}{2\psi_1}.$$

Доказательство проводится с использованием техники Костюченко—Шкаликова [3] и соответствующих оценок функции Грина.

Литература

1. *Тамаркин Я. Д.* О некоторых общих задачах теории обыкновенных дифференциальных уравнений и разложений произвольных функций в ряды. —Пг., 1917. 2. *Вагабов А. И.* —Дифференц. уравнения, 1982, т. 18, № 2, с. 194—205. 3. *Костюченко А. Г., Шкаликов А. А.* —Функцион. анализ и его приложения, 1978, вып. 4, № 12, с. 24—40.

ИММ АН АзССР

Поступило 3. XI 1986

М. Б. Искәндәрова

4 ТӘРТИБЛИ ДИФЕРЕНСИАЛ ДӘСТӘНИН МӘХСУСИ ФУНКСИЈАЛАРЫ ҮЗРӘ АЈРЫЛЫШЫН АБЕЛ МӘ'НАДА ЈЫҒЫЛМАСЫ

Мәгаләдә штурм типли сәрһәд шәртләрини өдәјән 4 тәртибли диференсиал дәстәнин мәхсуси функсијалар үзрә ајрылышын Абел мә'нада јығылмасы вә һәмин мәсәләнин регулјарлығы тәдгиг едилиб.

M. B Iskenderova

ON SUMMING BY ABEL OF SERIES OF OWN FUNCTIONS OF THE 4TH ORDER DIFFERENTIAL BUNCHES

The summing by Abel of series of own functions for the 4th order differential bunches with Sturm conditions was studied.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 539. 3

МЕХАНИКА

Р. Ю. АМЕНЗАДЕ, М. Б. АХУНДОВ, С. А. МАМЕДОВ

ВЛИЯНИЕ ИНЕРЦИИ ПОПЕРЕЧНОГО ДВИЖЕНИЯ НА КОЛЕБАНИЕ НАСЛЕДСТВЕННО-УПРУГОГО СТЕРЖНЯ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР И. И. Ибрагимовым)

Сложность анализа точных уравнений колебаний цилиндрических стержней вызвала появление различного рода приближенных теорий. Наиболее простейшим вариантом является теория, основанная на уравнении Рэлея, в котором наряду с гипотезой плоских сечений учитывается инерция поперечного движения элементов стержня [1]:

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\rho a^2 \nu^2}{2}\frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} + E\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \tag{1}$$

Здесь u—предельное смещение, ρ—плотность, a—радиус, ν—коэффициент Пуассона, E—модель Юнга.

На основании принципа соответствия Вольтерра—Работнова, используя алгебру резольвентных операторов [2] для наследственного упругого стержня, получим следующий аналог уравнения (1):

$$\frac{\rho}{E_0}(1+\mu K^*)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\rho a^2 \nu_0^2}{E_0}\left[1 - \frac{(1-2\nu_3)^2}{4\nu_0^2}\mu\Gamma^*(\gamma) + \right.$$
$$\left. + \frac{\mu}{4\nu_0^2}\Gamma^*(\gamma+\mu)\right]\frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \tag{2}$$

где K^*—оператор ползучести

$$K^* f = \int_{-\infty}^{t} K(t-\tau) f(\tau)\, d\tau,$$

а Γ^*—его резольвентный оператор; в свою очередь, постоянные μ и γ—параметры операторов K^* и Γ^*.

Если за ядро ползучести принять слабосингулярное ядро Абеля тогда уравнение движения (2) примет вид:

$$\frac{\rho}{E_0}(1+\beta I_\alpha^*)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\rho a^2 \nu_0^2}{E_0^2}\left[1 - \frac{(1-2\nu_0)^2}{4\nu_0^2}\beta\, \vartheta_2^*(-\beta) + \right.$$
$$\left. + \frac{\beta}{4\nu_0^2} I_\alpha^*\right]\frac{\partial^4 u}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}. \tag{3}$$

Здесь

$$I_\alpha(t) = \frac{t^{-\alpha}}{\Gamma(1-\alpha)}; \qquad Э_\alpha(-\beta, t) = t^{-\alpha} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n \beta^n t^{n(1-\alpha)}}{\Gamma[(n+1)(1-\alpha)]}, \tag{4}$$

$$0 \leqslant \alpha < 1; \qquad \beta > 0 .$$

где $\Gamma(n)$—гамма-функция Эйлера.

Рассмотрим продольные колебания стержня конечной длины. Пусть на левом торце стержня заданы гармонические колебания амплитудой u_0 и частотой ω, правый же торец свободен от усилий. В этом случае граничные условия для функции перемещения имеют вид:

$$u_0(0, t) = u_0 \cos \omega t; \quad \left.\frac{\partial u(xt)}{\partial x}\right|_{x=l} = 0. \tag{5}$$

Таким образом, приходим к необходимости решения уравнения (3) с граничными условиями (5). Поиск решения уравнения (3) с граничными условиями (5) в виде гармонических волн при ядрах ползучести и релаксации (4) приводит к следующему выражению:

$$\frac{u(x, t)}{u_0} = R(x, \omega) \cos[\omega t - \varphi)(x, \omega)], \tag{6}$$

где амплитуда $R(x, \omega)$ в безразмерных величинах

$$h = \frac{a}{l}; \quad \varepsilon = \frac{\beta}{\omega^{1-\alpha}}, \quad \lambda = \frac{\beta^{\frac{1}{1-\alpha}} \cdot l}{c_0}; \quad c_0^2 = \frac{E_0}{\rho}; \quad \xi = \frac{x}{l} \tag{7}$$

имеет вид:

$$R(\xi, \varepsilon) = \left\{ \frac{\operatorname{ch}[2p(1-\xi)] + \cos[2q(1-\xi)]}{\operatorname{ch} 2p + \cos 2q} \right\}^{1/2}, \tag{8}$$

где p и q — некоторые функции параметров h, ν_0, λ, α, ε, которые не приводятся здесь ввиду громоздкости их выражений.

С целью выяснения влияния параметров задачи на амплитуду колебания свободного торца стержня $\xi=1$ была проведена численная реализация при значениях $\lambda=0{,}4\cdot10^{-3}$; $\alpha=0{,}8$ для двух интервалов изменения безразмерной частоты ε: [0,2; 0,3] и [0,06; 0,15].

Влияние параметров неоднородности h, мгновенного значения коэффициента Пуассона ν_0 выяснялось путем сравнения соответствующих амплитудно-частотных характеристик, в частности, резонансных частот и соответствующих значений амплитуд колебаний.

Было обнаружено, что в интервале низких частот [0,2; 0,3] при $\nu_0=0{,}16$ для значений $h=0$; 0,005; 0,01; 0,05; 0,1 имеется лишь одна безразмерная резонансная частота $\varepsilon_p=0{,}1929$ (табл. 1), причем с увеличением h максимум значения амплитуды уменьшается незначительно, что говорит о малом вкладе первого слагаемого правой части уравнения (1), учитывающего инерцию поперечного движения элементов стержня. Как следует из табл. 1, с увеличением ν_0 вклад этого слагаемого растет и для $\nu_0=0{,}5$ становится порядка 5% для $h=0{,}1$.

С целью выяснения правомерности принятия коэффициента Пуассона константой была определена амплитудно-частотная характеристика для $h=0{,}01$ при $\nu_0=0{,}16$. Оказалось, что в отличие от случая, когда ν — оператор (табл. 1), для случая ν — константа $R_{max}=952{,}3$, а $\varepsilon_p=0{,}1896$.

Это говорит о невозможности приближенного принятия коэффициента Пуассона ν константой.

На интервале [0,06; 0,15] численный счет был проведен для $h=0$; 0,01; 0,1 и $\nu_0=0{,}16$. Численный счет показал, что в отличие от предыдущего интервала в малой области, прилегающей к $\varepsilon=0{,}1$, имеется большое число резонансных частот, а во всей остальной части интервала резонансных частот нет, здесь амплитуда монотонно возрастает. В табл. 2 сведены значения резонансных частот, в которых достигаются наибольшие значения амплитуды колебаний. Из нее следует, что для h порядка 0,1 вклад неодномерности уже существенен и составляет не менее 30%. Так же как и в предыдущем случае интервала низкочастотных колебаний, здесь рассмотрен случай, когда коэффициент Пуассона ν — константа для $h=0{,}01$ и $\nu_0=0{,}16$. Сравнение с результатом для того же значения h и ν_0 при ν — оператор (табл. 2) показывает, что здесь резонансные частоты наблюдаются на всем интервале, а максимальное значение амплитуды $R_{max}=74{,}6$ достигается при $\varepsilon_p=0{,}1374$, т. е. наблюдается увеличение амплитуды в 15 раз. Это, так же как и в предыдущем случае, говорит о неправомерности принятия коэффициента Пуассона константой.

Таблица 1

	$\alpha=0{,}8$; $\lambda=0{,}4\cdot10^{-3}$; $\varepsilon\in[0{,}2;0{,}3]$					
	h	0	0,005	0,01	0,05	0,01
$\nu_0=0{,}16$	R_{max}	25,27	25,26	25,26	25,22	25,09
	$\varepsilon_{рез}$	0,1929	0,1929	0,1929	0,1929	0,1929
$\nu=0{,}5$	R_{max}	—	—	25,26	—	23,98
	$\varepsilon_{рез}$	—	—	0,1929	—	0,1929
$\nu_0=0{,}3$	R_{max}	—	—	25,26	—	—
	$\varepsilon_{рез}$	—	—	0,1929	—	—

Таблица 2

	$\alpha=0{,}8$; $\gamma=0{,}4\cdot10^{-3}$; $\varepsilon\in[0{,}06;0{,}1]$			
	h	0	2,01	0,1
$\nu_0=0{,}06$	R_{max}	4,995	4,979	3,434
	$\varepsilon_{рез}$	0,1387	0,1387	0,1387

Литература

1. *Ляв А.* Математическая теория упругости. — М. —Л: ОНТИ НКГиП СССР, 1935. 2. *Работнов Ю. Н.* Элементы наследственной механики твердых тел. — М.: Наука, 1977.

АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 3. XII 1986

900—2

Р. J. Əмənзадə, М. Б. Ахундов, С. А. Мəммəдов

ЕНИНƏ ҺƏРƏКƏТ ƏТАЛƏТИНИН ИРСИ-ЕЛАСТИКИ ЧУБУҒУН РƏГСИНƏ ТƏ'СИРИ

Мəгалəдə енинə һəрəкəтдə əталəти нəзəрə алараг, сонлу узунлуға малик ирси-еластики чубуғун мəчбури рəгслəри арашдырылыр. Өзлүлүк нүвəси олараг Абелин зəифсингулјарлыг нүвəси гəбул едир.

Гејри-бирчинслилик параметри вə һəмчинин Пуассон əмсалы амплитуд-тезлик характеристикаларында өзүнү көстəрир; хүсусəн резонанс тезлијинин мүгајисəсиндə вə чубуғун учунун рəгсинин амплитудунун ујғун гијмəтиндə өзүнү көстəрир.

R. Yu. Amenzade, M. B. Ahundov, S. A. Mamedov

INFLUENCE OF THE CROSS MOTION INERTIA ON THE VIBRATION OF THE INHERITEDLY-ELASTIC STICK

Forced os illation of the inheritedly-elastic stick of end length with the cross motion inertia calculation of the stick's elements is researched.

As a creep kernel the Abel's kernel is taken. By the comparison of the amplitude-frequency response the influence of the non-onedimensional parameter and Poisson coefficient is discovered.

АЗƏРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛƏР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МƏ'РУЗƏЛƏРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 621.315.592

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Акад. АН АзССР М. И. АЛИЕВ, М. А. ДЖАФАРОВА, А. А. ХАЛИЛОВА

ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $InSb-In_2Te_3$

Наличие в структуре кристалла точечных дефектов, действие которых распространяется на средний объем, занимаемый атомом, может вызывать изменение как межатомных сил, так и плотности. Практически каждый тип дефектов вызывает одно или оба эти изменения. Теплопроводность кристаллов, содержащих точечные дефекты, ограничивается двумя видами рассеяния: ангармоническими процессами (процессы переброса и нормальные процессы) и дефектами.

Теория решеточной теплопроводности при наличии дефектов рассматривается в ряде работ при низких ($T<\Theta$, Θ — температура Дебая) и высоких ($T>\Theta$) температурах [1, 2]. Вклад точечных дефектов в рассеяние фононов зависит от их концентрации и температуры. В [1, 2] не учтено влияние нормальных трехфононных процессов (N-процессы) на теплопроводность решетки. В первом приближении эти процессы, происходящие с сохранением общего импульса, в отличие от U-процессов не могут непосредственно дать вклад в тепловое сопротивление. Однако N-процессы приводят к перераспределению импульса между фононами: длинноволновые фононы передают свой импульс коротковолновым, которые эффективно рассеиваются на дефектах. Таким образом, косвенно, но в принципе очень сильно N-процессы могут влиять на теплопроводность решетки.

Роль N-процессов была учтена Парротом в [3] при анализе экспериментальных данных по теплопроводности сплавов Ge—Si.

В данной статье результаты исследования теплопроводности $(InSb)_{3x}-(In_2Te_3)_{1-x}$ $(0<x<0{,}15)$ объясняются на основе теории рассеяния фононов на точечных дефектах с учетом N-процессов. Теплопроводность была измерена стационарным методом в области температур 100—500 К. В [4, 8] показано, что электронная доля теплопроводности с учетом степени вырождения и механизма рассеяния электронов в случае параболической зоны проводимости меняется в пределах 45÷28 % от общей теплопроводности при отмеченных выше значениях x.

На рисунке представлена зависимость решеточной теплопроводности сплавов $InSb-In_2Te_3$ от их состава. Сильно уменьшаясь при введении незначительного количества In_2Te_3 в InSb, решеточная теплопроводность меняется затем незначительно.

Величина решеточной теплопроводности была определена вычитанием значения электронной теплопроводности из общей.

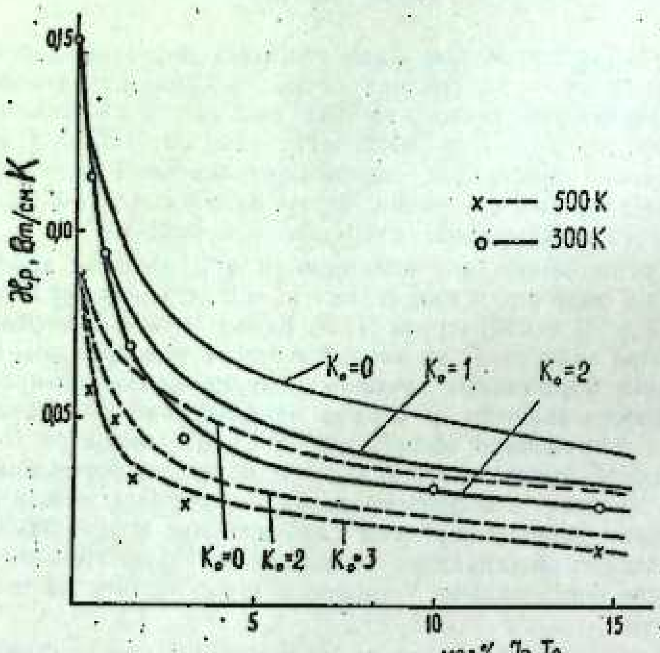
Для количественного сравнения полученных результатов с теорией была рассчитана теплопроводность решетки по формуле Клеменса [2] в области $T > \theta$ (для InSb $\theta = 202$ К):

$$\varkappa_p = \varkappa_0 \frac{\omega_0}{\omega_D} \operatorname{arctg} \frac{\omega_D}{\omega_0}, \qquad (1)$$

где

$$\left(\frac{\omega_0}{\omega_D}\right)^2 = \frac{K}{2\pi^2 v \varkappa_0 \omega_0 A}.$$

Здесь $\varkappa_0$—гипотетическая теплопроводность, которая была бы в сплаве при отсутствии дефектов, $\omega_D = \frac{K\theta}{h/2\pi}$ — частота Дебая, ω_0—частота, при которой времена релаксации процессов переброса τ_u и рассеяния фононов на точечных дефектах τ_i равны:



Зависимость решеточной теплопроводности сплавов от их состава:
О, Х — эксперимент, сплошные и пунктирные линии — расчетные

$$\tau_u(\omega_0) = \tau_i(\omega_0).$$

Параметр A характеризует рассеяние на точечных дефектах и имеет вид:

$$A = \frac{x(1-x)}{4\pi v^3}\left[\left(\frac{\Delta M}{M}\right)^2 - \varepsilon\left(\frac{\Delta\delta}{\delta}\right)^2\right], \qquad (2)$$

где ε—параметр, зависящий от упругих свойств среды, $\frac{\Delta M}{M}$ и $\frac{\Delta\delta}{\delta}$, соответственно локальное изменение массы и упругих свойств среды при замене атомов основного вещества примесями.

Известно, что In_2Te_3 имеет структуру цинковой обманки, как и InSb, и дефектна по отношению к подрешетке In (одна треть узлов в подрешетке In вакантна). При образовании сплавов они сильно влияют на рассеяние фононов вследствие локального изменения плотности и упругих свойств в элементе объема окружающем дефект.

Для исследуемых твердых растворов выполнение закона Вегардта дает возможность рассматривать изменение постоянной решетки как локального изменения упругих свойств среды [5]:

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = \left[\frac{a_{пр} - a_{осн}}{a_{осн}}\right]\cdot\frac{\mu}{1+\mu}, \qquad (3)$$

где $\mu = 1 + \frac{\nu(1-2\nu)}{2}$, ν—коэффициент Пуассона. Формула (3) с учетом зависимости параметра решетки от состава сплава принимает вид [6]:

$$\frac{\Delta\delta}{\delta} = \left[\frac{a(x) - a_{осн}}{x \cdot a_{осн}}\right]\frac{\mu}{1+\mu}. \qquad (4)$$

В исследуемых твердых растворах аналогичность кристаллических структур InSb и In_2Te_3 и образование гомогенных сплавов делают правдоподобным предположение, что эффект локального изменения упругих свойств мал по сравнению с эффектом изменения плотности. В [7] для твердых растворов GaSb—Ga_2Te_3 были Учтены как локальное изменение плотности, так и изменение упругих свойств. Показано, что, действительно, влияние локального изменения упругих свойств незначительно.

Используя значения $\varkappa_0$, v и ω_D для InSb и вычислив $\frac{\Delta M}{M}$, мы рассчитали теплопроводность сплавов InSb—In_2Te_3 по формуле Клеменса (1) (рисунок).

Как видно, экспериментальные значения ложатся ниже расчетных. Наличие добавочного теплового сопротивления может быть связано с наличием неконтролируемых примесей, а также с неучетом N-процессов в теории Клеменса.

Как Уже было отмечено, роль N-процессов была учтена Парротом. Приняв согласно Каллевею [6] времена релаксации N- и U-процессов равными $\tau_N^{-1} = B_N T \omega^2$ и $\tau_N^{-1} = B_u T \omega^2$, а отношение $K_0 = \frac{B_N}{B_u}$ независящим от температуры, Паррот [3] и Абельс [5] получили для теплопроводности выражение:

$$\varkappa_p = \varkappa_0 \frac{1}{\left(1 + \frac{5}{9}K_0\right)}\left[\frac{\frac{1}{y}\operatorname{arctg} y + \left(1 - \frac{1}{y}\operatorname{arctg} y\right)^2}{\left(\frac{1+K_0}{K_0}\right)\frac{y^4}{5} - \frac{y^2}{3} + 1 - \left(\frac{1}{y}\operatorname{arctg} y\right)}\right], \qquad (5)$$

где

$$y^2 = \frac{\left(\frac{\omega_D}{\omega_0}\right)^2}{1 + \frac{5}{9}K_0}.$$

Расчетные кривые при $\varkappa_0 = 0{,}1$ и 2 приведены на рисунке при 300 и 500К. При $\varkappa_0 = 0$ формула (5) переходит в (1). Согласие с экспериментом наблюдается при значении $\varkappa_0 = 2$, т. е. роль N-процессов в кристаллах с точечными дефектами существенна. С повышением температуры роль N-процессов в теплосопротивлении решетки увеличивается ($\varkappa_0 = 3$).

Литература

1. *Callaway J.*—Phys. Rev., 1959, 113, 4, 1046—1051. 2. *Klemens P. G.*—Pros. Phys. Soc., 1955, A 68, 2, 1113—1128. 3. *Parrott J. E.*—Proc. Phys. Soc. (London), 1963, 81, 726—735. 4. *Алиев М. И., Абдурахманова А. А., Зейналов С. А., Алиева М. А.*—В сб.: Теплофизические свойства твердых веществ. Баку: Элм, 1971, с. 103—105. 5. *Abeles B.*—Phys. Rev., 1963, 131,5, 1906—1911. 6. *Callaway J., Baeyer H. C.*—Phys. Rev., 160, 120, 1149—1154. 7. *Алиев М. И., Абдурахманова А. А., Араслы Д. Г.*—Изв. АН АзССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук, 1971, № 4, с. 64—67. 8. *Алиев М. И., Джангиров А. Ю.*—Изв. АН АзССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук, 1965, № 2, с. 48—53.

Институт физики АН АзССР

Поступило 19. IV 1986

М. И. Әлиіев, М. Ә. Чәфәрова, А. Ә. Хәлилова

БӘРК МӘҺЛУЛЛАРЫНЫН ИСТИЛИК КЕЧИРМӘСИ

Мәгаләдә дәјишән дефектли $(In_2Sb)_{3x}(In_2Te_3)_{1-x}$ бәрк мәһлулун истилик кечирмәси фононларын, N-просесләри нәзәрә аларал, нөгтәви дефектләрдән сәпилмәси нәзәријјәси әсасында арашдырылмасындан бәһс едилир. Тәдгиг олунан кристалларда истилик кечирмәдә N-просесләрин ролу вә температурдан асылылығы көстәрилмишдир.

M. I. Aliyev, M. A. Dzhafarova, A. A. Khalilova

HEAT CONDUCTIVITY OF In_2Sb_3—InTe SOLID SOLUTIONS

The results of the investigations of heat conouctivity of $(InSb)_{3x}(In_2Te_3)_{1-x}$ $(0 < x < 0.15)$ solid solutions with variable imperfections are explained in terms of the theory of phonon-point defect scattering with regard to the N-processes. The M-processes are shown to play an essential role in the crystals under investigation, and with increasing temperature their role in latice heat condu.tivity in reases.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 536. 48. 433

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

М. А. АЛДЖАНОВ, Н. Г. ГУСЕЙНОВ, З. Н. МАМЕДОВ, А. А. АЦУРРАГИМОВ

ТЕПЛОЕМКОСТЬ СМЕШАННЫХ КРИСТАЛЛОВ

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

В настоящее время интенсивно изучаются фазовые переходы в кристаллах, связанные с модулированной структурой. Период модулированной структуры бывает как кратен, так и не кратен периоду исходной решетки (соизмеримая и несоизмеримая фазы). Исследование этих переходов в основном стимулировано тем, что до сих пор не ясна полная картина перехода из соизмеримой фазы в несоизмеримую [1, 2].

В слоистых кристаллах $TlGaSe_2$ и $TlInS_2$ оптическими и калориметрическими исследованиями [2—10] были обнаружены температурно-неустойчивые решеточные возбуждения и наблюден ряд фазовых переходов, связанных с модулированной структурой.

Настоящая статья посвящена изучению влияния на теплоемкость C_p и на фазовые переходы кристаллов $TlGaSe_2$ и $TlInS_2$ изоморфного замещения в них атомов Se на S и соответственно S на Se. С этой целью нами были проведены измерения C_p смешанных кристаллов $TlGaSe_{2(1-x)}S_{2x}$ и $TlInSe_{2(1-x)}Se_{2x}$ ($x=0$, 1; 0,2) в интервале 4,2—350 К.

Измерения теплоемкости поликристаллических образцов проводились методом вакуумной адиабатической калориметрии [10]. Температурный шаг измерения C_p составлял 0,5—1,5 К, скорость нагрева была равна 0,06—0,2 К/мин. Относительная погрешность в определении C_p при $T > 10$ К составляла $\approx 0{,}3$, а ниже 10 К—2% от измеряемого значения.

На рис. 1 и 2 представлены результаты исследования C_p систем $TlGaSe_2$—$TlGaS_2$ и $TlInS_2$—$TlInSe_2$ в интервалах 4,2—100 и 170—230 К. При $T_c = 20{,}6$ К и в области $T_1 \approx 154$ К наблюдаются аномалии теплоемкости $TlGaSe_{1,8}S_{0,2}$. Отметим, что в районе аномалии образцы выдерживались при каждой температуре 20—30 мин. Из рис. 2 видно, что в области 170—202 К у $C_p(T)$ $TlInS_{1,8}Se_{0,2}$ имеется ряд аномалий. Максимальные значения аномалий теплоемкости наблюдаются при $T_{i1} = 201$, $T_c = 195$, $T_{i2} = 186$, $T_{ic} = 181$ К. В интервале 170—190 К для $TlInS_{1.6}Se_{0.4}$ наблюдается нарушение обычного хода изменения C_p с T. Однако резко выраженной аномалии в $C_p(T)$ не обнаружено.

Анализ экспериментальных данных показал, что ниже ≈ 10 К выполняется почти кубический закон теплоемкости для $TlGaSe_{1,8}S_{0,2}$ и $TlGaSe_{1,6}S_{0,4}$ с характеристической температурой $\theta_D = (94 \pm 2)$ К, а для $TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$ и $TlJnS_{1.6}Se_{0.4}$ — $\theta_D = (95 \pm 2)$ К. На рис. 3 приведена температурная зависимость θ_D для $TlJnS_{1,8}Se_{0,2}$. Ниже $\approx 6-7$ К температурная зависимость теплоемкости становится слабее кубической. Это обычно связывается с вкладом дефектов в C_p [11]. Однако не исключен и вклад поверхностных эффектов в C_p, которые особенно проявляются в слоистых кристаллах при низких T [12].

Путем графической экстраполяции $C_p(T)$ выделены регулярный (C_{p0}) и аномальный (ΔC_p) вклады теплоемкости. Для $TlGaSe_{1.8}S_{0.2}$ ве-

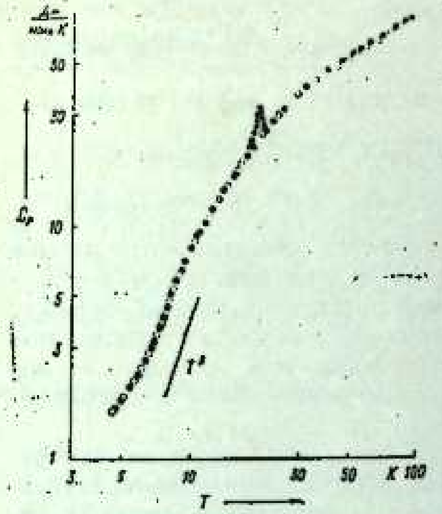


Рис. 1. Температурная зависимость теплоемкости: • — $TlGaSe_{1.8}S_{0.2}$; о — $TlGaSe_{1.6}S_{0.4}$

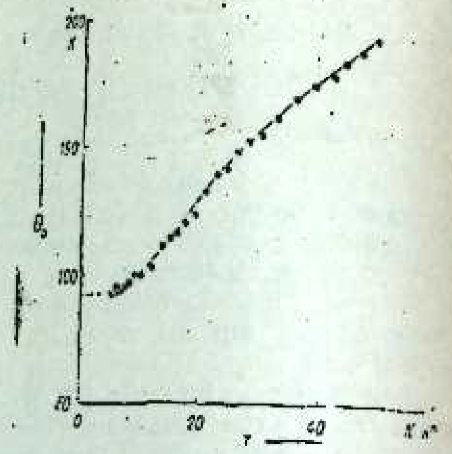


Рис. 2. Зависимость $\Theta(T)$ для $TlInS_{1.8}Se_{0.2}$

личина аномалии C_p при T_c составляет ≈35% от ее регулярной части, а при $T_1 \approx 154$ К—около 5%. Поведение C_p в критической области хорошо укладывается в $C_p \sim |T-T_c|^{-2'}$ при $T<T_c$ и $C_p \sim |T-T_c|^{-2}$ при $T>T_c$.

Анализ показал, что экспериментальные данные для $TlGaSe_{1.8}S_{0.2}$

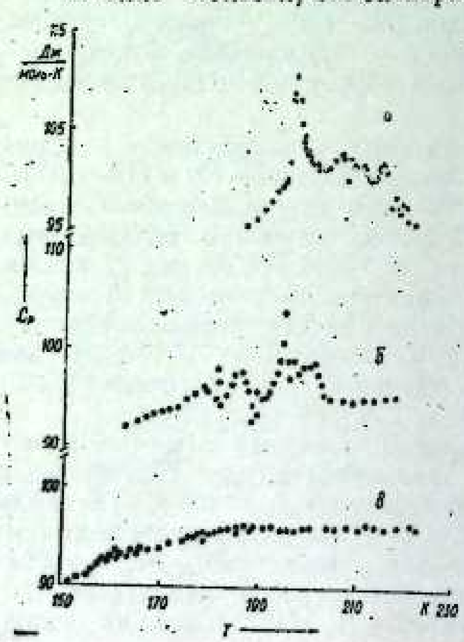


Рис. 3. Температурная зависимость теплоемкости: *а*—$TlInS_2$; *б*—$TlInS_{1.8}Se_{0.2}$; *в*—$TlInS_{1.6}Se_{0.4}$

в интервале $0.5<|T-T_c|<2.5$ удовлетворительно описываются этой формулой ($\alpha=\alpha'=0.13$). Малое значение C_p и особенности ее поведения при T_c характерны для фазового перехода второго рода. Однако симметричный вид $C(T)$ вблизи T_c свойствен фазовому переходу первого рода.

Измерения, произведенные нами ранее, показали, что у $C_p(T)$ $TlGaSe_2$ в области 100—119 и вблизи 250 и 340 К имеет место ряд аномалий, свидетельствующих о наличии фазовых переходов в этом соединении [10]. Максимальные значения аномалий C_p $TlGaSe_2$ наблюдаются при $T_{11}\approx 340$, $T_{12}\approx 253$, $T_{13}\approx 117{,}2$, $T_{14}\approx 113$, $T_{ic}\approx 109$, $T_{15}\approx 106$ $T_{lc}=101$ К. Измерения теплоемкости показали, что фазовый переход обнаруживается при содержании серы менее 20% в $TlGaSe_{2(1-x)}S_{2x}$. По мере замещения Se на S фазовые переходы в $TlGaSe_2$ сильно смещаются в область низких температур. Надо отметить, что $TlGaSe_2$ и $TlGaS_2$ изоструктурны, и поэтому такое сильное смещение температуры переходов, по-видимому, связано не только с изменением химической связи. Не исключена и возможность появления нового фазового перехода в $TlGaSe_{1.8}S_{0.2}$ при T_c.

В [4,5] показано, что в $TlInS_2$ при 220 К имеет место переход в несоизмеримую, в интервале 202—195 К—в сегнетоэлектрическую, а при ≈170 К—в соизмеримую фазу. В [8] по измерении C_p эти данные подтверждены, более того, обнаружены дополнительные аномалии в в $C_p(T)$ в области 196,9—214,9 К. На рис. 2 показано также поведение теплоемкости в интервале 170—250 К.

Как видно из рис. 2, наблюдаемые аномалии на кривой $G_p(T)$ для $TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$ и $TlJnS_{1.6}Se_{0.4}$ сопровождаются малым тепловым эффектом. При 195 К скачок теплоемкости $TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$ составляет ≈9%, для остальных точек фазового перехода—не более 3—4%.

Следует отметить, что наблюдаемые аномалии в $C_p(T)$ $TlGaSe_{1.8}S_{0.2}$ и $TlJnS_2$—$TlJnSe_2$ (как и в $TlGaSe_2$ [10]) зависят от цикла нагрев—охлаждение при повторных измерениях и скорости нагрева. При этом заметно смещаются температуры фазовых переходов. Подобные явления наблюдались и в [13, 14]. Как уже было отмечено, в соединениях $TlGaSe_2$ и $TlJnS_2$ обнаружены несоизмеримые фазовые переходы, для которых обычно характерен гистерезис исследуемых величин от T. Смещения температуры фазовых переходов могут обусловливаться и точечными дефектами в несоизмеримых кристаллах [14—16]. Как отмечено в [14, 16], концентрация дефектов может быть модулирована с периодом, равным периоду модуляции кристалла. Поскольку период модуляции кристалла с T изменяется, то дефекты должны мигрировать. Однако скорость изменения периода модуляции гораздо больше скорости миграции точечных дефектов, причем при низких T различие в скоростях значительное. Это приводит к зависимости температуры фазовых переходов от истории образца и скорости изменения T. Возможно, точечные дефекты в $TlGaSe_2$ [17] и $TlJnS_2$ приводят к зависимости температуры фазового перехода от скорости нагревания и цикла нагрев — охлаждение при повторных измерениях.

В области аномалий теплоемкости $TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$ наряду с максимумами наблюдается и небольшой минимум. Такое поведение C_p обнаружено и для других соединений [18—20], в которых наличие минимума на кривой $C_p(T)$ предполагается связанным с возможностью политипных превращений или выделением метастабильной фазы.

Оптические исследования $TlJn_{1.8}Se_{0.2}$ показали [21], что в интервале 185—200 К существуют последовательные фазовые переходы. В $TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$ при ≈ 200 и 190 К реализуются переходы соответственно в несоизмеримую и сегнетофазу. Как показано в [4,5], при $T \approx 213$ К происходит фазовый переход с появлением в кристалле волны длиннопериодической модуляции структуры. Ниже сегнетоэлектрического фазового перехода (<200 К) авторы [5] обнаружили новую несоизмеримую фазу, направление которой определить им не удалось. Таким образом, можно предположить, что в соединении $TlJnS_2$ и аналогичном ему $TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$ реализуются неполные „дьявольские лестницы", так как переходы в соизмеримую фазу происходят не скачкообразно, а через несоизмеримые фазы [1].

Используя результаты теории [22, 23], мы вычислили ширину критической области фазовой щели ($\Delta T_{кр}$), где существенна роль флуктуаций:

$$\Delta T_{кр} = \frac{K_B^2 T_c}{32\pi^2 (\Delta \overset{\circ}{C}_p)^2 \cdot L_c^6}, \tag{1}$$

где K_B—коэффициент Больцмана, $\Delta \overset{\circ}{C}_p$—скачок теплоемкости в теории Ландау, а L_c—величина, характеризующая эффективный радиус взаимодействия. Строго говоря, формула (1) установлена только для $T<T_c$. При $T>T_c$ для определения размера критической области следует сравнивать флуктуации второго или более высоких порядков. Если предположить, что критическая область симметрична относительно T_c, то приведенная формула определяет также и критическую область при $T>T_c$ [23].

В [23] вычислены верхние границы критических областей $\Delta T_{кр}$ для наиболее характерных сегнетоэлектриков $BaTiO_3$, ТГС, KH_2PO_4 и KP_2AsO_4 при значении $L_c = 4\,\text{Å}$. Получено, что $\Delta T_{кр}$ не превышает для этих сегнетоэлектриков 0,1 К. Мы, принимая такую же величину L_c, рассчитали $\Delta T_{кр}$ для $TlGaSe_{2(1-x)}S_{2x}$ и $TlJnS_{2(x-1)}Se_{2x}$ ($x=0$; 0, 1).

Кристалл	T_c, К	$\Delta c_p^{\wedge}$ Дж/м$^{-3}\cdot$к$^{-1}$	L_c, Å	$\Delta T_{кр}=(T_c-T_{кр}$, К
$TlGaSe_2$	108,9	$1{,}3^{*}\cdot 10^5$	4	0,98
$TlGaSe_{1.8}S_{0.2}$	20,6	$1{,}4\cdot 10^5$	4	0,18
$TlInSe_2$	196,9	$1{,}6\cdot 10^5$	4	1,11
$TlJnS_{1.8}Se_{0.2}$	195,0	$1{,}3\cdot 10^5$	4	1,66

Результаты приведены в таблице. Как видно из таблицы, $\Delta T_{кр}$ у исследованных нами соединений намного больше, чем у указанных сегнетоэлектриков.

Литература

1. *Bak P.*—Rep. prog. phys., 1982, 45, 587. 2. *Loos B., Bergersen B., Gooding R.*—J. Phys. Rev., 1983, B 27, 457. 3. *Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Лебедев С. П., Прохоров А. М., Алиев Р. А., Аллахвердиев К. Р.*—Письма в ЖЭТФ, 1983, т. 37, № 11, с. 517—520. 4. *Волков А. А., Гончаров Ю. Г., Козлов Г. В., Аллахвердиев К. Р., Сардарлы Р. М.*—ФТТ, 1983, т. 25, № 12, с. 3583—3585. 5. *Вахрушев С. Б., Жданов В. В., Квятковский Б. Е., Окунева Н. М., Аллахвердиев К. Р., Алиев Р. А., Сардарлы Р. М.*—Письма в ЖЭТФ, 1984, т. 39, № 6, с. 245—

247. 6. *Алиев Р. А. Аллахвердиев К. Р., Баранов А. И., Иванов Н. Р., Сардарлы Р. М.*—ФТТ, 1984, т. 26, № 5, с. 1271—1276. 7. *Абдуллаева С. Г. Абдуллаев А. М., Мамедов К. К., Мамедов Н. Т.*—ФТТ, 1984, т. 26, № 2, с. 617—620. 8. *Mamedov K. K., Abdullaev A. M., Kerimova E. M.*—Phys. St. Sol., 1986, 94, 115. 9. *Allakhverdiev K. R., Aldjanov M. A., Mamedov T. G., Salaev E. Yu.*—Sol. St. Com., 1986, v. 58, № 5, p. 295—297. 10. *Алджанов М. А., Гусейнов Н. Г., Абдуллаев А. М., Мамедов З. Н.*: Препринт № 182, ИФАН АзССР.—Баку, 1985. 11. *Марадудин А.* Дефекты и колебательный спектр кристаллов.—М.: Мир, 1968. 12. *Косевич Ю. А., Сыркин Е. С.*—ФНТ, 1983, т. 9 № 6, с. 624—629. 13. *Бондарь А. В., Вихнин В. С., Рябченко С. М., Ячменев В. Е.*—ФТТ, 1983, т. 25, № 9, с. 2602—2609. 14. *Зарецкий В. В., Шелег А. У.*—ФТТ, 1986, т. 28, № 1, с. 63—71. 15. *Aubry S.*—J. Physique, 1983, vol. 44, № 2, p. 147—162. 16. *Blinc R.*—Physica Scripta, 1982, vol. T 1, p. 138—141. 17. *Guseinov G. D., Aliev V. A., Bagirzade E. F.*—Materials Chemistry and Physics, 1985, 13, p. 541—550. 18. *Шелег А. У., Теханович Н. П., Якубенко Т. И.*—Докл. АН БССР, 1982, т. 26, № 10, с. 882—885. 19. *Ayache C., Bonjour E., Lagnier R., Fischer J. E.*—Physica, 1980, vol. 99B, p. 547—550. 20. *Петрова Ж. К.* Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук.—Минск. 1977. 21. *Аллахвердиев К. Р., Бабаев С. С., Бахышов Н. А., Мамедов Т. Г.*—ФТТ, 1985, т. 27, № 12, с. 3699—3701. 22. *Гинзбург В. Л.*—ФТТ, 1960, т. 2, № 9, с. 2031—2043. 23. *Блинц Р., Жекш Б.* Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. Динамика решетки.—М.: Мир, 1975.

Институт физики АН АзССР *Поступило I. IV 1987*

М. А. Алчанов, Н. Г. hусеjнов, З. Н. Маммәдов, Ә. Ә. Әбдүлрәhимов

$TlGaSe_2$—$TlGaS_2$ ВӘ $TlJnS$—$TlJnSe_2$ ГАРЫШЫГ КРИСТАЛЛАРЫН ИСТИЛИК ТУТУМУ

Бу мәгаләдә $TlGaSe_2$—$TlGaS_2$ вә $TlJnS_2$—$TlJnSe_2$ гарышыг кристалларынын 4,2—350 К температур интервалында истилик тутуму тәдгиг олунмушдур. Көстәрилмишдир ки, $TlGaSe_2$—$TlGaS_2$ вә $TlJnS_2$—$TlJnSe_2$ системиндә уjғун олараг S вә Se-нин мигдары 20%-дән аз олдугда фаза кечидләри мүшаһидә олунур.

M. A. Aldjanov, N. G. Guseinov, Z. N. Mamedov, A. A. Abdurragimov

HEAT CAPACITY OF MIXED CRYSTALS $TlGaSe_2$—$TlGaS_2$ AND $TlInS_2$—$TlInSe_2$

Heat capacity of the mixed crystals is investigated experimentally in temperature region of 4.2÷350 K. It is shown, that the phase transition is observed in the systems of $TlGaSe_2$—$TlGaS_2$ and $TlInSe_2$—$TlInS_2$ when the concentration of S and Se is smaller than 20 at. %, respectively. The influence of isostructural substitution of Se by S to heat capacity and phase transition is also investigated in these crystals.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 535. 853. 34

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Г. А. АЛЕКПЕРОВ, Э. И. ВЕЛИЮЛИН, Э. К. ГУСЕЙНОВ,
член-корр. Ч. О. КАДЖАР, Б. М. РУСТАМБЕКОВ

ДЕФЕКТНОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ $Cd_xHg_{1-x}Te$

В данной статье приводятся результаты исследования методом электроотражения (ЭО) дефектности поверхности кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ после различных видов обработки.

Объектом исследования являлись кристаллы $Cd_xHg_{1-x}Te$ n-типа проводимости различного состава с концентрацией носителей $(2\div5)\times\times10^{14}$ см$^{-3}$ при 77 К и произвольной ориентацией поверхности. Применялись следующие виды обработки поверхности образцов: а) механическая полировка абразивом SiC с размером зерна 1 мкм и удельным давлением на образец менее 100 Г/см^2; б) анодно-механическая электрополировка; в) химико-механическая полировка; г) бомбардировка ионами O_2^+ с энергиями 25 и 50 эВ; д) выращивание слоя собственного окисла и его последующее стравливание. Слой собственного окисла выращивался двумя методами: стандартным методом электрохимического анодирования (электролит — 0,1 М раствор КОН в 90% этиленгликоле +10% H_2O, гальваностатический режим при плотности тока 1 мА/см^2) [1] и окислением в области послесвечения кислородной плазмы положительного столба тлеющего разряда постоянного тока (ПСТРПТ). Собственный окисел выращивался до толщины 500 А. Контроль толщины окисла проводился эллипсометром ЛЭМ-2. Удаление окислов проводилось в травителе $HCl:HNO_3=1:1$, а послойное удаление материала $Cd_xHg_{1-x}Te$ — в стандартном травиле $3\%Br_2+97\%Hbr$. Источником ионов O_2^+ служила плазма ПСТРПТ в кислороде. Энергия ионов регулировалась путем приложения к образцу отрицательного относительно плазмы потенциала.

Измерения спектров ЭО проводились в спектральной области, соответствующей переходу типа E_1 кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$, при комнатной температуре на спектрометре ЭО с частотной модуляцией поверхностного потенциала образца, резонансным усилением, нормированием полезного сигнала и синхронным детектированием [2]. Диаметр светового зонда составлял 100 мкм. Точность попадания светового зонда в заданную точку поверхности образца была не хуже ±10 мкм. В качестве электролита использовался 1 М раствор KCl в воде.

Обработка спектров ЭО, получение значений энергии перехода E_1 и параметра уширения Γ проводились по составленной программе на мини-ЭВМ «Электроника Д3-28» на основе метода «трех точек» [3]. Критерием дефектности служил параметр уширения Γ, поскольку уширение спектров ЭО обусловлено процессами рассеяния носителей заряда на дефектах кристаллической решетки полупроводника.

Исследованы изменения спектров ЭО поверхности кристаллов $Cd_{0,295}Hg_{0,705}Te$ после механической полировки и послойного удаления

нарушенного слоя. Чтобы быть уверенными, что наблюдаемые изменения спектров ЭО соответствуют распределению дефектов по глубине нарушенного слоя, исследуемый кристалл делился на две части. Одна часть подвергалась обработке, другая служила для снятия спектров сравнения. Послойное травление проводилось одинаково для обеих частей образца. Анализировались изменения спектров ЭО только тех обработанных кристаллов у которых спектры сравнения не изменялись при послойном травлении, т. е. кристаллы были однородны по всей глубине послойного травления. По мере удаления нарушенного слоя после механической полировки спектры ЭО претерпевают существенные изменения как по амплитуде пиков, так и по параметру уширения. После удаления слоя толщиной $35\div40$ мкм дальнейшее стравливание не приводило к изменению энергетического положения и амплитуд пиков ЭО, а параметр уширения стабилизировался на уровне 101 ± 5 мэВ.

Таким образом, механическая полировка поверхности $Cd_xHg_{1-x}Te$ приводит к образованию нарушенного слоя толщиной $35\div40$ мкм, что значительно превышает размер абразивного зерна.

Аналогично определена глубина нарушенного слоя, создаваемого электрополировкой ($15\div20$ мкм) и химико-механической полировкой (менее 5 мкм). Таким образом, наименее травмирующим видом полировки кристаллов $Cd_xHg_{1-x}Te$ является химико-механическая полировка. Поэтому для исследования влияния на дефектность поверхности ионной бомбардировки и окисления образцы предварительно подвергались химико-механической полировке с последующим стравливанием слоя (5 мкм). Можно считать, что дефектность получаемой таким образом поверхности соответствует дефектности объема кристалла. Изменения параметров уширения спектров ЭО после окисления поверхности и ионной бомбардировки для одного из образцов приведены в таблице.

Результаты, аналогичные приведенным в таблице, были получены

Исходная поверхно ть, Γ, мэВ	Способ обработки	Обработанная поверхность, Γ, мэВ
84 ± 4	Плазменное окисление Окисел стравлен.	80 ± 4
84 ± 4	Электрохимическое окисление. Окисел стравлен.	97 ± 4
86 ± 4	Бомбардировка ионами O_2^+ с энергией 25 эВ, Доза $Д=2\cdot10^{17}$ м$^{-2}$	101 ± 5
84 ± 4	Бомбардировка ионами O_2^+ с энергией 50 эВ, Доза $Д=2\cdot10^{17}$ м$^{-2}$	101 ± 5

для всех исследованных образцов. Таким образом, плазменное окисление не изменяет, а электрохимическое окисление и бомбардировка низкоэнергетичными ионами увеличивают дефектность поверхности $Cd_xHg_{1-x}Te$.

Тот факт, что химико-механическая полировка является наименее травмирующей, подтверждается и исследованиями вольт-фарадных характеристик тестовых структур $Cd_xHg_{1-x}Te$ — плазменный окисел-металл.

Наименьшая плотность поверхностных состояний для них вблизи середины запрещенной зоны $N_{ss}=(0{,}8\div 1{,}2)\times 10^{11}$ эВ$^{-1}$см$^{-2}$ была получена при использовании химико-механической полировки в качестве предокислительной обработки. Применение же анодного окисла в качестве диэлектрика не позволяло получить величину N_{ss} меньше $7\cdot 10^{11}$ эВ$^{-1}$ см$^{-2}$ даже при использовании предварительной химико-механической полировки, что также согласуется с данными таблицы.

Таким образом, модуляционная спектроскопия ЭО является весьма информативным и эффективным методом определения дефектности поверхности $Cd_xHg_{1-x}Te$ после различных воздействий.

Литература

1. *Calagnus P. C., Baker C. T. US* Patent № 3 977. 018 (24 August 1976). 2. *Велиюлин Э. И., Каджар Ч. О., Мусаев С. А., Рустамбеков Б. М.*—Докл. АН АзССР, 1985, т. 41, № 3, с. 24—27. 3. *Aspnes D. E.*—Surface Science, 1973, v. 37, p. 418.

Институт физики АН АзССР

Поступило 30. III 1987

h. Ә. Әләкбәров, Е. И. Вәлиjулин, Е. К. hүсејнов,
Ч. О. Гачар, Б. М. Рүстәмбәјов

$Cd_xHg_{1-x}Te$ КРИСТАЛЛАРЫНЫН СӘТh ДЕФЕКТЛИЈИ

Мәгаләдә $Cd_xHg_{1-x}Te$ кристалларынын мүхтәлиф нөв тә'сирләрдән сонра сәтh дефектлијинин електрикәксетмә методу илә тәдгигатларын нәтичәләри верилмишдир.

Механики, електромеханики вә кимјәви-механики чилалама нәтичәсиндә алынмыш сәтh тәбәгәсинин позулма дәринлији тә'јин олунмушдур; көстәрилмишдир ки, чилалама новләриндән ән аз зәдәләјичи кимјәви-механики чилаламадыр.

Мүәјјән едилмишдир ки, оксикен плазмасы илә сәтhин оксидләшдирилмәси дефектлијә тә'сир етмир; електрокимјәви оксидләшмә вә оксикен ионлары илә бомбардман едилмә исә $Cd_xHg_{1-x}Te$ кристалларынын сәтh дефектлијини артырыр.

G. A. Alekperov, E. I. Veliyulin, E. K. Guseinov,
Ch. O. Qajar, B. M. Rustambekov

THE DEFECTIVENESS OF $Cd_xHg_{1-x}Te$ CRYSTALS SURFACE

This article presents the results of the investigation of $Cd_xHg_{1-x}Te$ crystal defectiveness after different types of treatment by the method of electroreflectance.

The depths of ruptured surface layers are determined, formed by mechanical, electromechanical and chemicomechanical polishing. The chemicomechanical type is shown to be the least breaking type of polishing.

The surface oxidation in oxygen plasma with subsequent removal of oxide does not affect the defectiveness, while the electrochemical oxidation with subsequent removal of oxide and oxigen ion bombardment increases the defectiveness of $Cd_xHg_{1-x}Te$ crystal surfaces.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 621.315.592

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Т. Х. АЗИЗОВ, Б. Г. ТАГИЕВ, А. Г. ГУСЕЙНОВ, А. А. КУЛИЕВ

ИНЖЕКЦИОННЫЕ ТОКИ В МОНОКРИСТАЛЛАХ Gd_3X_4 (X=S, Se, Te)

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ч. М. Джуварлы)

В связи с возможностью применения в качестве активных элементов инжекционных лазеров [1] в последнее время особое внимание привлекают халькогениды редкоземельных элементов с формулой Ln_2X_3, Ln_3X_4 структурного типа Th_3P_4. Они являются граничным составом фазы, в пределах которой сохраняется один и тот же структурный тип. Параметры решеток этих фаз почти не меняются, тогда как их электрические свойства изменяются в широких пределах [2].

Многие физические свойства полупроводниковых соединений определяются энергетическим положением и природой локальных уровней.

Исследования температурной зависимости электропроводности и инжекционных токов дают широкую информацию о механизме переноса, генерации и рекомбинации носителей тока, а также о параметрах локальных уровней.

Монокристаллы типа Ln_2X_3, Ln_3X_4 обладают высокой фоточувствительностью и пьезоэлектрическими свойствами [1,3—6]. В Gd_2S_3, L_2S_3, La_2S_3 и $(La_2S_3)_{1-x}(Ga_2O_3)$, активированных неодимом, была обнаружена внутрицентровая фотолюминесценция с оптической накачкой зона—зона [7—10].

Сведения о физических свойствах монокристаллов соединений типа Gd_3X_4 весьма ограничены.

В настоящей статье приводятся результаты исследований температурной зависимости электропроводности [$\sigma(T)$] и вольт-амперных характеристик (ВАХ) монокристаллов халькогенидов гадолиния Gd_3X_4 (X=S, Se, Te).

Монокристаллы были выращены методом химической транспортной реакции [11—12]. Для электрофизических измерений контакты создавались вплавлением индия.

На рис. 1 представлена зависимость электропроводности от температуры для Gd_3Se_4. Как видно, кривая состоит из трех участков; значения энергии активации, рассчитанные из них, составляют соответственно 0,07; 0,19; 0,49 эВ.

На рис. 1 представлены стационарные ВАХ структур Jn—Gd_3Se_4—In при 140 К, снятые по методике, указанной в [13].

На ВАХ имеются линейные и нелинейные (квадратичный, кубический) участки.

Подобная зависимость наблюдается и при других температурах (77÷293 К). Локальные уровни полупроводника в запрещенной зоне рассчитаны путем обработки ВАХ и зависимости $\alpha = \frac{d(\lg J)}{d(\lg V)}$ от V [14].

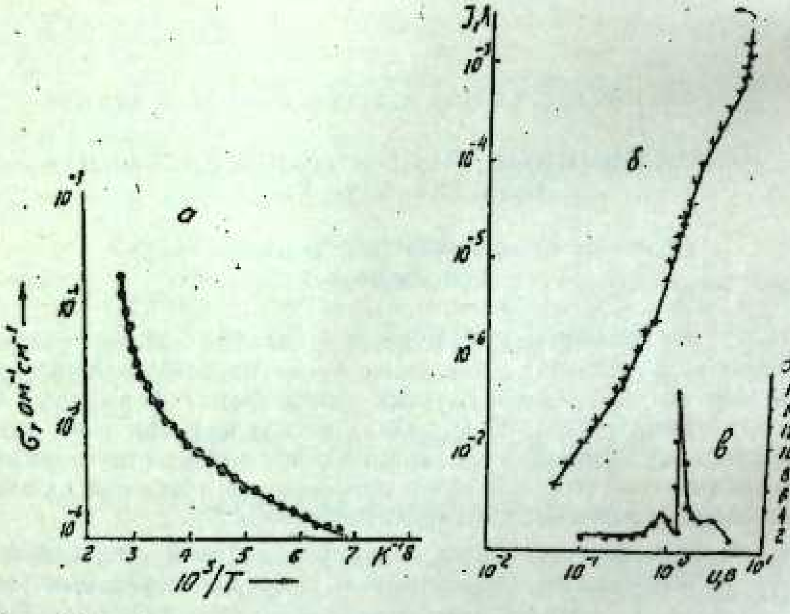


Рис. 1. Температурная зависимость электропроводности σ (T) монокристаллов Gd_3S_4 *(а)*; стационарные ВАХ структур In—$GdSe_4$—In при 140 К *(б)*; зависимости показателя степени (α) от напряжения *(в)*

Тип инжекции следует из определения дискриминационного коэффициента (Q_m) электропроводности [15].

$$Q_m = \frac{(2\alpha_m - 1)^2(\alpha_m - 1)}{\alpha_m^3}\cdot\frac{S \vartheta \mu \varepsilon_0 V_m}{4\pi L^3 J_m},$$

где α_m, I_m, V_m — показатель степени, плотность тока, и напряжение, соответствующие максимуму на зависимости $\alpha \sim I(u)$, ε — диэлектрическая проницаемость, L — расстояние между электродами, а $Q_m = 8{,}69\times10^{-5}$. Имеющиеся на кривой рис. 1 участки с квадратичной и кубической зависимостями, а также выполнение закономерностей $I \sim V^2$ и $Q_m \ll 1$ указывают на то, что в электрических полях напряженностью ($10 \div 10^3$ В/см) перенос носителей тока обусловлен двойной инжекцией. Глубина залегания ловушек (E_t), приэлектродная концентрация (n_m) и плотность объемного заряда (ρ^m), соответствующие максимуму зависимости ($\alpha = f(u)$), определены по формуле, приведенной в [14], и равны: $E_t = 0{,}47$ эВ, $n_m = 5{,}2\cdot10^{13}$ см$^{-3}$, $\frac{\rho_m}{l} = 3{,}9\cdot10^{9}$.

При определении параметров ловушек эффективная плотность состояния, подвижность и электрическая постоянная равны: $N_v = 10^{19}$ см$^{-3}$, $\mu = 7{,}5$ см^2/В·с, $\varepsilon = 17$ [11].

Уровни ловушек с энергией 0,47 эВ определены также из измерений

$\sigma(T)$. Приведенные оценки показывают, что за процессы проводимости и явления инжекции ответственны одни и те же уровни.

На рис. 2 показаны ВАХ структур In—Gd_3S_4—In при различных температурах. На них выявляются линейный *(I)* и степенной *(II)*

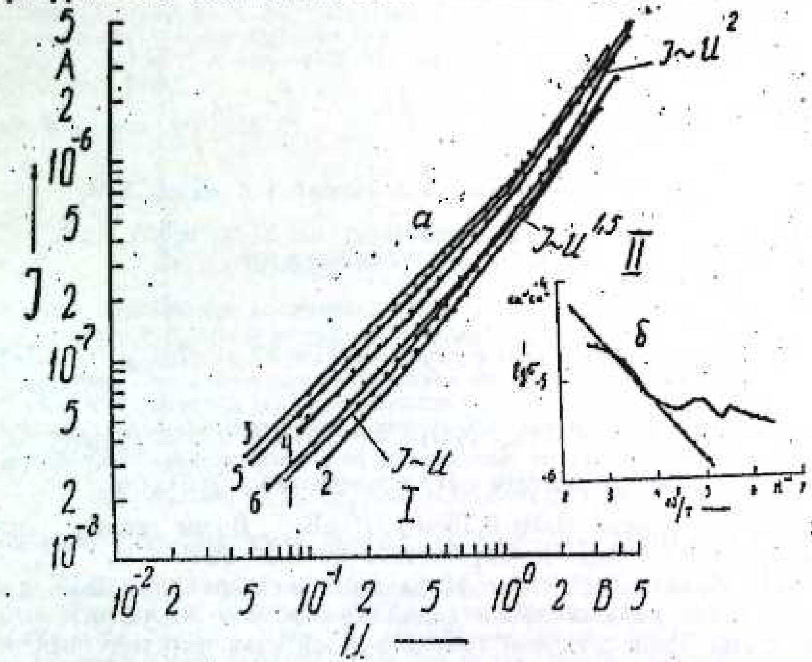


Рис. 2. Стационарная ВАХ структур In—Gd_3S_4—In *(а)*; температурная зависимость электропроводности σ (T) монокристаллов Gd_3S_4 *(б)*

участки. Согласно [15] существование участка «трех вторых» позволяет сделать заключение, что механизм переноса заряда в линейной области ВАХ обусловлен двойной инжекцией при бимолекулярном законе рекомбинации [16]. На зависимости σ(T), приведенной на рис. 2, отчетливо видны максимумы при температурах 181, 205 и 257 К.

Предварительный нагрев (или отжиг) образца в темноте до температуры 500 К приводит к освобождению неравновесных носителей заряда, ранее захваченных различными областями макроскопических неоднородностей материала, и тем самым к исчезновению пиков на $\sigma(T)$ (рис. 2, кр. *2*). В этом случае на $\sigma(T)$ выявляется только один наклон с энергией активации $\sim$0,24 эВ.

Так как при измерении температурной зависимости электропроводности монокристалла Gd_3S_4 прикладывалось электрическое поле из линейной области ВАХ, выявление максимумов на $\sigma(T)$ не может быть связано с инжекцией носителей заряда из контакта. Предполагаем, что максимумы на зависимости $\sigma(T)$ обусловлены наличием макронеоднородностей, создающих рекомбинационные барьеры.

На рис. 3 представлена ВАХ структур In—Gd_3Te_4—In при различных температурах. На ВАХ выявляются линейный, квадратичный, кубический участки и область резкого роста тока.

На рис. 3 для Cd_3Te_4 приведены температурные зависимости электропроводности. Видно, что электропроводность с ростом температуры увеличивается и носит экспоненциальный характер $\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{KT}}$. На $\sigma(T)$ выявляются три наклона, соответствующие им энер-

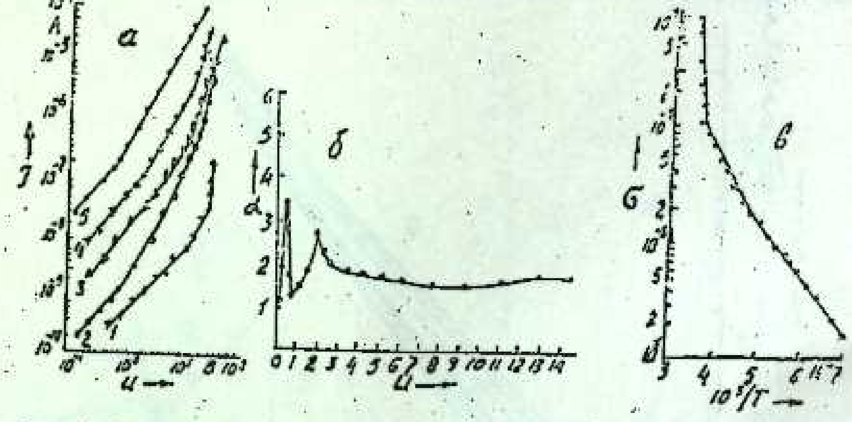


Рис. 3. Стационарная ВАХ структур In—Gd_3Te_4In *(а)*; зависимость показателя степени (α) от напряжения *(б)*; температурная зависимость электропроводности σ *(T)* монокристаллов Gd_3Te_4 *(в)*

гии активации равны: 0,04; 0,15 и 0,97 эВ. Вычисленная энергия активации из ВАХ для Gd_3Te_4 составляет 0,37 эВ.

Таким образом, на основе результатов исследования ВАХ и σ *(T)* монокристаллов халькогенидов гадолиния можно заключить, что они обладают полупроводниковой температурной зависимостью электропроводности и имеют проводимости *n*-типа по знаку термоэдс [12]. Механизм прохождения тока в нелинейной области ВАХ в них обусловлен инжекцией носителей заряда из электрода.

Выводы

На основе результатов исследований ВАХ, σ *(T)* показано, что монокристаллы халкогенидов гадолиния типа Gd_3X_4 обладают полупроводниковым ходом температурной зависимости электропроводности и механизм прохождения тока в них из нелинейной области ВАХ обусловлен инжекцией носителей заряда из электрода.

Литература

1. *Камарзин А. А., Камышлов В. Ф., Косцев Э. Г., Маловицкий Ю. Н.*—Изв. АН СССР. Неорган. матер., 1981, т. 17, с. 2143—2145. 2. Ж. Всесоюз. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева, 1981, т. XXVI, № 6. 3. *Жузе В. П., Камарзин А. А., Соколов В. В., Маловицкий Ю. Н., Бульченко В. П., Смирнов И. А., Шелых А. И.*— Письма в ЖТФ, 1980, т. 6., вып. 23, с. 1431—1432. 4. *Жузе В. П., Камарзин А. А., Соколов В. В., Волконская Т. И., Смирнов И. А., Шелых А. И.*—Письма в ЖТФ, 1981, т. 1981, т. 7, вып. 23, с. 1435—1436. 5. *Голубков А. В., Гончаров Е. В., Жузе В. П., Логинов Г. М., Сергеева В. М., Смирнов И. В.* Физические свойства хаkькогенидов редкоземельных элементов (Под ред. В. П. Жузе.)—Л.: Наука, 1973. 6. *Batirov F. M., Fridkin V. M., Verkbovskaya A. A.*—Phys. st. sol. (a), 1981, 65, № 2, к 163—164. 7. *Каминский А. А., Саркисов С. Э.,* Чан Нчок, *Денисенко Г. А., Камарзин А. А., Соколов В. В., Клыгин В. В., Маловицкий Ю. Н.*—Изв. АН СССР. Неорган. матер., 1980, т. 16, вып. 8, с. 1333—1345, 8. *Камарзин А. А., Мамедов А. А., Смирнов В. А., Соколов В. А., Щербаков И. А.*—Квантовая электроника, 1983, т. 10, № 3, с. 569—573. 9. *Глушков М. В., Мамедов А. А., Прохоров А. М., Пухлый Ж. А., Щербаков И. А.*—Письма в ЖЭТФ, 1980, т. 31, вып. 2, с. 114—117.

10. *Leiss M.*—J. phys. c. sol. st. phys., 1980, 13, № 1, p. 151—152. 11. *Азизов Т. Х., Тагиев Б. Г., Гусейнов А. Г.*—Изв. АН АзССР. Сер. физ.-техн. и мат. наук, 1984, № 1, с. 65—68. 12. *Азизов Т. Х., Тагиев Б. Г., Гусейнов А. Г. Электрические и фотоэлектрические свойства монокристаллов* Gd_2S_3, Gd_3S_4(X=S, Se, Te): Препринт № 117, ИФАН АзССР.—Баку, 1984. 13. *Соминский М. С.* Полупроводники.—М.: Наука, 1961. 14. *Зюганов А. Н., Свечников С. В.* Инжекционно-контактные явления в полупроводниках.—Киев: Наукова думка, 1981. 15. *Рашба Э. И., Толпыго К. Б.*—ЖТФ, 1956, т. 26, № 7, с. 1419—1427. 16. *Webb A., Hall H.*— Inorg. Chem., 1970, v. 9, № 5, p. 1084—1090.

Институт физики АН АзССР

Поступило 15. IX 1986

Т. Х. Әзизов, Б. Г. Тағыјев, А. Һ. Һүсејнов, А. А. Гулијев

Gd_3X_4(X=S, Se, Te) МОНОКРИСТАЛЛАРЫНДА ИНЖЕКСИЈА ЧӘРӘЈАНЛАРЫ

Мәгаләдә гадолиниумун халкогенидләринин Gd_3X_4 типли монокристаллары кимјәви Дашыма реаксијасы үсулу илә јетишдирилмәсиндән бәһс едилир.

Мүәјјән олунмушдур ки, онлар јарымкечиричи хассәләрә маликдирләр. In-Gd_3Te_4-In структурларында Волт-Ампер характеристикасы гејри-хәтти саһәсиндә чәрәјанын кечмә механизми икигат инжексија илә шәртләнмишдир.

Көстәрилән бирләшмәләрдә тутучу сәвијјәләрин јерләшмә дәринлији вә гатылығы тә'јин олунмушдур.

T. Kh. Azizov, B. G. Tagiev, A. G. Huseinov, A. A. Guliev

THE INJECTION CURRENTS IN Gd_3X_4 (X=S, Se, Te) SINGLE CRYSTALS

It is found that the gadolinium chalcogenides of Gd_3X_4 type, grown by the chemical transport reaction method, have the semiconductor characters.

In In—Gd_3X_4—In structures the current passage mechanism in the non-linear region of current-voltage characteristic is due to the double injection. The bedding depth and concentrations of traps in the indicated compounds are determined.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 537.322.15

ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

М. М. АКПЕРОВ

ОБ УЧЕТЕ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ИНФОРМАЦИИ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. И. Алиевым)

В [1] было получено выражение для коэффициента усиления термоэлектрического преобразователя информации (ТПИ) по напряжению в предположении, что тепловая нагрузка на рабочем спае термоэлемента (Q_2) отсутствует и теплотой Джоуля (Q_1), выделяющейся в ветвях термоэлемента, можно пренебречь.

В действительности в элементе из материала с фазовым переходом (ФПМП, терморезисторы, позисторы) всегда выделяется теплота Джоуля:

$$C_2 = I_2^2 R = \frac{E^2}{R}, \tag{1}$$

где I_2 — ток во вторичной цепи, R — сопротивление элемента с фазовым переходом и E — падение напряжения на ФПМП.

В ТПИ, построенном на основе применения сегнетоэлектрика, мощность, выделяющаяся в конденсаторе,

$$C_2 = U^2 \omega c \operatorname{tg} \delta, \tag{2}$$

где c — емкость конденсатора из сегнетоэлектрика, U — падение напряжения на сегнетоэлектрике.

В случае применения феррита роль нагрузки также играют потери в управляемом элементе.

В работе [1] не учтена также теплота Джоуля $C_1 \left(\frac{1}{2} I_1^2 R_т\right)$, которая поступает на рабочий спай из ветвей термоэлемента (этой теплотой можно пренебречь лишь в том случае, когда она много меньше теплоты Пельтье, что не всегда имеет место).

В данной статье рассматривается общий случай: учитываются нагрузки (Q_2) на рабочий спай термоэлемента и теплота Джоуля Q_1, выделяющаяся в его ветвях.

При учете теплоты Джоуля, выделяющейся в ветвях термоэлемента, уравнение теплового баланса на рабочем спае термоэлемента будет иметь вид:

$$Q = \pm \alpha I_1' T \pm \kappa \Delta T_н + \frac{1}{2} I_1^2 R_т. \tag{3}$$

Знаки перед первыми членами в правой части (3) зависят соответственно от направления тока и теплового потока. Мы для определенности будем рассматривать случай, когда теплота Пельтье отрицательна и больше теплоты Джоуля. Тогда перед первым членом правой части (3) будет стоять знак минус (—), а перед вторым — плюс (+).

Ток через термоэлемент (I_1^1) при наличии нагрузки, так же как в [1], определяется выражением:

$$I_1' = \frac{U_{вх.} - \alpha \Delta T_н}{R_т}. \tag{4}$$

Подставляя (4) в (3) и вводя безразмерные величины $\Theta = \frac{\Delta T_н}{T}$,

$$U^* = \frac{u_{вх}}{\alpha T} \quad и \quad \zeta^* = \frac{Q_2 R}{\alpha^2 T^2},$$

получим квадратное уравнение для определения θ:

$$\theta^2 + \left(2 + \frac{2}{zT} - 2U^*\right)\theta + U^{*2} - 2U^* - 2Q^* = 0. \tag{5}$$

Решение его (имеющее физический смысл) принимает вид:

$$\theta_{1,2} = -1 + U^* - \frac{1}{zT} \pm \sqrt{1 + \frac{1}{z^2 T^2} + \frac{2}{zT} - \frac{2u^*}{zT} + 2Q^*}. \tag{6}$$

Нетрудно показать, что если пренебречь теплотой Джоуля по сравнению с теплотой Пелтье, то уравнение (6) приобретает вид:

$$\theta \left(1 + \frac{1}{zT}\right) = U^* - Q^*,$$

откуда после простых вычислений получим:

$$\Delta T_н = \frac{U_{вх.}}{\alpha} \cdot \frac{zT}{1 + zT} - \frac{Q_2}{\kappa} \cdot \frac{1}{(1 + zT)}. \tag{7}$$

Первый член в правой части (7) в точности соответствует [1] (работе ТПИ без нагрузки), а второй учитывает влияние нагрузки Q_2.

Однако второй член в правой части (7) не связан с $U_{вх}$ и поэтому создает ложный сигнал на выходе схемы, так же как и при $U_{вх} = 0$.

С целью исключения этих двух паразитных сигналов целесообразно применять мостовую схему, представленную на рисунке, где 1—термоэлементы, включенные навстречу друг другу, 2—два управляемых элемента, 3—термостат, E—опорное напряжение, 4—выходные сопротивления схемы, 5—переменные сопротивления для точной балансировки схемы.

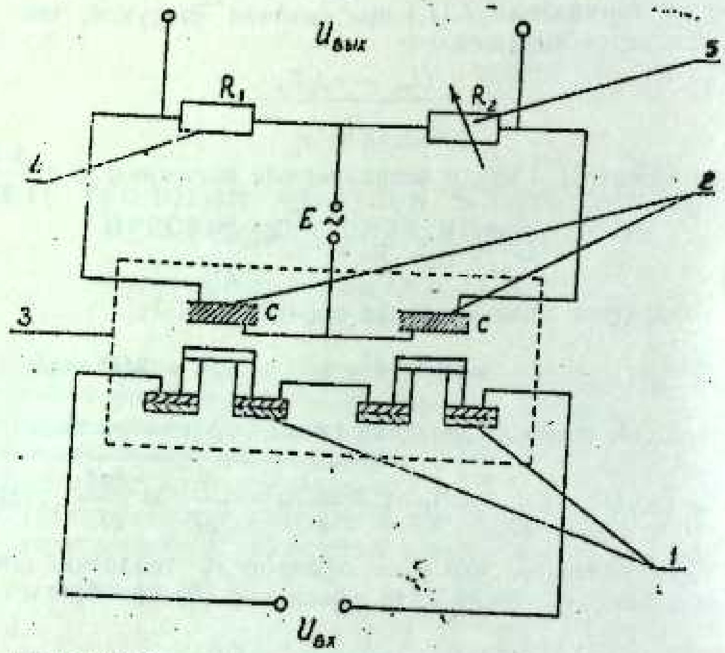
Нетрудно убедиться, что при правильной балансировке и при $U_{вх} = 0$ $U_{вых} = 0$. При подаче входного напряжения на термоэлемент один из рабочих спаев нагревается, а другой—охлаждается, в результате чего баланс мостовой схемы нарушается и на выходе появляется сигнал

$$U_{вх} = \beta U_{вых},$$

где β—коэффициент усиления по напряжению.

При учете изменения тепловой нагрузки (Q_2) на термоэлементе разность температур на его спае.

$$\Delta T_н = \frac{U_{вх}}{\alpha}\,\frac{zT}{1+zT} - \frac{Q_2}{\kappa(1+zT)}, \qquad (8)$$



где $U_{вх}$—входной сигнал на термоэлементе, α—коэффициент термоэдс термоэлемента, zT—параметр Иоффе, κ—эффективный коэффициент теплопроводности при учете теплообмена с окружающей средой,

$$Q_2 = Q_{2_0} + \Delta Q_2,$$

где

$$\Delta Q_2 = \frac{\partial Q_2}{\partial T}\Delta T_н, \qquad (9)$$

при $R = r$, $\quad \Delta Q_2 = \frac{E^2}{4R^2}\,\frac{dR}{dT}\,\Delta T_н.$

Следовательно,

$$Q_2 = Q_{2_0} + \frac{E^2}{4R^2}\,\frac{dR}{dT}\,\Delta T_н,$$

где Q_{2_0}—теплота, выделяемая в управляемом элементе при отсутствии входного сигнала, которую можно исключить, применяя мостовую схему. Поэтому мы в дальнейшем Q_{2_0} не будет учитывать.

При изменении входного сигнала ($U_{вх}$) изменяется $\Delta T_н$, а следовательно, температура и сопротивление управляемого элемента. Это, в свою очередь, влияет на значение Q_2, а значит, и на значение $\Delta T_н$.

При учете изменения тепловой нагрузки (ΔQ_2) на термоэлементе и исключении Q_{2_0} получим:

$$\Delta T_н' = \frac{U_{вх}}{\alpha}\,\frac{zT}{1+zT} - \frac{\Delta Q_2}{\kappa(1+zT)}. \qquad (10)$$

Подставляя значение ΔQ_2 согласно (9) в (10), после простых преобразований получим:

$$\Delta T_н' = \frac{U_{вх}}{\alpha}\,\frac{zT}{1+zT}\left|1 + \frac{E^2}{4R^2}\,\frac{1}{\kappa}\,\frac{dR}{dT}\right. \qquad (11)$$

и, следовательно,

$$\beta = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{1}{\alpha}\,\frac{zT}{1+zT}\,\frac{E}{4k}\,\frac{dR}{dT}\left|1 + \frac{E^2}{4R^2}\,\frac{1}{\kappa}\,\frac{dR}{dT}\right.. \qquad (12)$$

Дифференцируя выражение (12) для β по E, находим оптимальное значение

$$E_{опт} = \sqrt{\frac{4\kappa R^2}{\frac{dR}{dT}}}$$

и максимальное значение коэффициента усиления ТПИ по напряжению

$$\beta_{max} = \frac{1}{\alpha}\,\frac{zT}{1+zT}\cdot\frac{\sqrt{\kappa}}{2}\left(\frac{dR}{dT}\right)^{1/2}.$$

Приведенные выше расчеты учитывались при создании ТПИ различных назначений.

Литература

1. *Агеев Ю. И., Билялов А. Э., Стильбанс Л. С., Шер Э. М.* — Письма в ЖТФ, 1981, т. 7, вып. 17, с. 1058—1061.

Сектор радиационных исследований
АН АзССР

Поступило 4. VII 1986

М. М. Әкбәров

ТЕРМОЕЛЕКТРИК МӘ'ЛУМАТ ЧЕВИРИЧИЛӘРИНДӘ ИСТИЛИК ЈҮКҮНҮН НӘЗӘРӘ АЛЫНМАСЫ

Мәгаләдә Пелтје еффекти илә идарә олунан мә'лумат чевиричиләриндә истилик јүкүнүн нәзәрә алынмасына вә белә чиһазларда кириш сигналы илә әлагәси олмаjан чыхышда алынан паразит сигналларын арадан галдырылмасы јолларына һәср олунмушдур.

M. M. Akperov

ON THE RECORD OF THERMAL LOAD IN THERMAL INFORMATION CONVERTERS

The possibility of recording thermal load in thermal information converters is discussed. Parasitic signals independent of the input signal are shown to appear at the output of thermal information converters.

To eliminate the parasitic signals the bridge network is suggested.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 539. 143. 43.

ФИЗИКА МАГНИТНЫХ ЯВЛЕНИЙ

М. Н. АЛИЕВ

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ПАРАМАГНИТНОГО РЕЗОНАНСА В ПОЛУМАГНИТНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКАХ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Н. А. Гулиевым)

Полумагнитные полупроводники (ПМП), известными представителями которых являются тройные соединения $Hg_{1-x}Mn_xTe$ и $Hg_{1-x}Mn_xSe$, благодаря своим необычным полупроводниковым и магнитным свойствам стали в последнее время объектом многочисленных работ [1].

Неупорядоченность магнитной подсистемы и сильное обменное взаимодействие между электронами проводимости и локализованными спинами до настоящего времени затрудняют создание корректной физической модели ПМП. Изучение различных аспектов ЭПР в ПМП, видимо, может сыграть решающую роль в преодолении возникающих принципиальных трудностей [2]. Особенно информативными и легко наблюдаемыми величинами в ЭПР являются сдвиг и ширина линии.

Целью настоящей статьи является вычисление методом аналитических функций Грина (ФГ) ширины и сдвига линии ЭПР в ПМП при низких температурах. Ширина и сдвиг линии ЭПР согласно теории ФГ [3] отыскиваются как мнимая и реальная части массового оператора $M(E)$ соответствующей спиновой ФГ:

$$\langle\langle S_e^+(t)|S_{e'}^-(t')\rangle\rangle = i\theta(t-t')<[S_e^+(t),\ S_{e'}^-(t')]>.$$

Здесь $S^{\pm}$—операторы локализованных спинов, $\theta(t-t')$—разрывная функция. Для отыскания $M(E)$ записываем уравнение движения (УД) ФГ:

$$E\langle\langle S_e^+|S_{e'}^-\rangle\rangle = -\delta_{ee'} + \langle\langle[S_e^+,\ H]|S_{e'}^-\rangle\rangle. \quad (1)$$

Для УД (1) требует явного вида гамильтониана системы H. Для ПМП H имеет следующий вид: $H = H_0 + H_{int}$;

$$H_0 = \sum_{k\sigma} E_{k\sigma} b_{k\sigma}^+ b_{k\sigma} - h\omega_e \sum_j S_z(r_j) - h\omega_s \sum_j S_j^z;$$

$$H_{int} = -\sum_j I(R_j - r_j)\left\{S_j^z S^z(r_j) + \frac{1}{2}[S_j^- S^+(r_j) + S_j^+ S^-(r_j)]\right\} -$$

$$-\sum_j\sum_{j'}\left[A_{jj'} S_j^z S_{j'}^z + \frac{1}{2} B_{jj'}(S_j^+ S_{j'}^- + S_j^- S_{j'}^+)\right]; \quad (2)$$

$$A_{jj'} = J_{jj'} + A_{jj'}^{DD};\quad B_{jj'} = J_{jj'} + B_{jj'}^{DD}.$$

Здесь H_0—гамильтониан невзаимодействующих электронов проводимости и локализованных спинов, H_{int}—их гамильтониан обменного

и диполь-дипольного взаимодействия, I, J—обменные интегралы, ω_e, ω_s—зеемановы частоты, $S^{\pm}(v)$, $S^z(v)$—спиновые операторы электронов проводимости, $A_{jj'}^{DD}$, $B_{jj'}^{DD}$—диполь-дипольные коэффициенты.

УД для начальной ФГ находим, учитывая (2) в (1):

$$(E - \omega_s - M)\langle\langle S_e^+|S_{e'}^-\rangle\rangle = -\delta_{ee'}, \quad (3)$$

где

$$M(E) = M_{ex} + M_{ss} = \left\{\frac{1}{h} I(R_e - r_e)[\langle\langle S_e^+ S^z(r_e)|S_{e'}^-\rangle\rangle -\right.$$

$$-\langle\langle S_e^z S^+(r_e)|S_{e'}^-\rangle\rangle] + \frac{2}{h}\sum_j [A_{je}\langle\langle S_e^+ S_j^z|S_{e'}^-\rangle\rangle -$$

$$\left. - B_{je}\langle\langle S_e^z S_j^+|S_{e'}^-\rangle\rangle]\right\} G^{-1}. \quad (4)$$

M состоит из массовых операторов M_{ex} и M_{ss}, обусловленных электрон-локализованный спин, спин-спин обменным и диполь-дипольными взаимодействиями. M легко вычисляется, если использовать приближение случайных фаз (ПСФ) типа $\langle\langle S_e^+ S^z(v_e|S_{e'}^-\rangle\rangle \sim <S^z(v)> \times\langle\langle S_e^+|S_{e'}^-\rangle\rangle$. Мы предполагаем, что ПСФ является недостаточно корректным, и будем в данной статье пользоваться методом нестандартной теории возмущения для ФГ [4].

Дифференцируя ФГ, стоящие справа в (4), по t' и оставляя ненулевые в данном приближении ФГ, находим:

$$-(E - \omega_s)\langle\langle S_e^+ S^z(r)|S_{e'}^-\rangle\rangle = <S^z(v)>\delta_{ee'} -$$

$$\frac{1}{h} I(R_e - S_e)\langle\langle S_e^+ S^z(r_e)|S_{e'}^- S^z(r_{e'})\rangle\rangle - \frac{2}{h}\sum_j A_{je'}\langle\langle S_e^+ S^z(r_e)|S_j^z S_{e'}^-\rangle\rangle, \quad (5)$$

$$-(E - \omega_s)\langle\langle S_e^z S^+(v)|S_{e'}^-\rangle\rangle = \frac{1}{h} I(R_e - r_e)\langle\langle S_e^z S^+(v)|S_{e'}^z S^-(v)\rangle\rangle, \quad (6)$$

$$-(E - \omega_s)\langle\langle S_e^+ S_j^z|S_{e'}^-\rangle\rangle = \delta_{ee'}<S_j^z> -$$

$$-\frac{1}{h} I(R_e - r_e)\langle\langle S_e^+ S_j^z|S_{e'}^- S^z(v_{e'})\rangle\rangle - \frac{2}{h}\sum_{j'} A_{j'e'}\langle\langle S_e^+ S_j^z|S_{j'}^z S_{e'}^-\rangle\rangle, \quad (7)$$

$$-(E - \omega_s)\langle\langle S_e^z S_j^+|S_{e'}^-\rangle\rangle = \frac{2}{h}\sum_{j'} B_{j'e'}\langle\langle S_e^z S_j^+|S_{j'}^- S_{e'}^z\rangle\rangle. \quad (8)$$

Найденные ссотношения показывают, что наша задача свелась к отысканию ФГ более высокого порядка, чем начальная. Вводим поляризационные операторы $P = P_{ex} + P_{ss}$ и составляя УД, находим:

$$\langle\langle S_e^+ S^z(v)|S_e^- S^z(v_{e'})\rangle\rangle = -\delta_{ee'}<S^z(v_e)S^z(v_{e'})>(E - \omega_s - P)^{-1}, \quad (9)$$

$$\langle\langle S_e^+ S^z(r_e)|S_j^z S_{e'}^-\rangle\rangle = -\delta_{ee'}<S^z(v_e)S_j^z>(E - \omega_s - P_1)^{-1}, \quad (10)$$

$$\langle\langle S_e^z S^+ v_{(e)}|S_{e'}^z(v_{e'})\rangle\rangle = -\delta_{ee'}<(S_e^z)^2>(E - \varepsilon(q) - \omega_e - P_2)^{-1}, \quad (11)$$

$$\langle\langle S_e^+ S_j^z|S_{e'}^- S^z(v_{e'})\rangle\rangle = -\delta_{ee'}<S_j^z S^z(v)>(E - \omega_s - P_3)^{-1}, \quad (12)$$

$$\langle\langle S_e^+ S_j^z|S_{j'}^z S_{e'}^z\rangle\rangle = -\delta_{ee'}<S_j^z S_{j'}^z>(E - \omega_s - P_4)^{-1}, \quad (13)$$

$$\langle\langle S_e^z S_j^+|S_{j'}^- S_{e'}^z\rangle\rangle = -\delta_{jj'}<S_e^z S_{e'}^z>(E - \omega_s - P_5)^{-1}. \quad (14)$$

Поляризационные операторы (ПО) P могут быть найдены из сравнения уравнений (9—14) и соответствующих УД. ПО возможно оценить также, используя экспериментальные данные. Отыскание явного вида P имеет самостоятельный интерес и является отдельной задачей.

Массовый оператор $M(E)$ находим, подставив (9—4) в (4):

$$M(E) - \Delta_1 + \frac{1}{h^2} I^2(R_e - r_e) \left[<(S^z(v))^2> (\Omega + i\gamma)^{-1} + \right.$$
$$+ <(S_e^z)^2> (\Omega_2 + i\gamma_2)^{-1} \Big] + \frac{2}{h^2} \sum_{j'} A_{je}^{'} I(R_e - r_e) \left[(\Omega_1 + i\gamma_1)^{-1} + \right.$$
$$+ (\Omega_3 + i\gamma_3)^{-1} \Big] <S^z(v) S_j^z> + \frac{4}{h^2} \sum_j \sum_{j'} \left[A_{je} A_{je}^{'} <S_j^z S_{j'}^z> (\Omega_4 + i\gamma_4)^{-1} + \right.$$
$$\left. + B_{je} B_{je}^{'} \times <(S_e^z)^2> (\Omega_5 + i\gamma_5)^{-1} \right] \tag{15}$$

Введены следующие обозначения:

$$\Delta_1 = \frac{1}{h} I(R_e - r_e) <S^z(v_e)> + \frac{2}{h} \sum_j A_{je}^{'} <S_j^z>; \quad \Omega = \omega_1 - \lambda;$$
$$\omega_1 = \omega - \omega_s; \quad \lambda = R_e P(\omega); \quad \gamma = I_m P(\omega); \quad \Omega_2 = \omega_2 - \lambda_2;$$
$$\omega_2 = \omega - \varepsilon(q) - \omega_e; \quad \Omega_3 = \omega_1 - \lambda_3; \quad \Omega_4 = \omega_1 - \lambda_4; \quad \Omega_5 = \omega_1 - \lambda_5.$$

Здесь γ описывает вероятность перехода локализованкого спина, λ— поправка к энергии системы.

Имея явный вид $M(E)$, нетрудно найти сдвиг Δ и ширину δ ЭПР в ПМП при низких температурах:

$$\Delta = \Delta_1 + \frac{I^2}{h^2} \left[<(S^z(v))^2 < \Omega(\Omega^2 + \gamma^2)^{-1} + <(S_e^z)^2> \Omega_2(\Omega_2^2 + \gamma^{-1}]_2^2 + \right.$$
$$+ \frac{2}{h} \sum_{j'} A_{je'} I(R_e - r_e) \left[\Omega_1(\Omega_1^2 + \gamma_1^2)^{-1} + \Omega_3(\Omega_3^2 + \gamma_3^2)^{-1} \right] <S^z(v) S_{j'}^z> +$$
$$+ \frac{4}{h^2} \sum_j \sum_{j'} \left[A_{je} A_{j'e} <S_j^z S_{j'}^z> \Omega_4(\Omega_4^2 + \gamma_4^2)^{-1} + \right.$$
$$\left. + B_{je}^2 \Omega_5(\Omega_5^2 + \gamma_5^2)^{-1} <(S_e^z)^2> \right]; \tag{16}$$

$$\delta = \frac{I^2}{h^2} \left[\gamma <(S^z(v))^2> (\Omega^2 + \gamma^2)^{-1} + \gamma_2 <(S_e^z)^2> (\Omega_2^2 + \gamma_2^2)^{-1} \right] +$$
$$+ \frac{2}{h} \sum_{j'} A_{j'e} I(R_e - r_e) <S^z(v) S_{j'}^z> \left[\gamma_1(\Omega_1^2 + \gamma_1^2)^{-1} + \gamma_3(\Omega_3^2 + \gamma_3^2)^{-1} \right] +$$
$$+ \frac{4}{h^2} \sum_j \sum_{j'} \left[A_{je} A_{j'e} <S_j^z S_{j'}^z> \gamma_4(\Omega_4^2 + \Omega_4^2)^{-1} + \right.$$
$$\left. + B_{je}^2 <(S_e^z)^2> \gamma_5(\Omega_5^2 + \gamma_5^2)^{-1} \right]. \tag{17}$$

Найденные выражения (16) и (17) показывают, что в ширину и сдвиг линии вносят свой вклад обменное и спин-спиновое взаимодействия. Наряду с отдельными вкладами этих взаимодействий имеется также и их интерференционный вклад. Рассмотрим интересные с точки зрения эксперимента частные случаи малых концентраций парамагнитных ионов ($I \gg A$) и быстрых флуктуаций локального магнитного поля ($\gamma \gg I$), $S(v) = S = \frac{1}{2}$. Для данного случая смещение резонансной частоты не происходит: $\Delta = 0$. Ширина линии имеет следующий вид:

$$\delta = \frac{1}{4} \frac{I^2}{\gamma_{ex}}. \tag{18}$$

Соотношение (18) дает возможность оценки величины I. Измерив ширину линии ЭПР δ и вычислив γ_{ex}, легко найти величину обменного интеграла I.

При медленных флуктуациях локального поля ($\gamma \ll I$) для сдвига линии имеем:

$$\Delta_м = \frac{1}{h} I(R - r) <S^z(v)>. \tag{19}$$

Для оценки обменного интеграла I соотношение (19) является наиболее простым и удобным, так как сдвиг линии $\Delta_м$ легко измеряется. Ширина линии при медленных флуктуациях получается в виде

$$\delta_м = \frac{\gamma_{ex}}{2}. \tag{20}$$

Уширение линии происходит в данном случае из-за переориентации локализованных спинов, обусловленных обменным взаимодействием с электронами проводимости.

Литература

1. *Ляпилин И. И., Цидилковский И. М.* Узкощелевые полумагнитные полупроводники.—УФН, 1985, 146, В/№ 5, с. 35. 2. *Furdyna J. K.*—J. Appl. Phys., 1982, 53, 7637. 3. *Тябликов С. В.* Методы квантовой теории магнетизма.—М.: Наука, 1965. 4. *Алиев М. Н.* Нестандартная теория возмущения для функций Грина.—Изв. вузов. Физика, 1978, 8, с. 126.

АГУ им. С. М. Кирова *Поступило 26. VI 1986*

М. Н. Әлијев

ЈАРЫММАГНИТ ЈАРЫМКЕЧИРИЧИЛӘРДӘ ЕЛЕКТРОН ПАРАМАГНИТ РЕЗОНАНСЫНЫН НӘЗӘРИЈЈӘСИ

Мәгаләдә Грин функсијасы методу илә Јарыммагнит јарымкечиричиләрдә електрон парамагнит резонансы әјрисинин ашағы температурларда кечиричи електронларын локаллашмыш спинләрлә мүбадилә вә спин-спин гаршылыглы тә'сири һесабына јаранмыш ени вә сүрүшмәси һесабланмышдыр.

M. N. Aliev

THEORY OF THE ELECTRON PARAMAGNETIC RESONANCE IN SEMIMAGNETIC SEMICONDUCTORS

The EFR linewidth and lineshift in semimagnetic semiconductors at low temperatures were found using Green's function method. Contributions to the linewidth and lineshift due to the exchange interaction and spin-spin interaction of the localized spins and conduction electrons were calculated.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 523.947

АСТРОФИЗИКА

Н. С. ДЖАЛИЛОВ, К. А. РУСТАМОВ

МАГНИТОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ В СИЛЬНО НЕОДНОРОДНОЙ АТМОСФЕРЕ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Г. Ф. Султановым)

Современная теория магнитогидродинамических (МГД) волн с учетом влияния на их характеристики силы тяжести газа основывается на точных аналитических решениях уравнений, которые удается получить для случая изотермической атмосферы. Решения уравнения для МГД-волн в изометрической атмосфере для случая вертикального поля получены в [1], а случай наклонного поля исследован в [2, 3, 4]. Случай МГД-волн, бегущих вдоль горизонтального магнитного поля в изометрической атмосфере, впервые и наиболее полно рассмотрен Бренгаузом [5]. Им показано, что в атмосфере возникает сингулярный уровень, в котором волны сильно поглощаются.

Рассмотрение общего случая горизонтального поля затрудняется тем, что в атмосфере возникают два сингулярных уровня, на которых происходит поглощение волн (общий случай в том смысле, что волны могут распространяться под любым углом относительно магнитного поля). В сущности поглощение волн на сингулярном уровне является трансформацией в волны, которые распространяются в горизонтальном направлении вдоль этого уровня.

В [6] получено точное аналитическое решение волнового уравнения, описывающего распространения волн поперек горизонтального магнитного поля. Эти результаты используются для объяснения захвата низкочастотных волн в хромосферном резонаторе.

В данной статье рассматривается распространение МГД-волн в экспоненциальной сжимаемой атмосфере в присутствии горизонтального магнитного поля. Полагается, что в верхних слоях атмосферы существует холодный или горячий слой газа с определенной толщиной, с которого волны могут эффективно отражаться. Найдены энергетические коэффициенты прохождения и отражения волн. Полученные результаты применяются для объяснения некоторых свойств солнечных протуберанцев.

Уравнение и его решение. Уравнение малых колебаний неоднородной проводящей сжимаемой плазмы, находящейся в поле тяжести $g=[0, 0, g]$ и однородном внешнем горизонтальном магнитном поле $B=[B, 0, 0]$, является частным случаем уравнения, которое было выведено в [7]:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}=c_0^2\nabla(\mathrm{div}\ V+g\cdot V)+(\gamma-1)\,g\ \mathrm{div}\ V-v_A^2\, i\times \mathrm{rot}\,\mathrm{rot}\,(V\times i), \quad (1)$$

где V—скорость движения плазмы, c_0—адиабатическая скорость звука $v_A=\frac{B}{\sqrt{4\pi\rho_0}}$—альвеновская скорость, $\rho_0(z)=\rho_{00}\exp\frac{z}{H}$ — невозмущенная плотность атмосферы, $H=c_0^2/\gamma g$ — высота однородной атмосферы, γ—отношения теплоемкостей, i—единичный вектор в направлении магнитного поля. Для волн, распространяющихся в изотермической атмосфере ($c_0=\mathrm{const}$) в направлении поперек магнитного поля ($\kappa_x=0$, $\kappa_y\neq 0$, $\kappa=(\kappa_x^2+\kappa_y^2)^{1/2}$ — горизонтальное волновое число), уравнение (1) сводится к виду:

$$\left[\prod_{j=1}^{2}(\delta-b_j)+\xi\prod_{j=1}^{2}(\delta-a_j+1)\right]u=0, \quad (2)$$

где $\xi=c_0^2/v_A^2$ — безразмерная независимая переменная, оператор $\delta=\xi\frac{d}{d\xi}$, u—амплитуда дивергенции скорости ($\mathrm{div}\ V=u(z)\exp i\times$ $\times(\omega t+\kappa_y y)$),

$$a_{1,2}=1\pm i\alpha)/2, \qquad b_{1,2}=(1\pm i\beta)/2,$$

$$\alpha^2=\frac{4}{\gamma}\Omega^2-1+4\kappa^2\left(\frac{\gamma-1}{\gamma\Omega^2}-1\right), \qquad \beta^2=4\kappa^2\left(\frac{1}{\Omega^2}-1\right),$$

$\Omega=\omega c_0/\sqrt{\gamma g}$—безразмерная частота, $\kappa=\kappa_y H$—безразмерное волновое число. Фундаментальное решение этого уравнения выражается через функции Мейера [8]:

$$u=C_1G_{2,2}^{1,2}\left(\begin{matrix}a_1, a_2\\ b_1, b_2\end{matrix}\middle\|\,\xi\right)+C_2G_{2,2}^{1,2}\left(\begin{matrix}a_1, a_2\\ b_2, b_1\end{matrix}\middle\|\,\xi\right), \quad (3)$$

где $C_{1,2}$—произвольные постоянные. Анализ этого решения показывает, что квазиклассическое приближение для распространения волн реализуется при $\xi\gg 1$ ($c_0^2\gg v_A^2$) и $\xi\ll 1$ ($c_0^2\ll v_A^2$). При этих значениях переменной ξ решение (3) с достаточной степенью точности выражается приближенными формулами:

$$u\simeq\xi^{-1/2}\left(C_1\xi^{i\alpha/2}+C_2\xi^{-i\alpha/2}\right), \qquad \xi\gg 1,$$
$$u\cong\xi^{1/2}\left(C_1\xi^{i\beta/2}+C_2\xi^{-i\beta/2}\right) \qquad \xi\ll 1. \quad (4)$$

Из (4) следует, что в глубоких слоях атмосферы, где выполняется условие слабого поля $c_0^2\gg v_A^2$, вертикальная компонента волнового вектора равна:

$$K_z^2=\frac{\alpha^2}{4H^2}=\frac{\omega^2}{c_0^2}-\frac{1}{4H^2}+\kappa_y^2 g^2\frac{\gamma-1}{c_0^2\omega^2}-\kappa_y^2. \quad (5)$$

Это обычное дисперсионное уравнение для атмосферных волн изотермической атмосфере без магнитного поля. Таким образом, в слоях, где $c_0^2\gg v_A^2$, магнитное поле в первом приближении не влияет на распространение волн.

Из второго выражения в (4) следует, что дисперсионное уравнение для волн в верхних слоях атмосферы, где выполняется условие сильного магнитного поля $v_A^2\gg c_0^2$, имеет вид:

$$K_z^2=\frac{\gamma\kappa_y^2 g^2}{c_0^2\omega^2}-\kappa_y^2-\frac{1}{4H_2}. \quad (6)$$

Очевидно, что дисперсионное уравнение (6) получается из уравнения (5) предельным переходом $\gamma \to \infty$. Сильное магнитное поле делает проводящую плазму несжимаемой, т. е. в процессе колебаний плотность плазмы в лагранжевых переменных не меняется. Естественно, что в несжимаемой среде акустические волны отсутствуют. В случае дисперсионного уравнения (6) это выражается в том, что волны с частотой, большей

$$\omega = \left[\frac{\sqrt{\gamma}\, \kappa_y^2 g^2}{c_0^2 (\kappa_y^2 + H^2/4)} \right]^{1/2} \tag{7}$$

являются поверхностными. Волны с частотой, меньшей (7), являются гравитационными волнами.

Распространения волн. В предыдущем разделе было получено, что атмосферные волны (акустические, гравитационные, поверхностные), которые возникают в областях $c_0^2 \gg v_A^2$, трансформируются в бегущие несжимаемые гравитационные волны в сильном магнитном поле. Уровень трансформации соответствует уровню, где $v_A \simeq c_0$. Будем предполагать, что выше этого уровня в атмосфере существует слой газа с толщиной l, температурой T, которая резко отличается от температуры окружающей атмосферы T_1. Волны на пути своего распространения встречаются с этим слоем и из-за резкого изменения температуры среды в верхней и нижней границах слоя происходит отражение волн. Таким образом, рассматриваемый слой является волноводом для несжимаемых гравитационных волн.

Основная наша цель — найти энергетические коэффициенты прохождения и отражения волн от этого слоя.

Как известно из [9], граничные условия на резкой границе, вдоль которой расположено магнитное поле, имеют вид:

$$\{\operatorname{div} v\} = 0, \qquad \left\{ \frac{\partial v_z}{\partial z} \right\} = 0. \tag{8}$$

Знак $\{y\}$ означает разницу y по обеим сторонам границы. Далее полагаем, что сверху на слое отсутствует падающая волна, т. е. в слоях, где $\xi \to 0$, отсутствует источник колебания.

Из исходных уравнений магнитной гидродинамики легко можно найти, что, когда волны распространяются поперек магнитного поля; $V_x = 0$,

$$\delta V_z = \frac{1}{\xi} \frac{\gamma}{\Omega^4 - \kappa^2} (\kappa^2 - \Omega^2 \delta)(\delta - 1)\, u. \tag{9}$$

Совместимость условий (8) однозначно определяет амплитуды волн, отраженных от нижней границы и уходящих от верхней границы слоя. Выполняя довольно громоздкие промежуточные вычисления, находим энергетические коэффициенты прохождения Q и отражения R несжимаемых гравитационных волн от слоя с толщиной l и с температурой T:

$$Q = \frac{\varkappa^2 \beta_1^2 \beta^2}{\operatorname{ch} \nu \cos^2(\beta\theta)} \frac{1}{P_1^2 + P_2^2}, \tag{10}$$

$$R = 1 - Q.$$

Здесь

$$P_1 = \beta (2\Omega^2 - \varkappa) \operatorname{th} \nu + [(\varkappa - 1)(2\Omega^2 \operatorname{th} \nu - \varkappa +$$

$$+ \frac{2\kappa^2}{\Omega^2} \frac{e^{-\nu}}{\operatorname{ch} \nu}) - \varkappa^2 \beta_1^2] \operatorname{tg}(\beta\theta),$$

$$P_2 = \varkappa \beta_1 [\beta + (2\Omega^2 - 1] \operatorname{th} \nu \operatorname{tg}(\beta\theta)],$$

$$\theta = \frac{l}{2H}, \quad \nu = \theta (1 - \varkappa), \quad \varkappa = \frac{T}{T_1} \text{— отношение температур},$$

$$\beta_1^2 = \frac{4\kappa^2}{(\varkappa\vartheta)^2} (\varkappa - \Omega^2) - 1.$$

Из (10) следует, что, когда отсутствует в атмосфере температурная структура ($\varkappa - 1$), $Q \to 1$, т. е. отражение волн не имеет места.

На рис. 1 показана зависимость коэффициента прохождения волн Q от κ при данной частоте $\Omega = 0{,}05$. Видно, что слой в атмосфере, который имеет температуру, отличную от температуры окружающей среды, при падении на него волн действует как волновод. Появляются выделенные частоты и длины волн, при которых в результате эффекта резонанса усиливается проходимость волн.

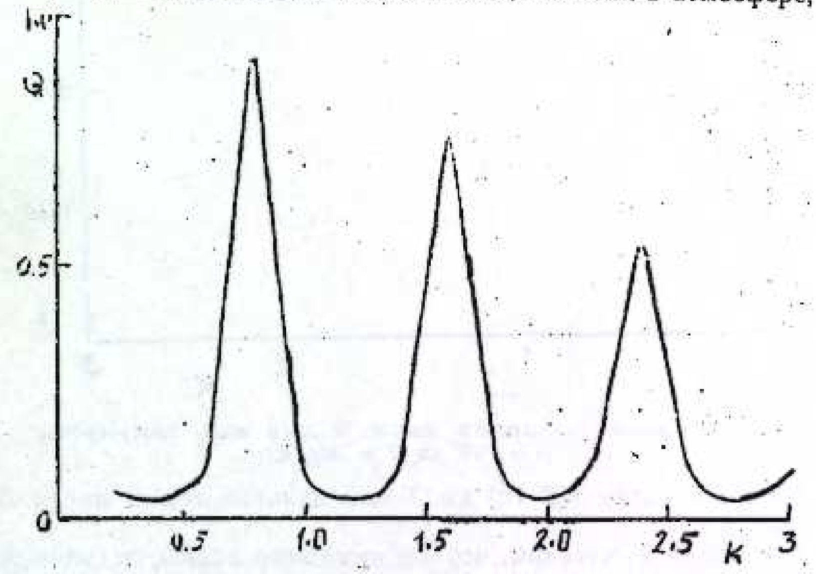


Рис. 1. Зависимость энергетического коэффициента прохождения несжимаемых гравитационных волн Q от волнового числа κ

Волны в солнечных протуберанцах. Солнечный протуберанец представляет собой огромный слой из плотной холодной плазмы, окруженный более горячим и разреженным корональным веществом. Средняя температура протуберанца равна 7000 K, а высота его $l = 5 \cdot 10^4$ км [10]. Внутри протуберанца существует множество тонкоструктурных элементов в виде нитей толщиной $\leqslant 300$ км. Окружающая корона имеет температуру $\sim 10^6$ K.

Как известно из [11], вся атмосфера Солнца охвачена колебаниями с периодом около 5 мин. Естественно ожидать такие колебания и в протуберанцах. На рис. 1 $\theta = 0{,}1$, $\varkappa = 0{,}01$ и $\Omega = 0{,}05$. Это означает, что тонкоструктурные элементы протуберанца колеблются с довольно низкой частотой. Резонансные частоты и волновые числа, которые указаны на рис. 1, возникают за счет члена $\cos(\beta\theta)$ в (10), т. е.

должны удовлетворять условию $\beta\theta = \frac{\pi}{2}(2n+1)$, где $n = 0, 1, 2 \ldots$

Отсюда находим условия для резонансных частот. На рис. 2 изображена кривая зависимости резонансных периодов от горизонтальной длины волн. В протуберанце существуют волны с периодом 5 мин и с горизон-

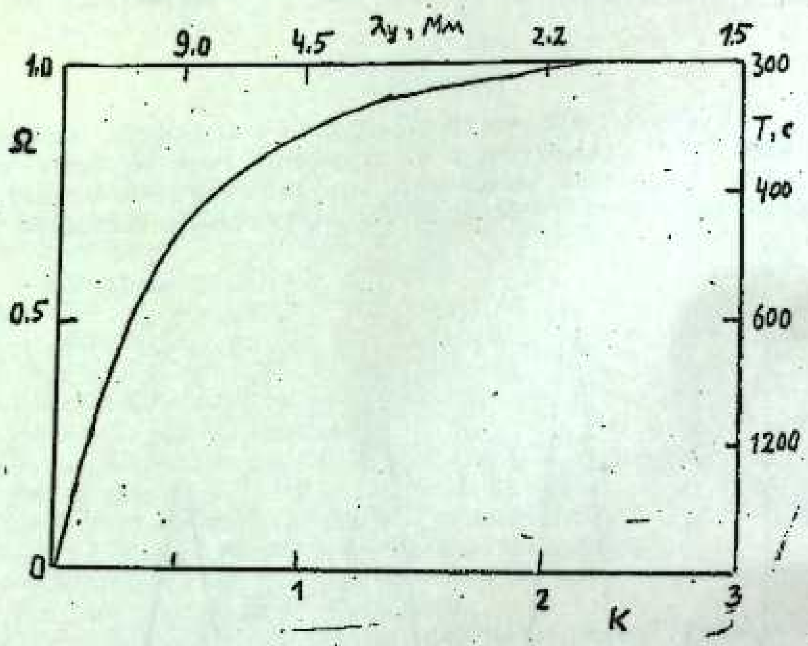


Рис. 2. Кривая резонансных частот и длин волн протуберанца ($l = 5 \cdot 10^4$ км, $T = 7000$ K)

тальной длиной волны $\leqslant 2 \cdot 10^3$ км. Более длинные волны имеют более низкие частоты.

Таким образом, находим, что несжимаемые волны, находящиеся в сильном горизонтальном магнитном поле протуберанца, оборачиваются с периодом $\geqslant 5$ мин.

Литература

1. *Жугжда Ю. Д., Джалилов Н. С.*—Физика плазмы, 1982, 8, 990. 2. *Zhygzhda Y. D. and Dzhalilov N. S.*—Astron. Astrophys., 1984, 132, 45. 3. *Zhugzhda Y. D. and Dzhalilov N. S.*—Astron. Astrophys., 1984, 132, 52. 4. *Жугжда Ю. Д., Джалилов Н. С.*—Физика плазмы, 1983, 11, 1006. 5. *Бренгауз В. Д.*—Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа, 1970, 1, 3. 6. *Жугжда Ю. Д., Джалилов Н. С.*—Письма в АЖ, 1985, 11, 712. 7. *Сыроватский С. И., Жугжда Ю. Д.*—Аж, 1967, 44, 1180. 8. *Люк Ю.* Специальные математические функции и их аппроксимация.—М.: Мир, 1980. 9. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.* Электродинамика сплошных сред.—М.: Наука, 1982. 10. *Прист Э. Р.* Солнечная магнитогидродинамика.—М.: Мир, 1985. 11. *Deubner F. L., Ulrich R. K. and Rhodes E. J.*—Astron. Astrophys., 1979, 72, 177.

Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР

Поступило 1. VIII 1986

Н. С. Чәлилов, Ҝ. Ә. Рустәмов

ҺОРИЗОНТАЛ МАГНИТ САҺӘЛИ КҮЧЛҮ ГЕЈРИ-БИРЧИНС АТМОСФЕРДӘ МАГНИТ-ҺИДРОДИНАМИК ДАЛҒАЛАР

Мәгаләдә МНД-далғаларынын магнитләнмиш изотермик атмосфердә јајылмасы тәдгиг олунур. Тапылан аналитик һәлл магнитгравитасија далғаларынын температуру

әтраф мүһитин температурундан кәскин фәргләнән газ лајындан енержи сындырма вә кечмә әмсалларыны тапмаға имкан верир. Гурулан нәзәри модел күнәш протуберанс-ларында периоду 5 дәг. олан далғаларын әмәлә кәлмәсини изаһ един.

N. S. Dzhalilov, K. A. Rustamov

MAGNETOHYDRODYNAMICAL WAVES IN GREATLY NONHOMOGENEOUS ATMOSPHERE WITH HORIZONTAL MAGNETIC FIELD

Magnetohydrodynamical wave distribution is considered in isothermal atmosphere at the presence of horizontal magnetic field. Analytical solution received allows to determine energetic passage and reflection coefficients of magnetogravitational waves from the gaseous layer, the temperature of which sharply differs from the surrounding temperature. The design of theoretical model explains the existence of oscillations in solar prominence within the periods of $\geqslant 5$ min.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 541:64+547.567.5

ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Г. Г. ГАДЖИЕВ, Ф. Х. КАСУМОВ, М. А. СЕИИДОВ, А. В. РАГИМОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ОЛИГОАНИЛИНА

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

С 30-х годов прошлого века структурная особенность высокомолекулярных соединений анилина, полученных при его окислении, является предметом исследования различных ученых [1—4]. Данное обстоятельство, прежде всего, было связано с широкомасштабным применением этих соединений, в частности, „анилинового черного" в качестве высокоэффективного красителя в текстильной промышленности [5]. В связи с требованиями текстильной промышленности в процессе окрашивания анилин подвергался глубокому окислению в присутствии сильных неорганических окислителей, с тем чтобы получить прочносвязанный с волокном и глубокоокрашенный полимерный продукт. Сильные окислители обычно приводят к образованию нерастворимых и неплавких полимеров с преобладающими *п*-хинондииминными звеньями—N==N—, которые характеризуются высокими термо-, химо-и растворителестойкостями. Это осложняло изучение их структуры.

С появлением в последнее 25-летие новых областей применения поли- и олигоанилинов в качестве полупроводников [6], полимерных электродов [7, 8] и отвердителей эпоксидных смол [9] возникла настоятельная необходимость в получении растворимых и плавких олигофениленаминов. Наши усилия в этом направлении позволили с применением умеренных окислителей разработать новый метод синтеза [10] плавкого и растворимого олигоанилина.

Настоящая статья посвящена изучению и установлению структуры олигоанилина, полученного в присутствии гипохлорита натрия при следующих условиях: анилин: NaOCl=1:3 моль, 30%-ный водный раствор NaOCl, T — 80°C, время — 5 ч. Полученный олигоанилин представляет собой черное плавкое (70 °C) и твердое вещество, растворяющее в полярных (ацетон, диоксан, ТГФ, ДМФ и т. д.) и неполярных (ароматические и хлоруглеводороды) растворителях.

Олигоанилин характеризуется низкими ММ ($\overline{M}_w$=580, $\overline{M}_n$ = 350) и полидисперсностью ($\overline{M}_w/\overline{M}_n$ = 1,65), а по элементному составу (С—77,8; N—14,8%) близок к анилину (с—79,1; N—15,4%).

Электронный спектр олигоанилина, снятый из разбавленных диоксановых растворов на спектрометре «Спекорд», указывает на поглощение УФ-света в широкой области 250—350 нм. На нем проявляется два максимума при 270 (слабый) и 290 нм (сильный). Полоса поглощения при 290 нм вызвана фениленовыми ядрами олигоанилина. Если в спектре анилина данный пик благодаря участию неспаренных электронных пар азота в резонансе ароматической системы смещен на 25 нм по сравнению с аналогичной полосой бензольного ядра, то в спектре олигоанилина батахромный сдвиг данной полосы поглощения составляет 35 нм. Это, очевидно, обусловлено системой полисопряжения макромолекул олигоанилина, в которой участвуют и атомы азота.

Направленность реакции окислительной поликонденсации анилина, а также известные данные о структуре анилинового черного позволили нам предположить, что макромолекулы олигоанилина должны быть построены из структурных фрагментов анилина и дифениламина. Поэтому для идентификации структуры олигоанилина в качестве исходной точки мы решили использовать ИК-спектры анилина, дифениламина (ДФА) и их смесей. Спектр анилина в четыреххлористом углероде отличается от спектра чистого анилина четкими и более строгими расщеплениями близко стоящих полос поглощения колебаний первичных аминных групп при 3365 и 3450, 1500 и 1465 см$^{-1}$, а также колебаний гипсохромное смещение полосы поглощения анилина в области 3365 см$^{-1}$ ароматических СН-групп при 3030—3100 см$^{-1}$. При этом наблюдаются гипсохромное смещение полосы поглощения анилина в области 3365 см$^{-1}$ на 10—15 см$^{-1}$ в растворе четыреххлористого углерода и увеличение интенсивности полосы поглощения аминных групп (1620 см$^{-1}$) и ароматических ядер (1600 см$^{-1}$). В ИК-спектре анилина в CCl_4 отсутствует полоса при 1400см$^{-1}$, что указывает на ее примесное происхождение. Наблюдаемые изменения в ИК-спектрах анилина в растворе CCl_4, несомненно, обусловлены нарушением межмолекулярных взаимодействий.

В спектре ДФА в четыреххлористом углероде проявляются полосы поглощения валентных колебаний вторичных аминных групп при 3445 см$^{-1}$ и C—N- связей при 1315 см$^{-1}$.

Полоса поглощения симметричных колебаний аминных групп при 3410 см$^{-1}$ в смеси анилина и ДФА (рис. 1) смещена на 30 см$^{-1}$ в сторону высоких волн по сравнению со спектром анилина. Колебания NH-групп ДФА при 3440 см$^{-1}$ заметно слабее полосы аминных групп в этой области. Полоса поглощения антисимметричных колебаний первичных аминных групп появляется при 3440 см$^{-1}$ в виде плеча у полосы поглощения в области 3480 см$^{-1}$. Такая же картина характерна для полос поглощения деформационных колебаний NH_2-групп при 1620 см$^{-1}$ и валентных колебаний C—N-связей при 1280 см$^{-1}$. В спектре смеси анилина и избытка ДФА полоса поглощения C—N-связей вторичных аминов проявляется в виде интенсивной полосы в области 1315 см$^{-1}$.

С увеличением количества ДФА в смеси с анилином от 2 до 5 молей в ИК-спектре возрастает интенсивность полосы поглощения NH-групп при 1315 и 3440 см$^{-1}$. Напротив, уменьшаются интенсивности полос поглощения первичных аминных групп при 1280, 1620 и 3480 см$^{-1}$.

ИК-спектр олигоанилина, снятый из раствора в CCl_4, по характеру месторасположения и интенсивности полос поглощения сходится со спектром смесей анилина и ДФА (рис. 2). Так, в нем проявляются полосы поглощения первичных (1260, 1230, 3500 см$^{-1}$) и вторичных (1310 и 3420 см$^{-1}$) аминных групп. Причем интенсивность поглощения NH_2-групп значительно слабее, чем полоса поглощения NH-групп.

Это обусловлено тем, что NH_2-группы могут находиться только в виде концевых групп ~C_6H_4—NH_2 и в небольших количествах. А аминные группы, очевидно, являются одной из основных структурных единиц олигоанилина.

ИК-спектр тонкой пленки олигоанилина заметно отличается от спектра его разбавленного раствора в CCl_4. В частности, под влиянием

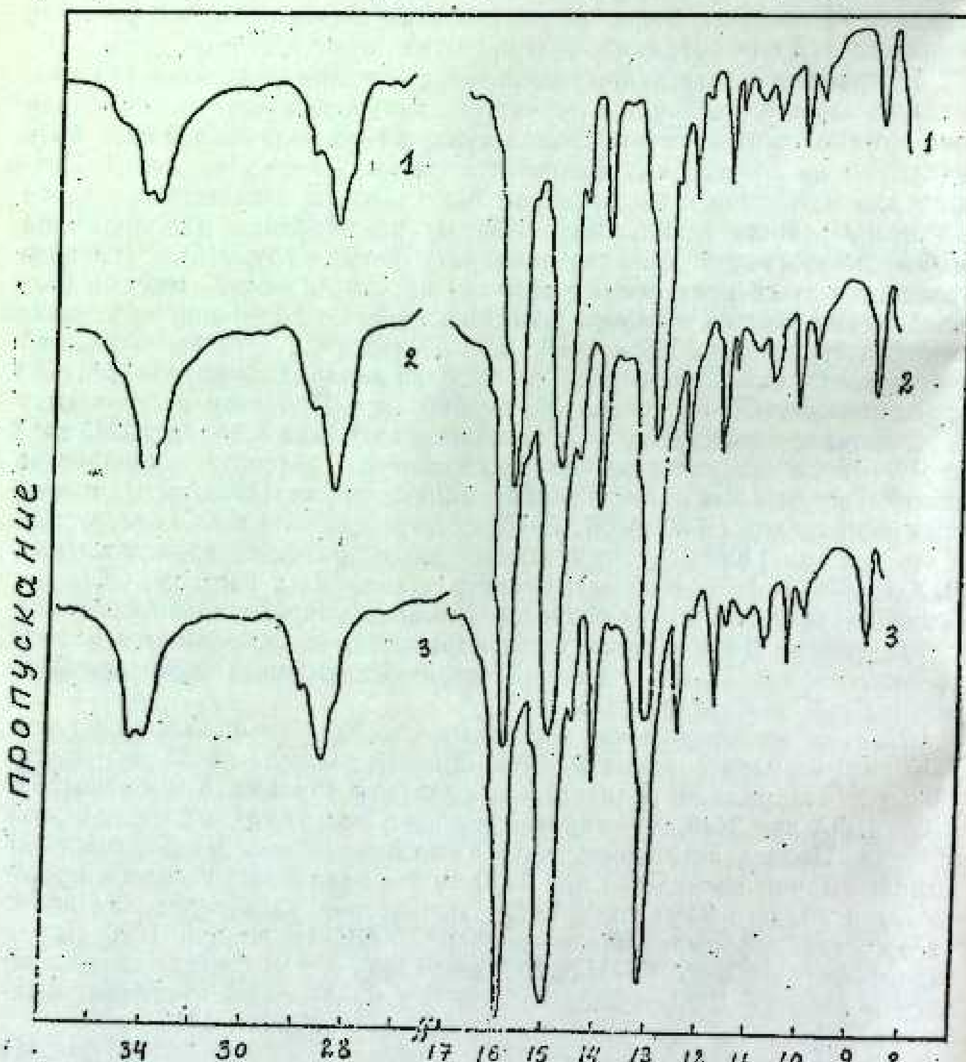


Рис. 1. ИК-спектры смесей анилина и ДФА при мольном соотношении 1:2 *(1)*, 1:3 *(2)* и 1,5 *(3)*

сильных меж- и внутримолекулярных водородных связей и взаимодействий полисопряженных связей полосы поглощения в области 3000—3600 $см^{-1}$ сливаются и проявляются в виде гладкой сплошной широкой полосы с максимумами при 3400 и 3090 $см^{-1}$. Полосы поглощения первичных аминных групп при 1640 и ароматических ядер при 1600 $см^{-1}$ уединяются и обнаруживаются в виде одной полосы в области 1625 $см^{-1}$.

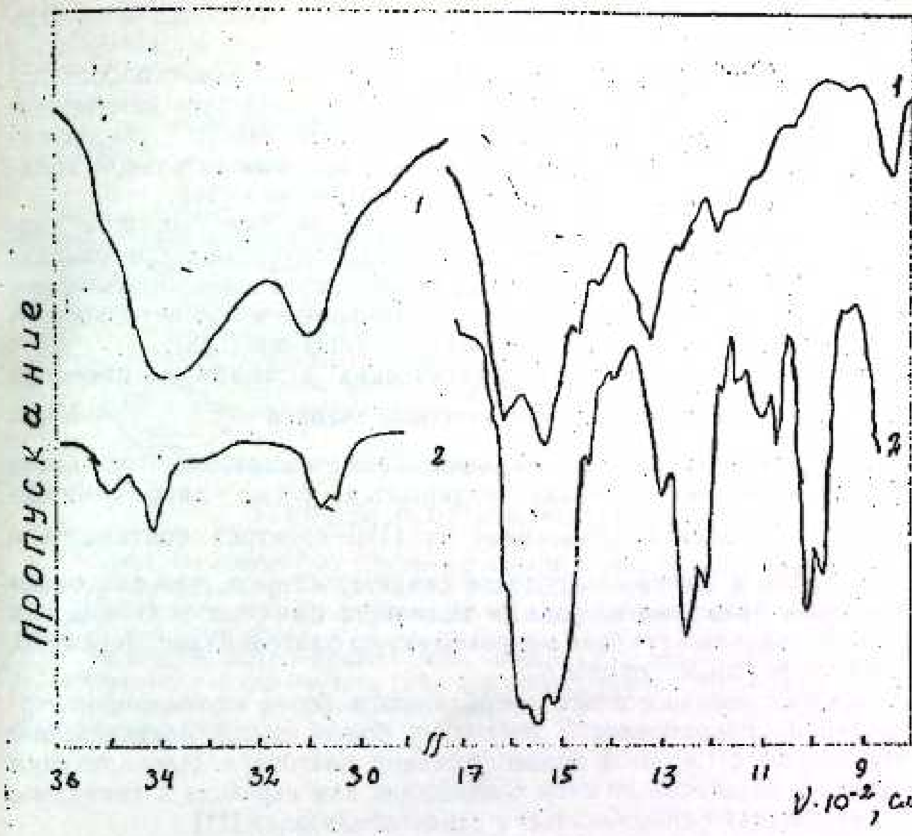


Рис. 2. ИК-спектры пленки *(1)* и раствора олигоанилина в CCl_4 *(2)*

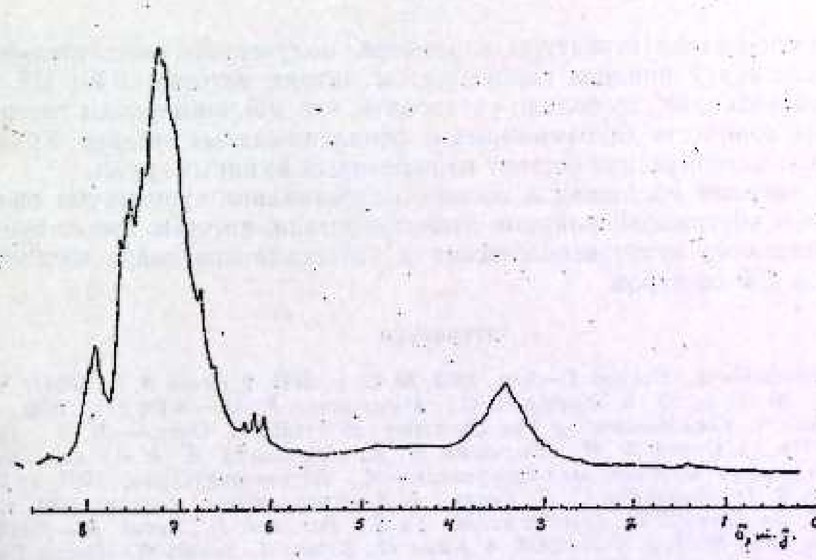


Рис. 3. ПМР-спектр олигоанилина

Полоса поглощения иминных групп при 1310 $см^{-1}$ смещается в область 1335 $см^{-1}$.

Наблюдаемая в ИК-спектре олигоанилина интенсивная полоса поглощения внеплоскостных деформационных колебаний двух незамещенных смежных ароматических CH-групп в области 840 $см^{-1}$ свидетельствует о протекании реакции полисочетания при окислительной поликонденсации анилина в параположении ароматических ядер.

ПМР-спектры, снятые в растворе дейтерированного ацетона, подтверждают (рис. 3), что в составе олигомера, полученного при окислительной поликонденсации анилина, содержатся протоны ароматических ядер и NH-групп. Сигналы этих групп проявляются соответственно в областях 6,4—8,0 (max при 7,17) и 3—4 м. д. (max при 3,43).

Соотношение количества ароматических и аминных протонов составляет 8:1, тогда как в составе иминных звеньев ~—NH~ это соотношение равно 4:1. Следовательно, в составе олигоанилина наряду с иминными группами содержатся также хинониминные —N==звенья. Найденные из ПМР-спектров соотношения ароматических и аминных протонов свидетельствуют, что олигоанилин построен примерно из равных количеств иминных и хиноидных звеньев. В концевых группах макромолекулы олигоанилина, очевидно, содержатся аминные группы.

Хиноидные звенья должны преобладать в более высокомолекулярной фракции олигоанилина, поскольку более высокомолекулярные макромолекулы с системой полисопряжения благодаря делокализации неспаренного электрона по цепи сопряжения или перехода в хиноидное состояние обладают способностью к самостабилизации [11].

Выводы

1. Исследование структуры олигомера, полученного окислительной поликонденсацией анилина гипохлоритом натрия методом УФ-, ИК- и ПМР-спектроскопии, позволило установить, что макромолекулы состоят из равных количеств хинониминных и фениленнминных звеньев. Концевые группы олигоанилина состоят из первичных аминных групп.

2. В твердом состоянии в составе олигоанилина существуют сильные меж- и внутримолекулярные взаимодействия, которые существенно меняют характер месторасположения и интенсивности полос поглощений ИК- и УФ-спектров.

Литература

1. *Willsfatter B., Dorogi S.*—Ber., 1909, № 42, p. 2147. 2. *Green A. L., Wolff S.*—
Ber., 1913, № 46, p. 33. 3. *Иоффе И. С., Матрикина Р. М.*—ЖРФХО, 1930, 62,
№ 5, с. 1101. 4. *Venkataraman K.* The Chemistry of Synthetic Dyes.— N. Y., 1952,
№ 11, p. 778. 5. *Садов Ф. И., Корчагин М. А., Матецкий А. И.*—В кн.: Химическая технология волокнистых материалов.—М.: Легкая индустрия, 1967, с. 783,
6. *Паринн В. П., Казакова С. Э., Берлин А. А.*—Высокомолек. соедин., 1961, т. 3,
с. 1870. 7. *De Surville R., Josefowicz M., Yu S., Perichon J., Buvet R.*—Electro,
chem. acta, 1968, № 13, p. 1451—1458. 8. *Kaya M., Kitani A., Sasaki K.*—Denxu Kara-
ky aeby Korebu Karaky, 1984, № 52, № 12, p. 847—848. 9. А. с. 854960 СССР. Полимерная композиция и способ ее получения (А. В. Рагимов, Б. А. Тагиев, А. Г. Ма-
медова, Бюл. № 30, 1981). 10. *Рагимов А. В., Ахмедов А. И., Гаджиев Г. Г.,*
Касумов Ф. Х., Гулиев Р. Я.—Азерб. хим. журн., 1987, № 3, с. 11. *Берлин А. А.,*
Давыдов Б. Э. и др.—В кн.: Химия полисопряженных связей. М.: Химия, 1972

Азербайджанский мединститут им. Н. Нариманова

Поступило 21. I 1987.

Г. Һ. Һачыјев, Ф. Х. Гасымов, М. А. Сејидов, Ә. В. Рәһимов

ОЛИГОАНИЛИНИН ГУРУЛУШУНУН ТӘДГИГИ

Мәгаләдә спектроскопик (УБ, ИГ вә ПМР) үсуллардан истифадә едәрәк, анилиндән
оксидләшдиричи поликонденсләшмә васитәсилә алынмыш олигоанилинин гурулушу тәд-
гиг едилмишдир. Олигоанилинин гурулушуну мүәјјән етмәк үчүн онун вә анилинин, ди-
фениламинин, онларын гарышыгларынын ИГ-спектирләри арашдырылмышдыр. Мүәјјән
едилмишдир ки, олигоанилинин макромолекулу фениламин вә хинонимин дәстәләрин-
дән вә бирли амин сонлуғундан тәшкил олунмушдур.

Олигоанилинин тәбәгәсинин ИГ-спектри көстәрир ки, дахилиндә күчлү молекуллар-
дахили вә молекуллорарасы әлагәләр вардыр. Онлар спектрин удулма золагларынын
јерини вә интенсивлијини дәјишдирирләр.

G. G. Gadzhiyev, F. Kh. Kasumov, M. A. Seyidov, A. V. Ragimov

STUDY OF OLIGOANILINE STRUCTURE

Oligoaniline obtained by oxidative polycondensation of aniline was subjected to structure analysis using UV-, IR- and PMR-spectroscopy. For oligoaniline structure identification along with its spectrum, IR-spectra of aniline, diphenylamine and their mixtures were interpreted.

Oligoaniline macromolecules were established to consist of equal amounts of phenyleneimine and quinoneimine links and primary terminal amine groups.

IR-spectra point to the availability of strong inter- and intramolecular interactions affecting greatly the location and intensity of absorption bands.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 541:64+547.567.5 ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

А. В. РАГИМОВ, А. И. АХМЕДОВ, Г. Г. ГАДЖИЕВ, Ф. Х. КАСУМОВ

ОКИСЛЕНИЕ АНИЛИНА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЗНАЧЕНИЯХ рН-СРЕДЫ

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

Известно [1, 2], что при взаимодействии анилина с окислителями, происходят сложные процессы, зачастую приводящие к интенсивно-окрашенным продуктам. Несмотря на то, что эти продукты нашли широкое применение в текстильной промышленности в качестве черного анилинового красителя [2], его структура и механизм образования до сих пор полностью не раскрыты. Данная задача актуальна еще и тем, что продукты окисления анилина нашли новые области применения как полупроводники [3] и отвердители смол [4]. Несмотря на то, что установлены факты образования полимеров при взаимодействии анилина с окислителями как в кислой среде [3], так и в щелочной [5], однако пока отсутствуют данные, всесторонне характеризующие указанный процесс.

Настоящее сообщение посвящено изучению хода и продуктов окисления анилина с помощью водного раствора гипохлорита натрия при различных концентрациях водородных ионов.

В термостатируемый стеклянный реактор, снабженный мешалкой, двумя капельными воронками и термометром, загружали 3 г (0,32 моль) анилина. При интенсивном перемешивании и охлаждении к анилину со скоростью 24 мл/ч параллельно добавили 30 мл (1,2 моль) 30%-ного водного раствора $NaOCl$ и минеральную кислоту. Температуру реакционной смеси поддержали при 23—25°. Через определенное время остановили реакцию, а реакционную смесь промыли дистиллированной водой от примеси окислителя и кислоты. Далее, для тщательной очистки полученных продуктов к реакционной смеси добавили 20 мл толуола и промыли сначала 20%-ным водным раствором $NaOH$ и дистиллированной водой до полного удаления хлор-ионов. Толуол и непрореагировавший анилин отделяли от реакционных продуктов перегонкой. Полученный полимерный продукт сушили при 105° до постоянного веса.

Анилин («ч»), толуол («чда») и дихлорэтан («ч») перегоняли. Водный раствор $NaOCl$ («ч») и минеральную кислоту использовали без предворительной очистки. Минеральные кислоты применялись для нейтрализации водно-щелочного раствора $NaOCl$ и создания кислой среды в процессе окислительной поликонденсации анилина.

Результаты исследований показывают, что при взаимодействии анилина с водным раствором гипохлорита натрия при широком интервале концентрации водородного иона наблюдается образование полианилина черного цвета. Однако на кривой зависимости выхода полианилина от рН фиксируются два максимума (см. рис. 1), т. е. наибольший выход продукта окислительной поликонденсации анилина образуется при двух значениях концентрации водородного иона в щелочной (рН-10,5) и

кислой средах (рН 0,5). Причем в кислой среде анилин проявляет высокую реакционную способность в отношении $NaOCl$ и выход полианилина составляет почти 100%. Следовательно, соли анилина больше склонны к окислению, чем основная форма. Сказанное наблюдается так-

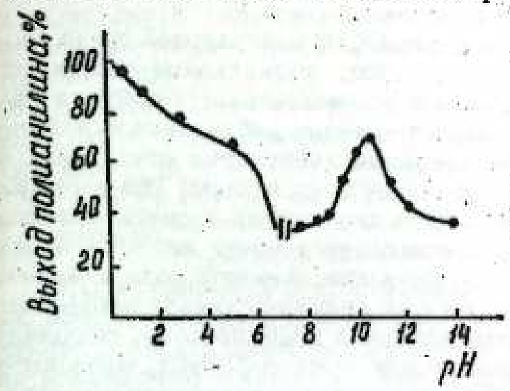


Рис. 1. Зависимость выхода полианилина от рН реакционной среды. $NaOCl$: анилин = 3:1 моль, т. 25° (кислой среды) и 80° (щелочной)

же в температурном режиме реакции. Так, если в щелочной среде количественный выход полианилина образуется лишь при высоких температурах (80°), то при нейтральных и кислых средах, даже при комнатной температуре (25°) реакция окислительной поликонденсации анилина идет интенсивно.

Как видно из табл. 1, повышение температуры реакции от 25 до 70° выход полимера почти не меняется и колеблется в интервале 25—27,6%.

Таблица 1

Влияние условий окислительной поликонденсации анилина гипохлоритом натрия на выход полианилина

№ п.п.	Анилин:NaCl, моль	T°, C	Время, ч	Выход полимера, %	pH срезы
1	1:1	50	5	26,5	7
2	1:1	25	5	27,0	5
3	1:1	42	5	25,0	5
4	1:1	50	5	25,0	5
5	1:1	58	5	25,1	5
6	1:1	70	5	27,6	5
7	1:1,5	50	5	37,4	5
8	1:2	50	5	53,8	5
9	1:2,5	50	5	59,7	5
10	1:3	50	5	69,3	5
11	1:4	50	5	87,2	5
12	1:3	50	1	67,6	5
13	1:3	50	2	68,3	5
14	1:3	50	3	68,9	5
15	1:3	50	4	69,4	5
16	1:3	50	5	69,7	5
17	1:3	50	6	73,4	5
18	1:3	50	7	73,8	5
19	1:3	50	3	74,3	5
20	1:3	50	3	84,1	5
21	1:3	50	3	99,2	0,5
22	1:3	50	3	88,5	1,6
23	1:3	50	3	78,6	2,9

Примечание. Оп. 1—18 — окислитель и кислота одновременно добавляются к анилину; оп. 20—23 — окислитель добавляется к смеси анилина и кислоты, оп. 19 — кислота добавляется к смеси анилина и окислителя.

Наиболее значительное влияние на окислительную поликонденсацию анилина оказывает количество окислителя. С увеличением его количества от 1 до 4 на моль анилина при 50° за 5 ч, выход полимера возрастает от 24,6 до 87%. Это обстоятельство проявляется также при окислительной поликонденсации анилина в щелочной среде [5].

Реакция взаимодействия анилина с $NaOCl$ в нейтральной среде протекает с большой скоростью. За 1 ч выход полианилина достигает 67,6%. Далее, в течение 6 ч выход полимера увеличивается всего на 5%.

В этом процессе важную роль играет порядок добавления окислителя и кислоты к анилину. При параллельном добавлении окислителя и кислоты выход полианилина почти одинаков и составляет 73,5 и 74,3%, соответственно. Напротив, при добавлении окислителя к смеси анилина и кислоты выход целевого продукта повышается почти на 10%. Здесь может быть две причины: первая — лучшая окисляемость соли анилина, которая образуется быстро и легче, когда к анилину сначала добавляют кислоту; вторая — соли анилина растворимы в воде, поэтому, смешиваясь с водным раствором легко взаимодействуют с $NaOCl$. Сказанное согласуется с тем, что проведение реакции в среде органических растворителей, которые не смешиваются с водным раствором $NaOCl$ приводит к уменьшению выхода полианилина. Так, при концентрации анилина, равной 4,5 моль/л т-ре 80° и трехкратном молярном избытке окислителя выход в дихлорэтане и толуоле составляет 61,7 и 62,3%, соответственно.

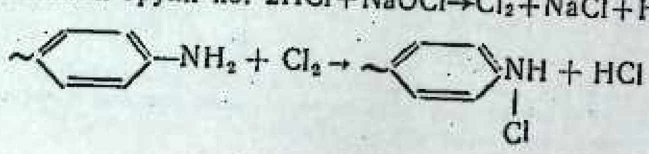
Анализы состава, структуры и параметров ММР показали, что у продукта окислительной поликонденсации анилина в зависимости от pH реакционной среды эти характеристики изменяются. Полианилин, полученный в щелочной среде, имеет чистый состав и по составу он очень близок исходному продукту-анилину (см. табл. 2).

Таблица 2

Состав и свойства полианилинов, полученных при различных значениях pH

№ пп	Анилин: NaOCl, моль	T, °C	pH-среды	Амин. группы, %	Элементный состав, %, Параметры ММР							Теч °C
					C	H	N	Cl	Mn	Mw	Mw/Mn	
1	1:1	80	10,5	16,8	78,9	5,5	15,4	—	350	550	1,57	60
2	1:2	80	10,5	15,7	77,8	6,9	14,8	—	350	580	1,65	70
3	1:3	50	5,0	15,9	78,0	5,8	14,7	1,2	355	570	1,61	75
4	1:3	50	2,9	16,0	75,7	5,2	14,2	4,5	430	600	1,38	100
5	1:3	50	1,6	15,8	73,1	5,7	13,6	6,1	445	680	1,53	125
6	1:3	50	0,5	15,4	70,9	5,3	12,8	9,6	460	700	1,52	125

Полимеры, синтезированные в кислой среде, в присутствии HCl включают довольно высокое содержание связанного хлора (до 9,6%). Включение в состав полианилина хлора в процессе образования, очевидно, обусловлено протеканием вторичной реакции окислительного хлорирования аминных групп по: $2HCl + NaOCl \rightarrow Cl_2 + NaCl + H_2O$



Это предположение основывается на способности смеси HCl и $NaOCl$ хлорировать ароматические соединения [6].

ГПХ-анализы, проведенные согласно [7], показывают, что продукты окислительной поликонденсации анилина в присутствии гипохлорита натрия независимо от pH реакционной среды являются олигомерами с M_n 350 — 460 и M_w 550 — 700. Полидисперсность этих олигомеров низкая и колеблется в интервале 1,38 — 1,65. Характерной чертой кривых ММР (рис. 2) является обнаружение максимума в области ММ ди- и тримеров ($V_R = 21-22$). Высокомолекулярная фракция с ММ равной 3 200 — 4 700 ($V_R = 16$ до 17) в составе олигомеров анилина содержится в небольших количествах — до 0,3%. В то время как тетра- и гексамеры ($V_R = 20$ до 21) анилина преобладают в их составах.

pH реакционной среды оказывает необходимое влияние на величины ММ. В частности, олигомеры, полученные в кислой среде, характеризуются относительно более высокими значениями M_n и M_W и максимум на кривой ММР смещен в области три- и тетраметров (рис. 2, кр. *1*, *2*). Аналогичная тенденция в изменении параметров ММР фиксируется при изменении порядка смещения окислителя и кислоты в процессе синтеза олигоанилина. При добавках к анилину сначала кислоты, потом окислителя (оп. 21) ММ олигомеров увеличивается и превышает содержание димера (рис. 2, кр. *3*). В этом случае в соста-

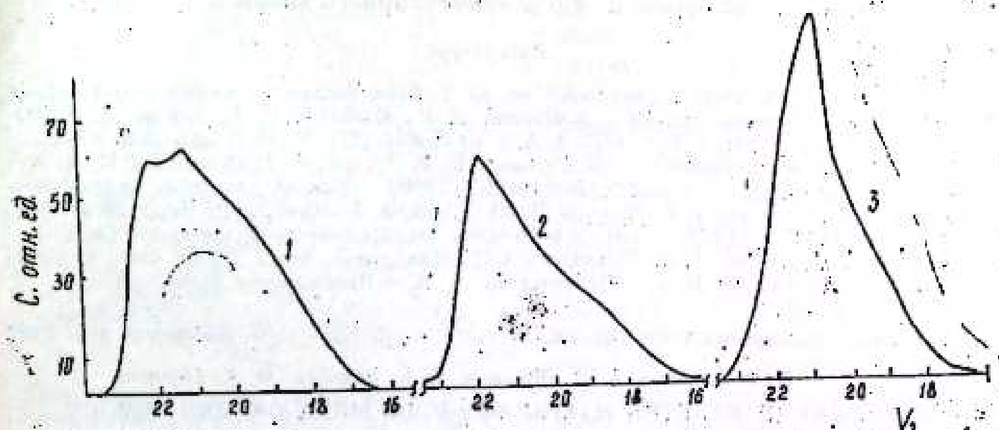


Рис. 2. ММР полианилинов, полученные в кислой (кр. *1*. оп. 21) и нейтральной (кр. *2*, оп. 10) средах.

ве олигоанилина возрастает содержание также высокомолекулярных фракций.

Синтезированные олигоанилины в соответствии с ММ являются низкоплавкими веществами. Под нагрузкой 1,59 кг/см² они текут в интервале 60 — 125°. Однако температура течения солей олигоанилина с минеральными кислотами заметно увеличивается. Как видно из термомеханических кривых, т. теч. солянокислой соли олигоанилина находится в интервале температур 175 — 185°, тогда как исходный олигомер течет при 125°.

Химический анализ обнаруживает до 15,7 — 16,8% суммы аминных групп в составе олигоанилина. Эта величина близка к значению аминных групп в анилине (17,4%). Проявления в ИК-спектре олигоанилина полосы поглощения в области 3500, 3440, 3410, 1630, 1520, 1310 и 1250 $см^{-1}$ также свидетельствует о наличии в его составе первичных (концевые группы), вторичных (звенья) и третичных (разветвленные звенья) аминных групп. Найденное из ПМР-спектра соотношение водородных атомов ароматических и аминных групп, равное 8:1 также подтверждает наличие в структуре фрагментов трехзамещенного анилина  Отношение развегвленных звеньев к структурным единицам в составе олигоанилина составляет 1 : 2. Содержание третичных аминных групп увеличивается в составе олигомеров, синтезированных в кислых средах.

Выводы

1. Исследована окислительная поликонденсация анилина с водным раствором гипохлорита натрия при pH-среде от 0,5 до 14 и установлено, что максимальный выход достигается в щелочной среде при 10,5 и в кислой — при 0,5 величине концентрации водородных ионов.

2. Показано, что в нейтральной и кислой средах анилин окисляется со значительно большей скоростью и меньшими энергозатратами, чем в щелочной среде.

3. Продукты окислительной поликонденсации анилина независимо от pH реакционной среды являются олигомерами, состоящими из *n*-замещенных анилиновых звеньев. Олигомеры, полученные в кислой среде, включают дополнительно до 9,6% элементарного хлора.

Литература

1. *Green A. G., Wolff S.* — Ber., 1913, 46, 33. 2. *Венкатарман К.* Химия синтетических красителей. — Госхимиздат, 1957. 3. *Парини В. П., Казакова С. З., Берлин А. А.* Высокомолек. соед., 1961, т. 3., с. 1870. 4. А. с. № 854960 (СССР). — Полимерная композиция и способ ее получения. (А. В. Рагимов, Б. А. Тагиев, А. Г. Мамедова, И. К. Кулиева). Бюлл. № 30, 1981. 5. А. с. № 712425 (СССР). — Способ получения анилинового черного (Б. А. Тагиев, А. В. Рагимов, В. Ю. Алиев, А. Г. Мамедова). Бюлл. № 4, 1980. 6. А. с. № 753852 (СССР). — Способ получения хлорированного полистирола (А. В. Рагимов, Г. А. Рагимов, Р. А. Джалилов, А. Г. Мамедова). Бюлл. № 29, 1980. 7. *Кузаев А. И., Колесников С. Д., Брикенштейн А. А.* — Высокомолек. соед., 1975, А 17, с. 1327.

Нахичеванский научный центр АН АзССР

Поступило 2. II 1987

Ә. В. Рәһимов, А. И. Әһмәдов, Г. Һ. Һачыјев, Ф. Х. Гасымов

АНИЛИНИН МҮҺИТИН МҮХТӘЛИФ pH-ЛАРЫНДА ОКСИДЛӘШМӘСИ

Мәгаләдә анилинин натриум һипохлоритин сулу мәһлулу илә мүһитин мүхтәлиф pH-ларында оксидләшмә поликонденсләшмәсинин кедиши вә мәһсулу тәдгиг едилмишдир. Мүәјјән едилмишдир ки, полианилинин чыхымынын һидрокен ионларынын гатылығындан асылылыг әјрисиндә pH=0,5 вә 14 олдугда ики максимум мүһитә нисбәтән турш мүһитдә нәзәрә алыначаг дәрәчәдә јүксәк олур.

Кимјәви, спектрал вә ГПХ анализләр көстәрир ки, анилинин оксидләшмәси мүтләг уч группары вә п-әвәзедилмиш анилин дәстәләри олан олигомерләрин әмәлә кәлмәсинә кәтириб чыхарыр.

A. B. Ragimov, A. I. Ahmedov, G. G. Hajiyev, F. Xh. Kasumov

OXIDATION OE ANILINE AT VARIOUS VALUES OF pH-MEDIUM

The course and products of aniline's oxidative polycondensation in aqueous solution of sodium hypochlorite are studied at various pH of medium. It is established that the curve of polyaniline yield's dependency on the hydrogen ions concentration has two maxima at pH=0.5 and 14. The rate of products' oxidation reaction is markedly in acidic medium than in alkaline medium.

Chemical, spectral and gel permeation chromatography analyses show that aniline's oxidation always leads to formation of oligomers which have *p*-substituted aniline units and terminal groups.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 546. 657. 72. 27. 21.

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

О. А. АЛИЕВ, член-корр. АН АзССР П. Г. РУСТАМОВ, Х. М. АЛЛАХВЕРДИЕВ

ФАЗООБРАЗОВАНИЕ В СИСТЕМЕ Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3 ПРИ 1050°С

В системах Ln_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3 где Ln=La, Pr, Tb, было обнаружено большое различие в растворимости отдельных р. з. окислов в ферроборатных расплавах, в связи с чем было решено исследовать эти системы более детально с участием других р. з. окислов.

Методом изотермического насыщения при 1050 °С изучены фазовые равновесия в системе Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3. Методика исследования описана ранее [1, 2].

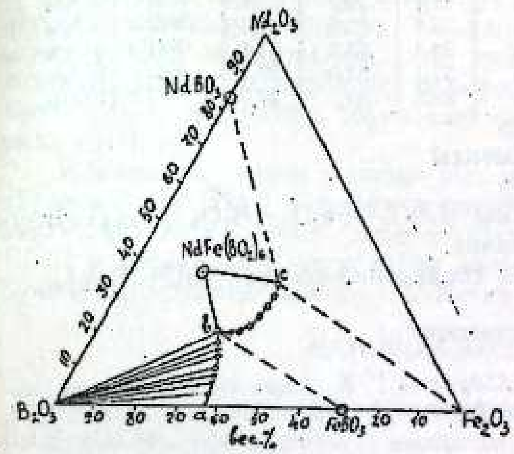


Диаграмма изотермического разреза системы Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3 при 1050 °С

На рисунке представлена диаграмма изотермического разреза системы Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3 при 1050 °С. Как видно, данная система характеризуется обширной областью расслаивания. Левая граница расслаивания проходит вблизи практически чистого оксида бора, правая — почти по прямой линии между точками *a* и *b*. В правую границу расслаивания упирается изотерма растворимости двойного метабората состава $NdFe(O_2)_6$. Расплав, отвечающий при 1050 °С точке *b*, может находиться в равновесии с двумя другими фазами — практически чистым жидким оксидом бора и монокристаллами двойного метабората $NdFe(BO_2)_6$.

Кривая *b c* является изотермой растворимости указанного метабората. В пределах области равновесного сосуществования двойного метабората неодима и железа легко могут быть осуществлены расплавы, пересыщенные относительно $NdFe(BO_2)_6$. Некоторые из пересыщенных расплавов расслаиваются на две жидкие фазы, способные длительное время находиться между собой в метастабильном равновесии.

Монокристаллы двойного метабората $NdFe(BO_2)_6$ окрашены в светло-зеленый цвет и характеризуются высокой прозрачностью и однородностью, устойчивы на воздухе и в воде, трудно растворяются в концентрированой соляной кислоте; блеск стеклянный, твердость равна 7—7,5 по шкале Мооса.

Результаты дифференциально-термического анализа $NdFe(BO_2)_6$ указывают на отсутствие потерь веса или каких-либо тепловых эффектов вплоть до температуры плавления 1092±5°С. Плотность $NdFe(BO_2)_6$, определенная пикнометрическим методом, равна 3,67 г/см³.

Попытки получить из раствора в расплаве и методом твердофазной реакции из исходных компонентов двойной ортоборат Fe и Nd при 1050°С не увенчались успехом. При дальнейшем увеличении содержания Nd_2O_3 и Fe_2O_3 в расплаве из раствора в расплаве выделяются монокристаллы Fe_2O_3 и ортобората неодима состава $NdBO_3$ (таблица).

Равновесные фазы в системе $Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3$ при 1050°С

Состав жидкой фазы, вес. %			Равновесные фазы	Состав жидкой фазы, вес. %			Равновесные фазы
B_2O_3	Nd_2O_5	Fe_2O_3		B_2O_3	Nd_2O_3	Fe_2O_3	
63,0	00	37,0	B_2O_3	49,1	21,4	29,5	B_2O_3 и $NdFe(BO_2)_6$
60,5	4,3	35,2	B_2O_3 и $FeBO_3$	47,0	20,7	32,3	$NdFe(BO_2)_6$
57,3	7,4	35,3	B_2O_3 и $FeBO_3$	44,3	21,2	34,5	$NdFe(BO_2)_6$
56,8	9,0	34,2	B_2O_3 и $FrBO_3$	41,1	22,7	36,2	$NdFe(BO_2)_6$
55,0	11,3	33,7	B_2O_3 и $FeBO_3$	38,0	25,0	37,4	$NdFe(BO_2)_6$
53,2	14,6	32,2	B_2O_3 и $FeBO_3$	34,4	28,2	37,4	$NdFe(BO_2)_6$
52,0	16,3	31,7	B_2O_3 и $FeBO_3$	31,3	31,3	37,4	$NdFe(BO_2)_6$
51,3	18,2	30,7	B_2O_3 и $FeBO_3$	28,5	34,5	37,0	$NdFe(BO_2)_6$

Выводы

1. Исследуемый разрез системы $Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3$ характеризуется обширной областью расслаивания.
2. В системе образуется новое соединение состава $NdFe(BO_2)_6$.

Литература

1. *Рза-заде П. Ф., Ахмедова Д. А., Абдуллаев Г. К., Алиев О. А.* — Неорган. матер., 1974, 10, 1654. 2. *Алиев О. А., Зульфугарлы Дж. И.* — Докл. АН АзССР, 1978, 34, 47.

АГУ им. С. М. Кирова

Поступило 1. IV 1986

О. А. Әлијев, П. Һ. Рүстәмов, Х. М. Аллаһвердијев

1050°С-дә $Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3$ СИСТЕМИНДӘ ФӘЗАӘМӘЛӘКӘЛМӘ

Мәгаләдә изотермик дојдурма үсулу илә 1050°С-дә $Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3$ системиндә фаза таразлығы дәгиг олунмушдур. Тәбәгәләшмә вә $NdFe(BO_2)_6$-нын јашама областлары характеризә олунмушдур. Икигат метаборатын $NdFe(BO_2)_6$ монокристаллары јетишдирилмиш вә рентгенографик, ДТ тәдгиг едилмишдир.

O. A. Aliev, P. G. Rustamov, Kh. M. Allakhverdiev

PHASEFORMATION IN $Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3$ SYSTEM AT 1050°C

$Nd_2O_3—Fe_2O_3—B_2O_3$ system was studied by the method of saturation at 1050°C. The sphere of existence of solid phase $NdFe(BO_2)_6$ was des ribed.

Synthesized borate was investigated and obtained in monocrystallized condition.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 546.682.546.24

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Х. Б. ГЕЗАЛОВ, А. М. ГАСАНОВ, Х. И. АБДУЛЛАЕВА

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА НА B_2O_3 МЕТОДОМ ЭПР

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Ч. М. Джуварлы)

В последние годы с целью ускорения плазмохимических и радиационных процессов широко исследуется влияние различных катализаторов на диссоциацию молекул [1—3]. В частности, оксид бора B_2O_3 применяется в качестве катализатора в радиационно-гетерогенных процессах разложения молекул. Однако в литературе имеются весьма ограниченные экспериментальные данные об участии парамагнитных центров (ПМЦ) электронного и дырочного типа, генерируемых в катализаторах, в процессах, обусловленных действием электрического разряда (ЭР).

Изменения, происходящие под действием ЭР в B_2O_3, связаны с образованием ПМЦ в порах и поверхностных слоях диэлектрика. В этой связи актуальным является изучение закономерностей генерации ПМЦ в зависимости от условий воздействия параметров, ЭР и последующих химических превращений с их участием.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

В качестве катализатора использовали порошкообразные образцы B_2O_3 «ОСЧ», обогащенного изотопом ^{11}B (99,3%). Образцы предварительно выдерживали при 490 К в воздухе в течение 8 ч, затем подвергали термовакуумной обработке. ЭР создавали с помощью электродов, один из которых помещался в центре ампулы с образцом, второй охватывал ампулу снаружи и заземлялся, при этом расстояние между электродами d составляло $(1{,}5\div3{,}5)\ 10^{-3}$ м. Эксперименты проводили при давлениях $(0{,}665\div13{,}3)$ Па, температуре 77 К и напряжениях $(1\div15)$ кВ. Мощность разрядов и величину разрядного тока регулировали значениями подаваемого напряжения и подбором ампул различных диаметров — $(2{,}5\div4{,}5)\ 10^{-3}$ м и определяли методом циклограмм [4, 5]. Спектры ЭПР снимали на радиоспектрометре РЭ-1306 при длине волны 3 см. В качестве эталона использовали ионы Mn^{2+} в MgO, а концентрацию ПМЦ и g- факторы определяли по методике [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Спектры ЭПР B_2O_3, обработанного электрическим разрядом, снятые при 77 К, представлены на рис. 1, а, б. При малых значениях напряжения $U\sim(1\div6)$ кВ спектр ЭПР представляет собой одиночный симметричный синглет с параметрами $g=2{,}0012$; $\Delta H=0{,}4$ мТл (рис. 1, б). При повышении напряжения $U \geqslant 6$ кВ в спектре ЭПР появляется новая мультикомпонентная линия (рис. 1, а) и наблюдаются пять компонентов и неразрешенное «плечо» в области низких магнитных полей.

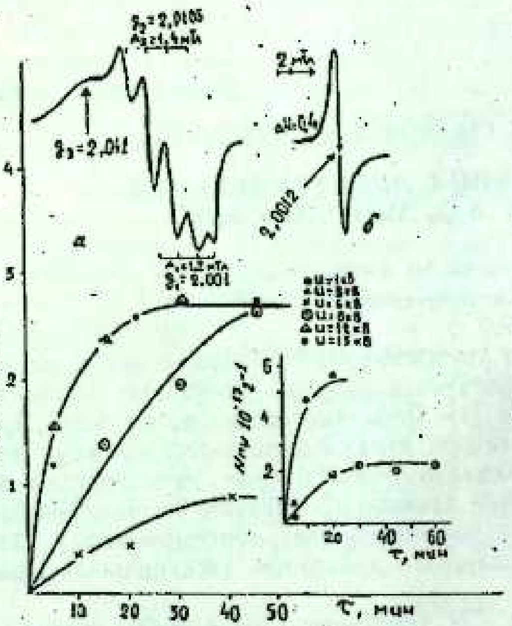


Рис. 1. Спектры ЭПР при 77 К порошкообразных образцов B_2O_3, обработанных в среде электрического разряда и кинетики накопления накопления парамагнитных центров: *а* — дырочные, *б* — электронные центры

Анализ спектров ЭПР показал, что симметричную линию можно отнести к электронам ($g<g_e=2{,}0023$), захваченным на кислородных вакансиях, что хорошо согласуется с результатами работ [7, 8]. Наличие в спектре ЭПР мультикомпонентной линии позволяет предполагать, что в спин-гамильтониане помимо эффекта Зеемановского имеются и члены сверхтонкой структуры (СТС). Эта линия описывается спин-гамильтонианом, характеризуемым орторомбическими *g*- и *A*- тензорами:

$$H=\beta\,(g_1S_1H_1+g_2S_2H_2+g_3S_3H_3)+A_1S_1I_1+A_2S_2I_2+A_3S_3I_3,$$

где $S=1/2$, $J\,(''B)=3/2$

Главные значения *g*- и *A*-тензоров, найденные из экспериментальных спектров ЭПР, составляют:

$$g_1=2{,}001,\quad g_2=2{,}0105,\quad g_3=2{,}041,$$

$$A_1/g_1\beta=1{,}2\ \text{мТл}\qquad (A=11{,}2\cdot10^{-4}\ \text{см}^{-1}),$$

$$A_2/g_2\beta=1{,}4\ \text{мТл}\qquad (A=13{,}1\cdot10^{-4}\ \text{см}^{-1}).$$

В области g_3 СТС не обнаруживается, поэтому определить A_3 не представляется возможным.

$g_{cp}=(g_1+g_2+g_3)/3>g_e$, что позволяет отнести эту линию к дырочным центрам. Сравнением значений магнитных параметров g_1, g_2 и g_3 с их значениями в γ-облученных оксисных системах [8, 9] можно утверждать, что дырочные центры локализованы на немостиковом атоме кислорода $\rangle B-O^{\oplus}$ и взаимодействуют с ядром атома бора.

Одной из важных особенностей воздействия ЭР является низкая энергия бомбардирующих электронов, поэтому действие их ограничивается тонким приповерхностным слоем полостей, в которых происходит разряд. Беря радиус поры, равным радиусу окисной гранулы (10^{-5} м), получим для $U=15$ кВ $d=2{,}5\cdot10^{-3}$ м, что позволяет вычислить приближенно энергию электронов $E\approx50$ эВ. Известно, что процессы ионизации в окисных диэлектриках характеризуются пороговой энергией $E_п\approx(2-3)\cdot E_g$, где E_g—ширина запрещенной зоны. Так как E_g для B_2O_3 равна 9,1 эВ, образование электронно-дырочных пар должно происходить при энергиях электронов $E\geqslant20$ эВ, что подверждается данными эксперимента. Действительно для $U<6$ кВ ($E<20$ эВ) в B_2O_3 наблюдаются только электронные центры, образование которых можно объяснить локализацией термолизованных электронов. При $U\geqslant6$ кВ ($E>20$ эВ) в B_2O_3 под действием ЭР создаются электронно-дырочные пары, и они локализуются в ловушках, образуя ПМЦ (рис. 1, а).

Кинетика накопления ПМЦ в B_2O_3 под действием ЭР описывается следующим выражением:

$$N_1=N_\infty\,[1-\exp\,(1-\kappa p\tau)],$$

где N_1 и N_∞—соответственно текущие и предельные концентрации ПМЦ, κ—константа скорости рекомбинации частиц, p—мощность разряда, τ—время действия разряда.

Схематически процессы, происходящие под действием ЭР в B_2O_3, можно представить следующим образом:

$$B_2O_3 \underset{\kappa_2}{\overset{\text{эр}\ \kappa_1}{\rightleftarrows}} e+\oplus,\qquad W_1=\kappa_1 p, \qquad (1)$$

$$W_2=\kappa_2\,[e]\,[\oplus], \qquad (2)$$

$$e+L_A \xrightarrow{\kappa_3} L_e,\qquad W_3=\kappa_3\,[e]\,[L_A], \qquad (3)$$

$$\oplus+L_D \xrightarrow{\kappa_4} L_p,\qquad W_4=\kappa_4\,[\oplus]\,[L_D], \qquad (4)$$

$$L_p+e \xrightarrow{\kappa_5} L_D,\qquad W_5=\kappa_5\,[L_p]\,[e], \qquad (5)$$

$$L_e+\oplus \xrightarrow{\kappa_6} L_A,\qquad W_6=\kappa_6\,[L_e]\,[\oplus], \qquad (6)$$

где L_A, L_D—электронно-акцепторные и донарные центры локализации, L_e, L_p—соответственно электронные и дырочные центры. Как видно из схемы, выход электронных и дырочных центров в основном определяется конкурирующими процессами рекомбинации и локализации первичных неравновесных носителей заряда. Из рис. 2 видно, что концентрации ловушек электронов и дырок, а также соответствующих ПМЦ в B_2O_3 ограничены, поэтому после определенного значения $U\approx10$ кВ наступает стационарная область в кривой зависимости W (ПМЦ)$=f(U)$. Начальная область кривой при $U<6$ кВ характеризуется процессами накопления электронных центров, образовавшихся в результате локализации термолизованных электронов в системе B_2O_3.

Большая концентрация неравновесных носителей зарядов в B_2O_3 обусловливает увеличение скорости процессов (5), (6) и уменьшение концентрации L_e и L_p центров. С возрастанием давлений в газовых включениях и времени экспозиции B_2O_3 в разряде, концентрация свободных неравновесных носителей увеличивается и скорость рекомбинации центров возрастает. На рис. 3 представлены кинетические кривые накопления ПМЦ в B_2O_3 при 77 К и различных давлениях среды. Как видно, при больших временах и давлениях наблюдается уменьшение концентрации ПМЦ, что может быть объяснено протеканием процессов по схемам (5) и (6). Уменьшение скорости образования ПМЦ при

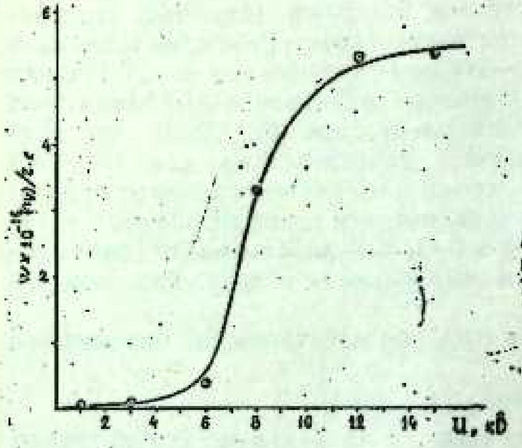


Рис. 2. Зависимость скорости накопления парамагнитных центров в B_2O_3 при 77 К от напряжения электрического разряда

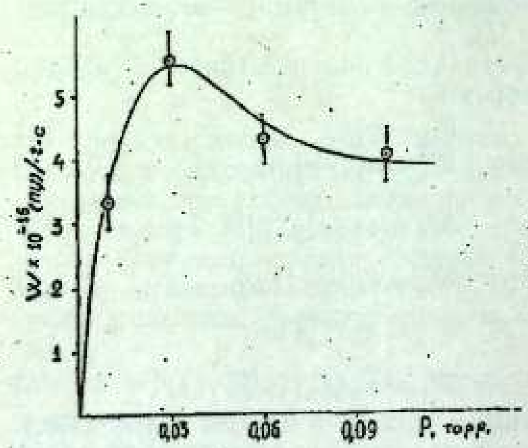


Рис. 3. Кинетика накопления парамагнитных центров в B_2O_3, обработанных при различных давлениях воздуха (запись проведена при 77 К)

больших давлениях может быть связано с уменьшением длины свободного пробега и соответственно энергии электронов, образующихся в ЭР.

Таким образом, на основе изложенного можно сделать следующие выводы.

Методом ЭПР изучена природа и кинетика накопления ПМЦ в B_2O_3, обработанного в среде ЭР при 77 К и различных напряжениях ЭР. Установлено, что в зависимости от приложенного напряжения изменяется тип ПМЦ, т. е. от 1 до 6 кВ генерируются электронные, от 6 до 15 кВ—дырочные центры.

Выявлены возможности проведения гетерогенного превращения веществ, протекающих под влиянием ЭР по электрофизическому механизму.

В заключение авторы выражают благодарность акад. Ч. М. Джуварлы за обсуждение результатов.

Литература

1. *Дубровин В. Ю., Максимов А. И.*—ХВЭ, 1980, т. 14, № 1, с. 54. 2. *Гарибов А. А., Бакиров М. Я., Велибекова Г. З., Джафарова Я. Д.*—ВАНТ. Сер. „Атомно-водородная энергетика и технология". 1985, вып. 3, с. 57—59. 3. *Русанов В. Д., Фридман А. А.* Физика химически активной плазмы.—М.: Наука, 1985. с. 414. 4. *Dakin T. W., Malinaring P. J.* Integrated Corona-Charge Transfer and Power Loss per Cycle.—Power Apparatus and Systems, 1960, № 50, p. 648. 5. *Dixon H. S.* Rapid Determination of Corona Loss per Cycle.—Trans. AJEE, 1959, v. 78, I, p. 207. 6. *Пшежецкий С. Я., Котов Л. Т.* ЭПР свободных радикалов в радиационной химии.—М.: Химия, 1972. 7. *Griscom D. L. et al.*—J. Chem. Phys., 1968, v. 48, № 11, p. 5158. 8. *Griscom D. L. et al.*—J. Chem. Phys., 1970, v. 53, № 1, p. 469. 9. *Гарибов А. А., Гасанов А. М., Гезалов Х. Б., Керимов М. К.*—В сб.: Современные методы и ЭПР в химии твердого тела. М., 1985, с. 228.

Сектор радиационных исследований
АНАзССР

Поступило 10. VII 1968

Х. Б. Кәзәлов, Ә. М. Һәсәнов, Х. И. Абдуллајева

ЕПР МЕТОДУ ИЛӘ ЕЛЕКТРИК БОШАЛМАСЫНЫН B_2O_3 МАДДӘСИНӘ ТӘ'СИРИНИН ӨЈРӘНИЛМӘСИ

Мәгаләдә бор оксидиндә електрик бошалмасынын тә'сири алтында әмәлә кәлән парамагнит дефектләр вә онларын тәбиәти тәдгиг олунмушдур. Алынмыш нәтичәләр әсасында B_2O_3 маддәсиндә електрик бошалмасынын тә'сири алтында әлавә каталитик актив мәркәзләрин әмәлә кәлмәси просесләринин мүмкүн механизми верилмишдир. Бу мәркәзләр јығымынын кинетик гануна—ујғунлуглары өјрәнилмишдир.

Kh. B. Gezalov, A. M. Hasanov, Kh. I. Abdullaeva

THE INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF ELECTRICAL DISCHARGE ON B_2O_3 BY EPR METHOD

The nature of paramagnetic defects which were formed by electrical discharge on oxide boron was investigated. On the basis of obtained data the possible mechanism generating catalytic active centres in B_2O_3 was given. The features of the kinetical accumulation of these centres were studied.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 532.7+533.7+541.127/128

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

П. С. НАГИ-ЗАДЕ

ОБЩИЙ ПРИНЦИП ХИМИЧЕСКОЙ КИНЕТИКИ (ОПХК)

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

В настоящее время одной из сложных и нерешенных проблем в химической кинетике (ХК) является количественное предсказание скоростей реакций с физической однородностью константы скорости для любой молекулярности и порядка реакции. Успешное решение данной проблемы может привести к созданию единого выражения скорости химической реакции (ХР).

Одним из основных законов ХК является закон действующих масс (ЗДМ) и созданные впоследствии принципы ХК. Этот закон и принципы ХК сконструированы для понимания в определенном приближении механизма протекания ХР и в какой-то мере осуществления управления ими.

Как известно, любой физико-химический закон должен обладать постоянством физического смысла тех характеристик (величин или параметров), которые составляют его сущность. Однако в известных принципах ХК вопросы постоянства физического смысла (физическая однородность) и размерности константы скорости, безразмерности величин константы равновесия и единого принципа, описывающего протекание ХР для любого порядка и молекулярности, игнорируются. Поэтому известные принципы ХК имеют в этом плане очень приближенный и неполный характер описания, т. е. чисто формальное математическое описание реальных объектов.

Сосредоточим основное внимание на наиболее слабых положениях в известных принципах ХК (ИПХК):

1. В классических принципах ХК (КПХК) необоснованно учитывается взаимодействие в виде произведения неограниченного количества концентраций, т. е. $\prod\limits_{i=1}^{m} C_i^{n_i}$.

2. Из этих принципов видно, что константы скорости реакций κ и равновесия K для различных порядков n имеют различный физический смысл и соответственно размерности или единицы измерения, например, скорость реакции:

$$W=\kappa \quad \text{при} \quad n=0 \quad \text{и} \quad \kappa=\frac{\text{моль}}{\text{м}^3\cdot\text{с}};$$

$$W=\kappa c \quad \text{при} \quad n=1 \quad \text{и} \quad \kappa=c^{-1};$$

$$W=\kappa C^2 \text{ или } W=\kappa C_1C_2 \quad \text{при} \quad n=2 \quad \text{и} \quad \kappa=\frac{\text{м}^3}{\text{моль}\cdot\text{с}};$$

$$\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots$$

$$W=\kappa C^m \qquad \text{при} \quad n=m \quad \text{и} \quad \kappa=\frac{(\text{м}^3)^{m-1}}{(\text{моль})^{n-1}\cdot c}.$$

Из описанного следует, что при $n\neq1$ константа скорости не имеет точного и ясного физического смысла и для каждого порядка реакции получается как бы отдельный закон ХК, существенно отличающийся от других физико-химическими свойствами и смыслом.

3. В литературе [1—7] имеются данные, указывающие на возможность появления наряду с положительными, целочисленными и нецелочисленных значений порядков реакций. Это объясняют в основном сложностью механизма протекания реакции: КПХК не позволяют полностью раскрыть физико-химическую сущность протекающих процессов в исследуемых системах, так как при этом константы скорости, равновесия и других лишены точного и ясного физико-химического смысла и понятия.

4. В [1, 2] имеются данные, указывающие на изменчивость порядка реакции в зависимости от давления. Это, в свою очередь, приводит к изменению физического смысла константы скорости реакции и единицы измерения.

5. КПХК также не в состоянии дать точное определение выражения скорссти $W=\kappa C_A C_B$ для случая, когда $C_A \gg C_B$. Просто принимается $C_A \approx \text{const}$ и включается в константу скорости, реакции, т. е. $\kappa_{\text{фик}}=\kappa C_A$ и т. д., и реакция второго порядка переходит в первый.

6. Согласно [6, 7] порядок реакции может принять $n<0$ значение. Если это так, то из выражения $W=\kappa C_1^{-1}\cdot C_2$ получим: при $C_1\to0$ $W\to\infty$ и $C_*\to\infty$ $W-0$, при этом получаются абсурдные результаты.

7. На основе КПХК для реакций типа $A+B \underset{\kappa_{-1}}{\overset{\kappa_1}{\rightleftarrows}} D$ для константы равновесия при динамическом равновесии, т. е. при $W=0$, получаем $W_1=W_{-1}$, откуда $\frac{\kappa_1}{\kappa_{-1}}=\frac{C_D}{C_A C_B}=K,\ \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ и т. д., т. е. K для разных порядков n имеет разный физический смысл и единицу измерения. Подобных примеров, указывающих на неточность КПХК, можно перечислить множество.

Приведенные доводы указывают на неточность ИПХК и не дают возможность ясно и полно ответить на те физико-химические явления, которые протекают в исследуемых химических и других системах.

Таким образом, КПХК в существующей трактовке нельзя считать совершенными. Мы видим, что в одних случаях они дают правильные ($n=1$), в других—неправильные ($n\neq1$) результаты в понятии приближения к описанию истинной картины исследуемых реальных процессов. Таковы в краткости характерные особенности КПХК — формальной кинетики.

Резюмируя изложенное, можно сказать, что в настоящее время в ХК существует множество еще нерешенных проблем, для решения и развития которых требуются новые пути. В данной статье рассмотрены некоторые новые аспекты принципов ХК — в основном развитие основ КПХК. Другими словами, это создание ОПХК или единого выражения скорости реакции (ЕВСР) для любой молекулярности и порядка, что позволяет с лучшим приближением описать множество наблюдаемых различных процессов.

Разработанный нами ОПХК (как и все известные принципы) установлен опытным путем как обобщение большого количества опытных фактов. Предлагаемый ОПХК основан на двух постулатах:

1. В качестве основного требования выбрана физико-химическая однородность константы скорости κ^1 — частота столкновений, c^{-1}.

2. Впервые в уравнении скорости реакции вместо $\prod_{i=1}^{m} C_i^{n_i}$ принято постулированное выражение приведенной концентрации $\mu^N = \left|\dfrac{\prod_{i=1}^{n} C_i^{\frac{2m_i}{m}}}{\sum_{i=1}^{n} m_i C_i}\right|^N$ (или масса) для одновременно взаимодействующих m-частиц (или тел), где n—общее число сортов частиц (молекул), m_i—число частиц i-го сорта, N-суммарный эффект парциальных порядков N_i, т. к. $\mu^{N_1}\mu^{N_2}\dots$ $\dots\mu^{N_C} = \mu^{\sum_1^i N_i} = \mu^N$, где $0 < N_i < 1$—вероятностная величина, а $N \geqslant 0$.

Согласно принятым постулатам, обобщению опытных фактов и некоторым теоретическим соображениям, установлено, что

$$\left.\begin{matrix} W' \backsim \mu^N \\ W' \backsim \kappa' \end{matrix}\right\}, \text{ тогда } W' \backsim \kappa'\mu^N = \kappa' H \mu^N, \ \frac{\text{моль}}{\text{м}^3 \text{с}},$$

где $\kappa' = \kappa_0' e^{-E/RT}$, c^{-1};

μ^N—приведенная концентрация, $\left(\dfrac{\text{моль}}{\text{м}^3}\right)^N$;

H—коэффициент пропорциональности, $\left(\dfrac{\text{м}^3}{\text{моль}}\right)^{N-1}$.

Для коэффициента H были рассмотрены некоторые приближения, используемые при интерпретации и определении выражения скорости реакции. Для H установлено, что $H = v_0^{N-1} = \left(22{,}414 \cdot 10^{-3} \dfrac{\text{м}^3}{\text{моль}}\right)^{N-1}$.

Согласно ОПХК для схемы реакции $A + B \to D$ про $C_A \gg C_B$ получим: $W' = \kappa_1' H_1 \mu_1^{N_1} = \kappa_1' H_1 \left(\dfrac{C_A C_B}{C_A + C_B}\right)^{N_1} = \kappa_1' H_1 \dfrac{C_B}{1 + \dfrac{C_B}{C_A}} = \kappa_1' H_1 C_B \dfrac{\text{моль}}{\text{м}^3 \cdot c}$,

если $C_A = C_B$, то $\mu_1 = \dfrac{C_A}{2}$ или $\dfrac{C_B}{2}$, то $W' = \kappa_1' H_1 \left(\dfrac{C_A}{2}\right)^{N_1}$ или $W' = \kappa_1' H_1 \left(\dfrac{C_B}{2}\right)^{N_1}$; если $A + B \underset{\kappa_{-1}'}{\overset{\kappa_1'}{\rightleftarrows}} D$, то $W' = \kappa_1' H_1 \mu_1^{N_1} - \kappa_{-1}' H_{-1} \mu_{-1}^{N-1}$ при

динамическом равновесии $W' = 0$, тогда $W_1' = W_{-1}'$ или $\kappa_1' H_1 \mu_1^{N_1} = \kappa_{-1}' H_{-1} \mu_{-1}^{N-1}$, или $\kappa_1' H_1 \left(\dfrac{C_A C_B}{C_A + C_B}\right)^{N_1} = \kappa_{-1}' H_{-1} C_D^{N-1}$, откуда $\dfrac{\kappa_1'}{\kappa_{-1}'} = \dfrac{H_{-1}\mu_{-1}^{N-1}}{H_1 \mu_1^{N_1}} = \dfrac{H_{-1} C_D^{N-1}}{H_1 \left(\dfrac{C_A C_B}{C_A + C_B}\right)^{N_1}} = K'$—симплексная величина, б/р.

Очевидно, что предлагаемый в данной статье принцип может стать справедливым только в том случае, если он удовлетворительно опишет опытные данные для многочисленных процессов. В качестве экспериментального подтверждения ОПХК можно указать на расчеты, проведенные по настоящее время для 16 процессов разной сложности. Сформулированный в данной статье ОПХК позволяет получить ЕВСР для любой молекулярности и порядка с едиными и постоянными физическими понятиями таких физико-химических величин, как константы скорости реакции κ^1, равновесия K^1, приведенной концентрации μ, «порядка реакции N''», коэффициента пропорциональности H и, наконец, выражения скорости реакции W^1.

ОПХК позволяет перейти от формальной картины ХК к неформальной. Это стало возможным благодаря принятию физической однородности константы скорости, симплексности константы равновесия, пропоциональности скорости реакции приведенной концентрации для m одновременно взаимодействующих частиц и др. Из изложенного следует, что ОПХК позволяет внести ясность в наши представления о скорости химической реакции. В рамках ОПХК была развита теория ХК как для простых, так и для сложных ХР. Нами накоплено много конкретных примеров разной сложности, подтверждающих его правоту. Проведенные расчеты на основе ОПХК для различных ХР показали, что он позволяет правильно предсказывать многие закономерности исследуемых реальных процессов и хорошо описывает широкий круг экспериментальных данных.

Литература

1. *Лейдлер К.* Кинетика органических реакций. — М.: Мир, 1966. 2. *Робинсон П., Холбрук К.* Мономолекулярные реакции. — М.: Мир, 1975. 3. *Эмануэль А. М., Кнорре Д. Г.* Курс химической кинетики. — М.: Высшая школа, 1974. 4. *Еремин Б. Н.* Основы химической кинетики в газах и растворах. — М.: Изд-во МГУ, 1971. 5. *Фичини Ж., Ламброзе-Бабер Н.* Основы физической химии. — М.: Мир, 1972. 6. *Кондратьев В.* Кинетика химических газовых реакций. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. 7. *Франк-Каменецкий Д. А.* Диффузия и теплопередача в химической кинетике. — М.: Наука, 1967.

Поступило 4. III 1987.

АзНПО «Нефтегазавтомат», НИПИНефтехимавтомат

П. С. Нағызадә

КИМЈӘВИ КИНЕТИКАНЫН ҮМУМИ ПРИНСИПИ

Мәгаләдә илк дәфә олараг кимјәви реаксијаларын сүр'әтини тә'јин етмәк үчүн үмуми принсип верилмиш вә практики олараг тәсдиг едилмишдир.

P. S. Nagi-zade

GENERAL PRINCIPLE OF CHEMICAL KINETICS

The questions of creating unit expression for reaction rate with physical homogeneity of rate constant for any molecularity and order are considered in this article.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 551.24(479.24—12)

ГЕОТЕКТОНИКА

Б. В. ГРИГОРЬЯНЦ, И. С. ГУЛИЕВ

ОБРАТНЫЕ СООТНОШЕНИЯ В СКЛАДЧАТОЙ СТРУКТУРЕ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ ФОРМАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ОТЛОЖЕНИЙ И ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНО-КАСПИЙСКОЙ ВПАДИНЫ)

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

В истории развития идей о механизмах складкообразования отчетливо намечаются этапы, характеризующиеся преобладанием тех или иных концепций. Наиболее распространенные представления исходят из определяющей роли внешних воздействий (движения плит, мантийный диапиризм, горизонтальные течения в мантии, неравномерность вращения Земли и т. д.) на земную кору.

За последние десятилетия широкое распространение получила идея формирования складчатости непосредственно за счет процессов, происходящих в земной коре. Наиболее четкую интерпретацию эти представления получили в концепции инверсии плотностей, обусловленной процессами метаморфизма на инверсионной стадии геосинклинального режима. Вместе с тем накапливались данные (в основном по молодым сверхглубоким депрессиям), в которых описывались примеры возникновения складчатости непосредственно на стадии накопления осадков, в связи с чем соответствующие структуры получили название структур роста. Однако деформациям, синхронным с накоплением осадков, придавалось значение случаев, осложняющих складчатость, облик которой сформировался в основном на орогенной стадии развития бассейнов.

Обобщение большого фактического материала по складчатой структуре осадочных толщ в областях развития грязевого вулканизма наглядно показало наличие обратных соотношений в строении кровли и подошвы этих толщ. Наиболее наглядно обратные соотношения между кайнозойским осадочным чехлом и мезозойским или докайнозойским складчатым основанием выражены в Южно-Каспийской впадине (ЮКВ), где мощности первого измеряются величинами более 10—15 км, достигая даже 25 км [1]. Аналогичный вывод сделан и относительно структурных соотношений между альпийским (мел, юра) геосинклинальным комплексом отложений и доальпийским фундаментом на востоке Большого Кавказа [2].

Была выдвинута идея о том, что возникновение обратных, или инверсионных, соотношений (в особенности в поверхностном выполнении прогибов) связано с формированием складчатой структуры в результате прогибания как следствие автономных процессов, протекающих в этом поверхностном выполнении, обусловленных внутренней энергетикой осадочной толщи и не зависящих непосредственно от воздействий внешних сил [2]. С точки зрения оценки физико-химических условий и механических процессов возможность проявления автономного складкообразования в осадочном бассейне оказалась реальной. Л. А. Буряковский и Р. Д. Джаваншир (1985) наглядно показали возникновение в процессе осадконакопления резких различий в поровых давлениях осадочного выполнения прогибов, в их краевых и центральных частях. В результате формируется горизонтальный градиент эффективного давления и плотности, направленный от периферии к центру и определяющий бассейн, точнее, его поверхностное выполнение как неравновесную систему.

Чрезвычайно существенным, возможно, решающим фактором, вызывающим механическую нестабильность системы напластований, являются процессы газообразования, протекающие в глубоких горизонтах ЮКВ. Так, показано, что высокая интенсивность протекания процессов газообразования в ЮКВ сохраняется на больших глубинах [3].

Численные оценки показали, что в глубокопогруженных горизонтах ЮКВ могут быть достигнуты такие скорости образования (миграции) газов, что глинистое вещество разуплотняется до состояния псевдосжижения и даже течения подобно вязкой жидкости [4].

Наличие таких разуплотненных глинистых пород четко фиксируется по скоростям распространения сейсмических волн. В частности, на скоростной модели ЮКВ зоны недоуплотнения (низкоскоростной интервал) фиксируются на глубинах начиная с 7 км (рис. 1). До этих глубин скорости сейсмических волн возрастают, что свидетельствует об уплотнении пород с глубиной.

Неизбежный итог разуплотнения — инверсия плотностей и механическая нестабильность системы напластований, приводящие к перераспределению вещества в соответствии с плотностями, глинистому и соляному диапиризму и грязевому вулканизму и в целом к увеличению объема пород.

Так, в пределах ЮКВ образование складчатости и частная инверсия геотектонического режима (трансформация прогиба в поднятие) отчетливо выражены на участке Бакинского архипелага (рис. 2). Этот процесс при низких температурах и практически при отсутствии мантийных флюидов в ЮКВ [3] в значительной степени идет за счет собственной энергии осадочной толщи.

Достаточно контрастно процесс автономного складкообразования проявляется и в других молодых сверхглубоких депрессиях, где в связи с высокой скоростью погружения, затрудненным оттоком воды, низкой степенью катагенетической превращенности органического вещества и самих пород формируются неравновесные системы, релаксация (выравнивание) которых путем механического перемещения в пространстве представляется весьма реальным, практически неизбежным явлением. Такие процессы фиксируются в виде дисгармоничной складчатости, имеющей изоклинально-чешуйчатый характер, повторения в разрезе осадочного выполнения одних и тех же горизонтов, глинистого диапиризма и грязевого вулканизма и в конечном итоге в виде обратных соотношений в структуре кровли и подошвы осадочного чехла. Достаточно уверенно они могут быть объяснены и в рамках существующих физико-химических представлений и подтверждены натурным, физико-химическим и математическим моделированием процессов складкообразования и грязевого вулканизма.

С изложенных позиций складкообразование и инверсия тектонического режима представляются как свойство осадочных пород, неизбежно реализующиеся на определенных стадиях развития осадочно-породных бассейнов. Настаивая на справедливости этого положения, авторы не отрицают роли глубинных тектонических процессов в формировании складчатой структуры. Принципиально важным, однако, является то, что внешний источник энергии может воздействовать на осадочную

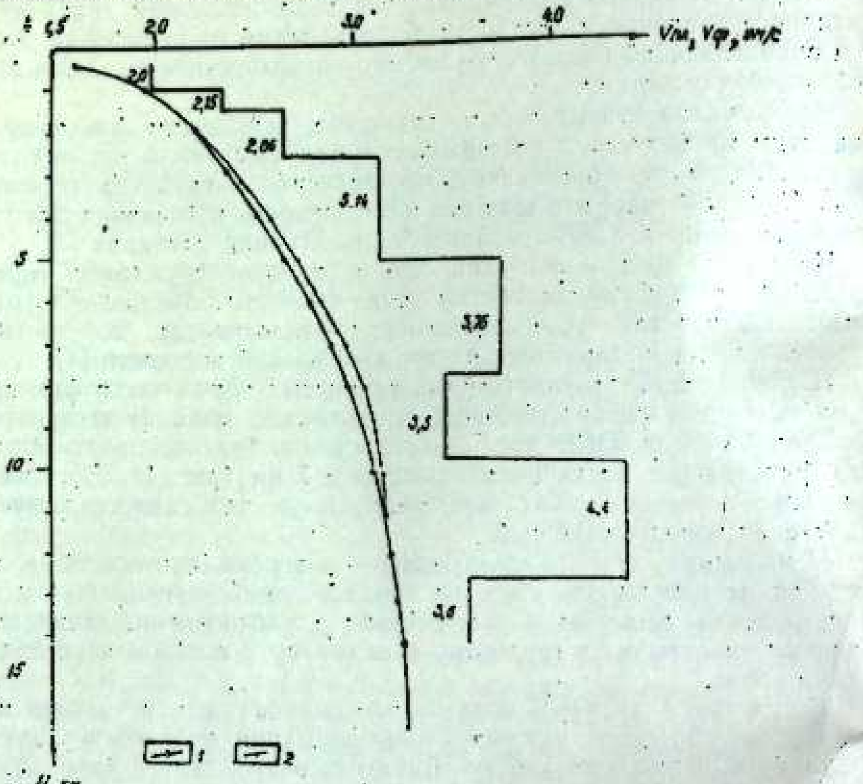


Рис. 1. Обобщенная скоростная модель осадочного чехла Южно-Каспийской впадины (по М. М. Раджабову и др.):
1 — кривая средних скоростей по данным параметров обобщенной скоростной модели; *2* — принятая кривая средних скоростей для данной зоны

толщу не механически, а опосредованно, через флюидную динамику и тепловой поток, которые обеспечивают реализацию потенциальной энергии в самой осадочной толще, например, в виде разуплотнения пород. Приведенная аргументация ставит своей задачей акцентировать внимание на том факте, что уже на стадии прогибания толщи осадочных пород представляют собой не инертную среду, складчатая структура которых обусловлена исключительно внешним воздействием — приложением горизонтальных или вертикальных сил, а богатую потенциальной энергией неравновесную систему, обеспечивающую проявление автономных процессов. Надо полагать, что именно за счет таких процессов формируются обратные соотношения между кровлей и подошвой толщ, выполняющих прогибы и не несущих свидетельств непосредственного (механического) воздействия глубинных процессов.

Представляется достаточно вероятным, что возникновение на глубинах 8—10 км и более неравновесных систем возможно не только в осадочных, но и в вулканоосадочных толщах. В этом случае обратные соотношения в структуре поверхности и подошвы одного и того же

формационного комплекса или смежных формационных разновозрастных комплексов отложений вообще должны рассматриваться как следствие приведения в равновесие сложных систем в земной коре на указанных глубинах.

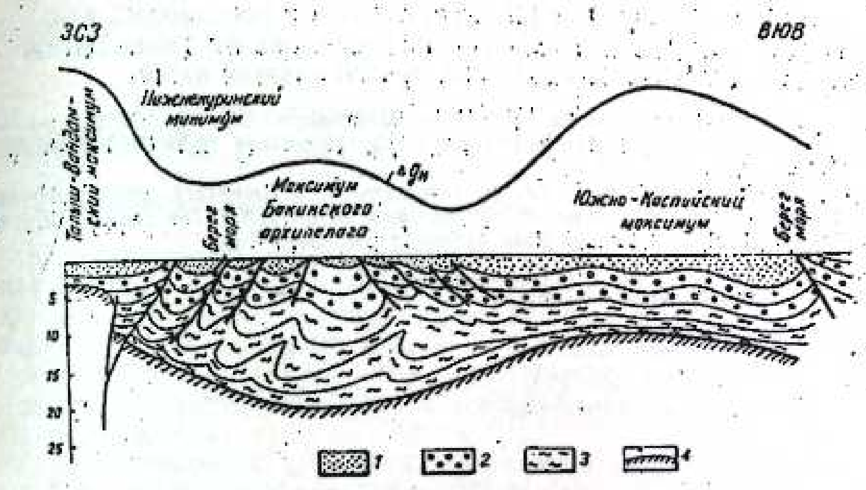


Рис. 2. Принципиальная схема структурных соотношений между осадочным (кайнозойским) выполнением и докайнозойским складчатым основанием Южно-Каспийской впадины.
Возрастные комплексы отложений: *1* — квартер, *2* — плиоцен, *3* — миоцен-палеоген, *4* — поверхность докайнозойского складчатого основания, построенная по обобщенным материалам ГСЗ и данным бурения Саатлинской СГ; $\Delta g_н$ — кривая наблюденного поля силы тяжести

Есть достаточно убедительные примеры и теоретические предпосылки полагать, что обратные соотношения в складчатой структуре — явление более общее, характерное не только для областей развития грязевого вулканизма: в последнем случае оно выражено более наглядно и может быть надежно установлено.

Литература

1. *Shikhalibelly E. Sh., Grigoriants B. V.* — Tectonophysics, 1980, 69, 113—321. 2. *Григорьянц Б. В.* — Геотектоника, 1982, № 4, с. 42—53. 3. *Дадашев Ф. Г., Гулиев И. С.* — В кн.: Очерки по геологии Азербайджана. Баку, 1984, с. 126—148. 4. *Иванов В. В., Гулиев И. С.* — Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 1986, т. 61, вып. 1, с. 72—80.

Поступило 26. III 1987.

Институт геологии АН АзССР

Б. В. Григорјантс, И. С. Гулијев

МҮХТӘЛИФ ЈАШЛЫ ФОРМАСИЈА КОМПЛЕКСИ ЧӨКҮНТҮЛӘРИНИН ГЫРЫШЫГЛЫГ СТРУКТУРЛАРЫНДА ӘКС НИСБӘТИ ВӘ ОНЛАРЫН ЈАРАНМА СӘБӘБЛӘРИ (ЧӘНУБИ ХӘЗӘР ЧӨКӘКЛИЈИ ТИМСАЛЫНДА)

Мәгаләдә дәрин чөкәкликләри долдурулмуш чөкмә сүхур гатларында мүстәгил гарышыглыг әмәләкәтирмә вә кеотектоник инверсија режиминин зәрурилијиндән бәһс едилир вә бу просеси чөкүнтү гатынын өз енержи ресурсу илә бағлы олмасы асылы-

лығы көстәрилир. Еіни заманда дәринлик просесләринин чөкмә гатлара олан тә'сири механики дејил, флүидләрин динамикасы вә истилик ахымлары һесабына баш вердији нәзәрдә тутулур.

B. V. Grigoryants, I. S. Guliev

INVERSE RELATIONS IN FOLD STRUCTURE OF DISCORDANT AGE FORMATION COMPLEXES AND POSSIBLE REASONS OF THEIR ORIGIN (ON THE EXAMPLE OF THE SOUTH-CASPIAN BASIN)

The article deals with inevitability of the independent folding and the geotectonic regime inversion within the sedimentary series of surface filling of trough (first of all superdeep).

This process is stipulated by energy resources of sedimentary series. Abyssal processes or external energy resources are assumed to influence the sedimentary series not mechanically but through fluid dynamics and heat flow.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 631.416.8

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Н. А. АГАЕВ

К БИОГЕОХИМИИ МЕДИ И МОЛИБДЕНА В ЛАНДШАФТАХ МАЛОГО КАВКАЗА АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР Г. А. Алиевым)

Ставя конечными целями работы биогеохимическое районирование Малого Кавказа на территории Азербайджанской ССР (за исключением Нахичеванской АССР) и агрохимический прогноз размещения и эффективности микроудобрений в сельском хозяйстве, полагаем, что успешное решение данной задачи может иметь определенное научное значение и играть практическую роль в использовании природных богатств указанного региона.

Среди рассеянных химических элементов в качестве объектов изучения были взяты медь и молибден. Выбор этих элементов обусловлен двумя обстоятельствами: во-первых, физиологической важностью их для живых организмов и, прежде всего, для растений; во-вторых, недостатком или отсутствием сведений по биогеохимии и агрохимии данных элементов в условиях Малого Кавказа Азербайджанской ССР, необходимых для решения ряда научных и практических вопросов.

Исследования проводились с 1980 по 1985 г. Но и раньше нами проводились аналогичные исследования в рассматриваемом регионе: 1966 — 1970 гг. — в Кировабад-Казахской зоне и 1973 — 1975 гг. — совместно с Х. И. Халиловой и А. М. Али-заде в почвах пастбищных угодий Малого Кавказа.

Во время исследований кроме почвенных образцов собраны также образцы культурной и дикой растительности, взяты пробы поверхностных и почвенно-грунтовых вод.

На типичных с точки зрения комплекса природных условий участках закладывали почвенные разрезы. Из разрезов образцы брали в мешки из ткани по всем генетическим горизонтам. Здесь же собирали с почвы, охарактеризованной разрезом, надземную часть растительности, которую в поле же подсушивали, разделяя ее на систематические группы до воздушно-сухого состояния. С целью определения содержания микроэлементов в травяной массе на сенокосах и пастбищах выборочно делали пробные укосы. Воду из озер, рек, ручьев, а также грунтовые воды, вскрытые разрезами, отбирали в стеклянные банки, бутылки белого цвета или полиэтиленовые канистры разного объема. Объем проб воды зависел от степени ее минерализации. По сравнению с засоленными пресные воды брали в большем количестве.

Объектами исследования также служили различные типы, подтипы и виды почв Малого Кавказа, сельскохозяйственные растения, выращенные или распространенные в районах отбора образцов (проб) для анализов.

К изученным сортам сельскохозяйственных растений и видам луговых трав относятся: виноград Ркацители, картофель Лаймдота, люцерна Азербайджан-262, дуб, каркас, можжевельник, держи-дерево, боярышник, земляника, молочай, ромашка, чертополох, злаковое разнотравье и др.

Пробы растений брали в фазу летней вегетации (цветения). Соответствующие анализы микроэлементов проводили в абсолютно сухой биомассе растений.

Почвенные образцы отбирали по методикам М. Г. Синягиной и И. Г. Важенина.

Валовое содержание микроэлементов в большинстве образцов горно методом эмиссионного спектрального анализа, частично химическими методами. Определение валовых форм — приближенных количеств меди и молибдена — проведено на дифракционном спектрографе ДФС-8-1 испарением из кратера угольного электрода.

Валовое содержание микроэлементов в почвах рассчитано на прокаленную при 450°С навеску.

Все спектральные определения микроэлементов в горных, почвообразующих породах, почвах и частично в растениях и природных водах выполнены в лаборатории спектрального анализа Управления геологии Совета Министров Азербайджанской ССР Т. Гусейновой и С. Алекперовой.

Другие микроэлементы в растениях, природных водах, а также подвижную форму в почвах, которые невозможно было пропустить по спектральному анализу, определяли калориметрическим методом.

Кроме этого, часть анализов проведена в лаборатории массовых анализов Почвенного института им. В. В. Докучаева.

Как показывают результаты проведенных иcследований (таблица), содержание валовых и подвижных форм меди в пахотном слое (0 — 30 см) различных типов почв Малого Кавказа колеблется в пределах соответственно 1,0 — 58,0 и 0,8 — 6,5 мг/кг. Высоким содержанием меди характеризуются такие почвы, как горно-луговые черноземовидные, горные черноземы, горные темно-каштановые и другие, а наименьшим — горно-лесные бурые слабо-и среднеоподзоленные и другие. Отдельные типы изученных почв отличаются ролью органических веществ и ила при накоплении как валовых, так и подвижных форм меди.

Несмотря на некоторую степень накопления меди в перегнойно-аккумулятивном горизонте, в целом распределение меди по профилю идет равномерно.

Концентрация молибдена в пахотном слое (0 — 30 см) изученных почв Малого Кавказа варьирует в пределах: валовые формы — 0,6 — 7,5, подвижные формы — 0,03—1,20 мг/кг. Это показывает, что содержание подвижных форм молибдена в почвах Малого Кавказа гораздо ниже, чем в других почвах.

Наименьшее валовое содержание молибдена наблюдается в горно-лесных перегнойно-карбонатных, горно-луговых торфянистых, дерновых, степных каштановых гажевых и других почвах (0,6—1,6 мг/кг), наибольшее — в горно-луговых черноземовидных, горных черноземах и бурых горно-лесных почвах (1,9—7,5 мг/кг).

Между содержаниями гумуса, илистой фракции и молибдена определена прямая корреляционная связь.

Установлено, что во многих исследованных типах почв Малого Кавказа содержание гумуса и илистой фракции оказывает влияние на распределение молибдена в почве.

В большинстве типов почв Малого Кавказа, несмотря на оптимальное содержание валовых запасов микроэлементов, выявлено весьма низкое содержание их подвижных форм. Так, это содержание в гумусовом горизонте (0—30 см) составляет: меди — 0,8—6,5, молибдена — 0,03—1,20 мг на 1 кг почвы.

Содержание меди и молибдена в некоторых почвах малого Кавказа Азербайджанской ССР

Глубина образца, см	Гумус, %	Ил, %	$CaCO_3$, %	pH водн.	Медь, формы: валовая, мг/кг	Медь: подвижная, мг/кг	Медь: подвижная, % от валовой	Молибден, формы: валовая, мг/кг	Молибден: подвижная, мг/кг	Молибден: подвижная, % от валовой
Горно-луговые черноземовидные среднемощные почвы на щебне порфирита. Кедабекский р-н. Разрез 161										
0—20	10,4	30,1	нет	6,7	25,6	3,1	12	3,4	0,60	18
20—40	6,0	39,1	"	6,8	27,4	3,4	12	3,9	0,57	15
40—60	4,2	20,2	"	6,6	20,2	2,2	11	2,0	0,29	14
смеш. обр. 0—30	7,4	36,1	"	6,7	26,0	3,3	13	3,1	0,55	18
Горно-лесные бурые слабо- и среднеоподзоленные. Кельбаджарский р-н. Разрез 360										
0—20	4,2	14,2	нет	6,1	8,8	0,8	9	1,6	0,07	4
20—45	2,8	15,5	"	6,0	8,0	0,7	9	1,8	0,09	5
45—60	1,7	10,0	"	6,1	7,1	0,4	6	1,2	0,05	4
60—80	1,2	13,8	"	5,8	7,8	0,6	8	1,3	0,05	4
80—100	н/о	15,0	"	5,9	6,2	0,3	5	1,4	0,06	4
смеш. обр. 0—30	3,5	15,1	"	6,0	7,9	0,7	9	1,6	0,07	4
Горные каштановые, остаточно-засоленные легко-, средне- и тяжелосуглинистые почвы на лесовидных гипсоносных суглинках. Физулинский р-н. Разрез 525										
0—30	2,0	29,2	9,6	7,7	23,3	2,8	12	2,2	0,5	23
30—60	1,1	33,3	18,0	7,9	20,0	2,1	10	1,7	0,2	12
60—90	0,7	23,4	14,1	8,2	15,7	1,6	10	1,8	0,2	11
90—120	0,4	24,0	15,5	8,4	12,4	1,2	10	1,8	0,3	11
120—150	н/о	25,5	17,8	8,8	8,6	0,6	7	1,5	0,2	13
смеш. обр. 0—30	2,1	30,7	10,7	7,8	24,7	2,7	11	2,1	0,5	24
Коричневые светлые маломощные легко- и среднесуглинистые на молодых порфиритах. Дашкесанский р-н. Разрез 267										
0—20	2,2	26,7	7,2	7,2	16,8	1,7	10	1,2	0,05	4
20—40	1,9	39,8	10,9	7,4	15,1	1,4	9	1,2	0,04	3
40—60	1,2	41,2	11,6	7,3	12,7	1,0	8	1,1	0,02	2
смеш. обр. 0—30	2,0	33,3	8,6	7,3	15,7	1,5	10	1,2	0,03	2

Это, видимо, зависит от валового количества микроэлементов, гранулометрического состава почв, а также от содержания в почве гумуса и реакции почвенной среды. Между подвижной формой микроэлементов и указанными факторами существует корреляционная связь разной силы.

Доля подвижной формы в валовом количестве каждого из исследованных микроэлементов в пахотном горизонте (0—30 см) неодинакова: для меди 9—13% для молибдена — 2—24%.

По генетическим горизонтам почв распределение подвижной формы микроэлементов не всегда повторяет распределение их валового количества. Для всех почв Малого Кавказа подвижные формы микроэлементов в основном аккумулируются гумусовом горизонте. С глубиной их содержание падает.

В пахотном горизонте (0—30 см) Малого Кавказа проведена группировка почв, отражающая уровень содержания валового количества и подвижной формы микроэлементов, что имеет большое практическое значение.

Значительным колебаниям подвержены также содержания микроэлементов в природных водах. Здесь в основном повышение количества микроэлементов в водах наблюдается от высокогорий к низкогорьям.

В зависимости от природного гидрологического района концентрация изученных микроэлементов заметно изменяется.

Различия между минимальными и максимальными концентрациями достигают 1—2 математических порядков.

Изученные речные, родниковые и озерные воды Малого Кавказа по концентрации микроэлементов не превышают норму международного стандарта и ГОСТа, установленную для питьевой воды.

На миграцию микроэлементов в ландшафте большое влияние оказывает растительность. Почти все изученные микроэлементы относятся к группе слабого накопления и среднего захвата (КБП<1). Исключение составляют следующие виды растений: шиповник (листья), дуб (листья), клен (листья), граб (листья), держи-дерево, боярышник, земляника и другие, которые по изученным микроэлементам относятся к биофилам (КБП>1).

Институт почвоведения и агрохимии
АН АзССР

Поступило 8.X 1985

Н. А. Агајев

АЗӘРБАЈЧАН ССР КИЧИК ГАФГАЗ ЛАНДШАФТЛАРЫНДА МИС ВӘ МОЛИБДЕН БИОКЕОКИМЈАСЫ ҺАГГЫНДА

Мәгаләдә бир нечә ил әрзиндә (1966—1970, 1973—1975 вә 1980—1985 илләр) даг вә торпаг әмәләкәтирмә сүхурларында, торпагларда, биткиләр вә суларда апарылмыш микроелементләрин мигдары вә пајланмасынын өјрәнилмәсиндән данышылыр.

Тәдгигатлардан мүәјјән олунмушдур ки, микроелементләрин мигдары бүтүн објектләрдә хејли дәрәчәдә варкәл етмишдир. Беләки, торпагларын мүхтәлиф типләрә мәнсуб олмасындан асылы олараг мис вә молибденин мигдары ашағыдакы мигдарда олмушдур: үмуми формалары 1,0—58,0 вә 0,6—7,5 мг/кг вә мүтәһәррик формалары 0,8—6,5 вә 0,03—1,20 мг/кг. Бу ганунаујғунлуг суларда вә биткиләрдә дә мүшаһидә едилмишдир.

N. A. Agaev

THE BIOGEOCHEMISTRY OF COPPER AND MOLYBDENUM IN THE LANDSCAPES OF THE MINOR CAUCASUS OF THE AZERBAIJAN SSR

Among the disperse chemical elements in quality of objects study the copper and the molybdenum are taken.

The research of these questions was carried out during some years (1966—1970,

1973—1975 and 1980—1985), and the content and distribution of shown microelements in mountains and soil-forming rocks, soils, plants and natural water in the Minor Caucasus were studied.

The result of carried out researches shows that the content of copper and molybdenum in arable layer (0—30 cm) of different types of soils of the region varies within: the gross form—accordingly 1.0—58.0 and 0.6—7.5 mg/kg and the mobile form—0.8—6.5 and 0.03—1.20 mg/kg.

The considerable vibration exposes also the content of microelements in natural water. Here rizing quantity of microelements in water observes from high and low mountains.

It is determined that also the great influence on migration of microelements in landscape has vegetation. All studies of microelements concern the weak accumulation and middle accumulation of group.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД | № 8 | 1987

УДК 631.4:572.1(479.24)

ЛЕСНОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Акад. АН АзССР Г. А. АЛИЕВ, Г. Р. АЛЛАХВЕРДИЗАДЕ

ОБ АНТРОПОГЕННОМ ВЛИЯНИИ НА ПОЧВЫ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ В АРИДНЫХ РЕДКОЛЕСЬЯХ АДЖИНОУРА

Аджиноурские аридно-денудационные низкогорья занимают особое
географическое положение, обладают своеобразным геологическим стро-
ением, находятся на стыке нескольких типов климата, характеризуются
активными эндогенными и экзогенными процессами рельефообразования,
неповторимыми ботанико-географическими особенностями и другими спе-
цифическими чертами, не свойственными ни одной из аналогичных тер-
риторий не только Закавказья, но и сопредельных регионов, т. е. явля-
ются вообще уникальными в биоклиматическом отношении. Поэтому
здесь имеются условия для развития различных видов деятельности
человека. Об этом свидетельствуют исторические, археологические и дру-
гие материалы.

В. В. Акимцев пишет: «Здесь (в Азербайджане. — *Г. А.*), как, воз-
можно, нигде в другом месте Советского Союза почвы несут следы
интенсивного воздействия человека. Они издавна являлись объектом
труда и средством производства» [1]. Это утверждение нашло более
подробное обоснование в исследованиях геоботаников [2, 3, 4], почво-
ведов [5] и ландшафтоведов [6].

Л. И. Прилипко указывает, что деятельность человека внесла боль-
шие изменения в современную флору. Найденные остатки Juniperus
oblonga M. B. в кировых плейстоценовых отложениях Апшерона [7] и
сохранившиеся «священные рощи» можжевельника многоплодного
(J. polycarpa C. Koch) в полупустынных окрестностях ст. Дуванный
свидетельствуют о произрастании редколесий с сосной эльдарской по
всему пространству Боздага и Степного плоскогорья*.

Ныне сосновые редколесья сохранились только в местечке Элляро-
югу, на западной границе Джейранчель-Аджиноурского региона. Во
многих случаях на месте сведенных лесов развивалась нагорно-ксеро-
фитная растительность. Значительное распространение получил поли-
урусовый шибляк на месте уничтоженного аридного редколесья, а в
ряде случаев — полустепные травянистые сообщества.

Изменение растительности оказало значительное влияние на харак-
тер почв и почвообразование. Однако значительные изменения почв и
почвенного покрова произошли в результате развития земледелия. Сле-
дует заметить, что рассматриваемый регион относится в целом к слабо-
обжитым с древнейшего времени территориям. Однако по обрамлениям
этого массива размещены такие древние очаги культуры, как Минге-
чаур, Кабала и др. Как указывает П. А. Бунятов [8], в этих районах

* Степное плоскогорье — общенаучное название Аджиноурских низкогорий, встре-
чающееся в работах геоботаников, а также почвоведов Азербайджана.

земледелие стало развиваться начиная с I тысячелетия до н. э. По ус-
ловиям рельефа для земледелия пригодны почвы Арешской, Трутской
и Сарыджинской равнин (особенно урочище Агязы), где было возмож-
но возделывание хлебных злаков в богарных условиях. Мингечаур-Ха-
набадская синклинальная долина и Аджиноурская котловина менее
пригодны для земледелия ввиду распространения засоленных почв и
недостаточности естественного увлажнения. Почвы выровненных поверх-
ностей Дашюз-Амирванского хребта также в значительной степени ис-
пользовались для земледелия.

Территория Аджиноурских низкогорий в течение многих веков ис-
пользуется как пастбище для отгонного животноводства. Благоприятные
климатические условия этого региона позволяют вести выпас скота в
зимнее время. Поэтому растительный покров повсеместно носит вторич-
ный характер.

Аридные редколесья, некогда покрывавшие склоны отрогов Аджи-
ноурских низкогорий, в историческое время в сильной степени сведены,
а наименее нарушенные участки сохранились небольшими островками
на крутых склонах и ныне охраняемых массивах Турианчайского запо-
ведника. Изменение растительного покрова, а отчасти и его уничтоже-
ние привели к заметным изменениям почв. Прежде всего нужно отме-
тить усиливающуюся эрозию почв, которая способствовала оголению
крутых склонов.

В Аджиноурских низкогорьях встречаются почти все типы эрозии.
Наиболее распространенными в этом районе являются плоскостная и
линейная, а ирригационная и ветровая эрозии имеют подчиненное зна-
чение.

Интенсивному развитию эрозионных процессов в Аджиноурских
низкогорьях, кроме таких природных факторов, как глубина местных
базисов эрозии, уклоны поверхности, расчлененность территории, ли-
тологический состав слагающих пород, климат (особенно характер вы-
падающих осадков), способствует также и хозяйственная деятельность
человека.

Исследованиями Ф. Д. Эйюбова [9] выявлено, что 51,0 земель от об-
щей площади территории в различной степени поражены эрозией: из
них 17,3 в слабой, 14,3 в средней и 20,3 в сильной степени. Смыв почвы
вызывает большую потерю питательных элементов. Из 0—30-см слоя
среднесмытых разностей горно-лесных коричневых остепненных почв она
составляет: гумуса 56 (38,5%), общего азота 1,4 (20,2%), усвояемого
фосфора 0,044 т/га (100%).

Развитию ложбин, старых русел, оврагов и других форм линейной
эрозии способствовало интенсивному расчленению территории, а также
иссушению почвенной массы, ибо увеличение доли поверхностного стока
привело к уменьшению запасов почвенной влаги. Расчлененность тер-
ритории оврагами и балками на исследуемом регионе составляет 5—8
км/км.² Длина оврагов — 60—120, а иногда доходит до 1000 м.

Нарушение целостности почвенного покрова и изменение водного
режима, уменьшение поступления органического вещества и ряд других
причин, прямо или косвенно связанных с антропогенным фактором, при-
вели к изменению направления почвообразования.

Необходимо указать, что антропогенный фактор способствовал на-
рушению характера взаимодействия факторов почвообразования. Преж-
де всего необходимо подчеркнуть усиление самого антропогенного фак-
тора, а через него и изменение растительности. В зависимости от пос-

ледней, с одной стороны, произошло изменение гидротермического режима почв, а с другой — усилилась интенсивность минерализации органических продуктов, изменилось количество и качество биомассы. Если учесть, что эти процессы протекали в течение длительного исторического периода, можно говорить о возможности изменения направления почвообразования.

Так, на крутых склонах изменение растительности (уничтожение) способствовало смыву и размыву почв, что привело к их деградации в сторону бедлендов. На сравнительно пологих склонах этот процесс приводит к образованию маломощных недоразвитых, малогумусных скелетных почв. Смытый со склонов мелкозем под влиянием временных водных потоков транспортируется в понижения и депрессии, и тем самым происходит формирование намытых почв. Если учесть, что этот процесс продолжался в течение довольно длительного периода, можно констатировать, что антропогенный фактор оказал заметное влияние и на характер котловин и межгорных понижений (Агязы, Сарыджа, Трут, Аджиноур и др.).

Таким образом, можно предполагать, что в историческое время произошли заметные изменения процессов почвообразования и дифференциации почвенного покрова. Поэтому наиболее типичные почвы сохранены под комплексами аридно-редколесных ассоциаций, почвы равнин и пологих склонов эволюционируют в сторону степного типа почвообразования, а почвы крутых и расчлененных склонов, деградируясь, постепенно превратились в бедленды.

Все это наводит на размышление о парагенезисе и полигенезе почв исследуемой территории. По-видимому, с этим связано то обстоятельство, что исследователи выделяли множество самостоятельных таксономических единиц почв, что приводило порой к противоречивым объяснениям их генезиса.

Действительно, на сравнительно небольшом регионе, каким является Аджиноур, выделение черноземов, каштановых, коричневых и серо-бурых почв требует фундаментального обоснования специфичности как условий почвообразования, так и наличия своеобразной общности генетически самостоятельных типов почв. Разумеется, что эта задача ждет своего решения как предмет специальных исследований.

Литература

1. *Акимцев В. В.* Почвы прикаспийской низменности Кавказа. — Ростов-на-Дону, 1957, с. 48. 2. *Бейдеман И. Н., Беспалова З. Г., Рахманина А. Т.* Эколого-геоботанические и агролесомелиоративные исследования в Кура-Араксинской низменности Закавказья. — М. — Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 3. *Сафаров И. С.* Важнейшие древесные третичные реликты Азербайджана.—Баку: Изд-во АН АзССР, 1962. 4. *Прилипко Л. И.* Растительный покров Азербайджана. — Баку: Элм, 1970. 5. *Бабаев М. П.* — Докл. АН АзССР, 1978, № 2, с. 72—75. 6. *Гарибов Я. А.* Антропогенное изменение естественных ландшафтов Ширванской равнины и пути их дальнейшей рациональной реконструкции: Автореф. дис... канд. географ. наук. — Баку, 1982. 7. *Бурчак-Абрамович Н. И.* О распространении можжевельника на Апшеронском полуострове. — Природа, 1946, № 8, с. 69—70. 8. *Бунятов П. А.* Земледелие в древнем и средневековом Азербайджане. — М.: Наука, 1964. 9. *Эйюбов Ф. Д.* Эрозия почв на третичном плато (в междуречье Алджиганчай и Геокчай): Автореф. дис... канд. с.-х. наук. — Баку, 1967.

Институт географии АН Аз ССР

Поступило 21. XII 1986

Һ. Ә. Әлијев, К. Р. Аллаһвердизадә

АЧЫНОВУР СЕЈРӘК АРИД МЕШӘЛӘРИН ТОРПАГ ВӘ ТОРПАГӘМӘЛӘКӘЛМӘ ПРОСЕСИН АНТРОПОКЕН ТӘ'СИРИ ҺАГГЫНДА

Мәгаләдә Ачыновур әразисиндә антропокен факторун тә'сири нәтичәсиндә торпагәмәләкәтирән факторларын гаршылыглы әлагәсиндән вә онларын мүәјјән нисбәтдә позулмаја мә'руз галмасындан данышылыр. Антропокен факторла әлагәдар торпаг өртүјүн позулмасы, су режиминин дәјишмәси, үзвү маддәләрин парчаланмасы вә башга бир сыра сәбәбләр торпагәмәләкәлмә просесинин истигамәтини дәјишмишдир.

H. A. Aliev, G. T. Allahverdizade

ON ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON THE SOILS AND SOILFORMING PROCESS IN THE ARID THIN FOREST AREAS OF AJINOUR

The anthropogenic factor favours the breach of the character of the interrelation of the factors of the soilforming in the territory of A'inour. The breaches conne ted with anthropogenic factors integrity of the soil cover, the change of the water regime, decrease of the organic matter and other reasons lead to the change of the soil forming process in these areas.

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД № 8 1987

УДК 517.97

АРХЕОЛОГИЯ

Ф. В. ГАДИРОВ

ЕЩЕ РАЗ О ДАТИРОВКЕ ОБОРОНИТЕЛЬНЫХ СТЕН КАБАЛЫ (КАЛЫ)

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР З. М. Буниятовым)

Руины городища Кабала находятся на восточной оконечности сел. Чухур-Кабалы Куткашенского района Азербайджанской ССР. Его оборонительные стены до настоящего времени изучены не полностью. Первые исследования по этому вопросу основывались лишь на наземных наблюдениях.

И. П. Щеблыкин, основываясь на размерах верхних остатков южных оборонительных стен Кабалы (Калы), предполагает, что этот памятник является албанским и построен в V—VI вв. [1.90—94]. Это предположение нуждается, однако, в подтверждении археологическими фактами.

Впоследствии, во время проведенных наземных наблюдений, время постройки оборонительных стен на основании обломка глазурованной керамической посуды, обнаруженной в известковом растворе кирпичной кладки, предполагалось отнести к IX—X вв. [2].

В связи с этим предположением надо отметить, что оборонительные стены Кабалы (в особенности Калы) неоднократно подвергались восстановительным операциям. Самые крупные восстановительные работы в Кале проводились в 80-х годах XVI в. Это подтверждают письменные источники [3] и археологические данные (4, 41). Поэтому правильнее было бы предположить, что оборонительные стены Калы в IX—X вв. были не построены, а в очередной раз реставрированы.

Как известно, И. П. Щеблыкин, говоря о кирпичной кладке оборонительных стен Кабалы [1,93], отмечал использование здесь обожженных кирпичей квадратной формы разного размера (15 видов). Время использования этих кирпичей — с VIII—IX вв. до XVIII в. При строительстве оборонительных стен использовались кирпичи, относящиеся к разным периодам. Данный материальный факт еще раз подтверждает, что кладки из обожженных кирпичей в оборонительных стенах появились вследствие дальнейших реставрационных работ. Если это так, то на основании ранней глазурованной керамической посуды, обнаруженной в известковом растворе обожженной кирпичной кладки, предположение о строительстве оборонительных стен Калы в IX—X вв. теряет силу.

Для изучения времени закладки оборонительных стен Калы, устройства их основания, техники их строительства и т. д. в 1983 г. у основания южных оборонительных ворот с внутренней стороны (на месте ворот) были проведены археологические исследования.

В результате проведенных раскопок было выяснено, что двухчастное основание крепостной стены (высота 3 м) находится в материковом

слое (рис. 1). Нижняя часть (высота 0,5, ширина 6,2 м) шире верхней (высота 2,5 ширина 5 м). Это было сделано с целью укрепления крепостных ворот. Обе части фундамента и стена, сохранившаяся примерно на 1,5 м, выстроены из известняковых кубиков крупного размера (в

Рис. 1

среднем 40×60×40 см). Верхняя же часть каменной кладки выстроена из квадратных обожженных кирпичей разного размера на известковом растворе. Интересно, что верхние ряды каменной кладки, расположенной ниже кирпичной, находились в разрушенном состоянии. Так, в некоторых местах каменная кладка разрушена, и пустоты заполнены кирпичной [4, 49—53]. Это свидетельствует о том, что кирпичная кладка появилась в результате ремонтных работ, проведенных после сильного

Рис. 2

разрушения каменной кладки. На основании этого археологического факта можно утверждать, что южные оборонительные стены первоначально были выстроены из известняка (рис. 2).

Что же касается времени закладки оборонительных стен Калы, то надо отметить, что поверх выступающего наружу первого слоя были найдены обломки керамической посуды, характерной только для ялойлутепинской культуры (III—I вв. до н. э.), и обломки античной черепицы [4, 52—53]. На основе этих археологических материалов можно утверждать, что южные оборонительные стены Кабалы (Калы) были заложены в преддверии нашей эры (примерно I в. до н. э.).

Известно, что Плиний Старший, упоминая о Кабале, употребил термин «oppidum». Этот термин, как правило, переводится как «укрепленное место» [5]. Поэтому нет основания не доверять письменным источникам, сообщавшим о Кабале как об укрепленном городе. С этой точки зрения археологический материал, выявленный поверх первого слоя фундамента, при сравнении его с сообщениями письменных источников доказывает правдивость сведений Плиния Старшего.

Литература

1. *Щеблыкин И. П.* Остатки крепостных стен Кабалы. — Докл. АН АзССР, 1945, т. 1, № 2. 2. *Ахмедов Г. А.* Археологические раскопки на территории Калы городища Кабала. — В сб.: Археологические и этнографические изыскания в Азербайджане (1978 г.). — Баку, 1982, с. 31. 3. Азербайджан юрт билкиси. Станбул, 1932, с. 130. — НАИИ АН АзССР, д. № 5113 (на тур. яз.). 4. *Гадиров Ф. В.* Отчеты Кабалинской археологической экспедиции (III отряд, 1983 г.). — Фонд САЭ Ин-та истории АН АзССР, 1983. 5. *Дворецкий И. Х.* Латинско-русский словарь. — М., 1976, с. 707.

Институт истории АН АзССР

Поступило 10. VI 1985

Ф. В. Гәдиров

БИР ДАҺА ГӘБӘЛӘНИН (ГАЛАНЫН) МҮДАФИӘ ДИВАРЛАРЫНЫН ДӨВРҮ ҺАГГЫНДА

И. П. Шеблыкин Гәбәләнин (Галанын) ҹәнуб мүдафиә диварларынын әзәмәтли көрүнүшүнә әсасланыб күман етмишдир ки, бу абидә албанлара аид олуб, тәхминән V—VI әсрләрдә тикилмишдир.

Сон вахтларда јерүстү мүшаһидәләр нәтиҹәсиндә ҹәнуб мүдафиә диварынын бишмиш кәрпич һөркүсүндә истифадә едилән мәһлулун ичәрисиндән тапылан ширли сахсы габ гырыгына әсасән бу диварларын IX—X әсрләрдә тикилдијини күман едилмишдир.

Шәһәрин Гала һиссәсинин мүдафиә диварларынын әсасынын гојулмасыны өјрәнмәк үчүн, 1983-ҹү илдә ҹәнуб дарвазасы дибиндә археоложи тәдгигатлар апарылмышдыр. Газынты нәтиҹәсиндә мүдафиә диварынын ики пилләли бүнөврәси ашкар едилмишдир. Бүнөврәнин биринчи пилләсинин үстүндән тапылан археоложи материаллара әсасән шәһәрин тәхминән е. ә. I әсрдә тикилдијини күман едилир.

F. V. Gadyrov

ONCE AGAIN ABOUT DATE OF DEFENSIVE WALLS OF KABALAH

Basing on dimension of upper rest of south defensive walls of Kabalah (Kala), I. P. Tchebltkyn supposes the monument to be an Albanian one, built in V—VI A. D.

On the grounds of a fragment of glazing ceramic vessel found in a lime solution of a brickwork as well as during further ground observations carried out, the date of foundation of the defensive walls was supposed from IX—X A. D. In 1983 before the foundation of the south defensive walls from inside (on the spot of the former gate), the archaeological researches to study the date of laying of defensive walls of Kala were carried out.

On the ground of the archaeological researches one can say, that the south defensive walls of Kabalah (Kala) were laid on the threshold of A. D. (approximately in I B. C.).

АЗӘРБАЈҸАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ҸИЛД | № 8 | 1987

УДК 78.03

МУЗЫКА

АХМЕД ИСАЗАДЕ

ИЗ ИСТОРИИ ЗАПИСИ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ НАРОДНОЙ МУЗЫКИ

(Представлено академиком АН Азербайджанской ССР М. З. Джафаровым)

Азербайджан издавна славится своей народной музыкой. История развития различных жанров музыкального фольклора таит в себе богатые возможности для изучения художественной и материальной культуры нашего народа.

Одним из многочисленных проявлений большого интереса к азербайджанскому фольклору следует считать публикацию героического эпоса «Кер-оглу» в первой половине XIX в., причем основная роль в этой публикации принадлежит русской этнографической науке.

Так, в 1840 г. в журнале «Маяк» были опубликованы отдельные главы дастана «Кер-оглу» с примечаниями И. Шопена [1]. Через два года польский писатель и ученый (посол России в Тегеране) Александр Ходзько, записав эпос со слов азербайджанского ашыга Садыха, издал на английском языке в Лондоне книги [2], способствовавшую широкой известности дастана «Кер-оглу» в Европе. В последующие годы эта же книга была переведена С. Пенном на русский язык и опубликована вначале в газете «Кавказ» [3], а затем отдельным изданием под названием «Кер-оглу, восточный поэт-наездник. Полное собрание его импровизаций с присовокуплением его биографии» (Тифлис, 1856).

Переведенное на русский язык издание Ходзько получило сильный резонанс в России. В одном только 1856 г. относительно этой книги было опубликовано несколько статей на страницах периодической печати [4].

В книге Ходзько особо интересным представляется нотное приложение, где воспроизведены девять образцов народных мелодий в обработке для фортепиано Антони Деконтского.

Первые три нотных образца снабжены заголовками: «Кер-оглу», «Азербайджанская песня» и «Финджан», последующие же указаны номерными знаками.

«Кер-оглу» является мелодией, входящей в обширный круг ашыгских напевов, посвященных легендарному народному герою, и принадлежит соответственно к жанру исторических песен.

«Азербайджанская песня» — вариант известной и широко распространенной песни «Галанын дибиндэ» (У подножия крепости)* — относится к жанру хороводных песен «Яллы». Это подтверждается не

* Данная песня приобрела широкую популярность под двумя названиями — «Галанын дибиндэ» и «Галадан галайа», заимствованными из начальных строк первых двух куплетов.

только фактом бытования песни в настоящее время в Нахичеванской АССР, но и утверждением Ходзько о том, что эта песня сопровождается танцем [2, 411].

Данная мелодия имеет большое сходство с образцом, записанным еще в 30-е годы XIX в. композитором А. А. Алябьевым в период его пребывания на Кавказе (1832—1838 гг.), и использована им во «Французской кадрили из азиатских песен» для фортепиано (Москва, 1834) [5].

Если учесть, что мелодии, зафиксированные Алябьевым и Ходзько, интонационно и ритмически близки друг другу, то можно предположить, что популярная азербайджанская песня в 30-е годы XIX в. бытовала именно в таком виде.

Мелодия «Финджан» («Чашка») является одним из многочисленных образцов азербайджанских народных игровых песен. Наименование мелодии непосредственно связано с названием игры, в которой обычно участвует молодежь. Как описывает в своих воспоминаниях выдающийся мастер азербайджанского мугамного оперного искусства, народный артист республики Г. К. Сарабский, игра в финджан обычно проводилась в чайхане в сопровождении различных музыкальных номеров [6].

Все три песни принадлежат к различным песенным жанрам — историческому, лирическому и игровому, и это обусловливает разные для каждого жанра ладовые основы, мелодические структуры, принципы интонационного развития, а также метроритмические рисунки. В то же время все три песни имеют двусоставную форму. При этом несколько особняком стоит песня «Кер-оглу», так как структура ее расширена за счет своеобразных заключений после каждого раздела, что также объяснимо закономерностями жанра.

Ряд характерных, типических интонаций, определенность ладокаденционного строя, логика драматургии мелодического развития этих песен дают возможность причислить напевы «Кер-оглу», «Финджан» наряду с популярной песней «Галанын дибиндэ» к характерным и интересным образцам азербайджанского народно-песенного творчества.

Последующие песни не снабжены заголовками, вследствие чего трудно определить их принадлежность к тому или иному жанру. Однако, анализируя эти мелодии с позиции строения их формы, мелодического содержания, а также ладовой основы, можно сделать некоторые выводы, позволяющие причислить их к азербайджанскому народно-песенному творчеству. Прежде всего это касается мелодической структуры песен, каждая из которых в своем строении четко делится на двутакты либо четырехтакты. Кроме того, большинство из них завершается своеобразным дважды повторенным заключительным мотивом, играющим роль резюмирующего построения. Такая структура свойственна многим азербайджанским песням.

Еще одной характерной чертой, сближающей их с азербайджанскими народными песнями, является принцип мелодического движения, которое почти во всех песнях разворачивается в нисходящем направлении — от опевания более высоких устоев к опеванию более низких. Интонационное содержание отмечено отсутствием резких скачков — в основном это опевание определенных ступеней, поступенное движение либо мягкое секвентное развитие.

Несколько сложнее вопрос ладовой принадлежности данных песен. В некоторых из них ощущается принадлежность к ладу раст.

Однако каденции в основном размыты, порой неожиданны и даже нелогичны, что затрудняет определение ладовой основы песен. Вероятнее всего предположить неточность фиксации мелодии. Тем не менее все, отмеченное в статье, дает нам право рассматривать исследуемые песни как образцы азербайджанского народно-песенного творчества.

Литература

1. *Тахмасиб М.* Азербайджанские народные дастаны (средние века): Автореф. дис. д-ра филол. наук.—Баку, 1965. 2. *Chodzko A.* Specimens of the popular poetry of Persia as found in the adventures and improvisations of Kurroghlou, the bandit minstrel of northern Persia.—London, 1842. 3. Кер-оглу, восточный поэт-наездник. Полное собрание его импровизаций с присовокуплением его биографии. — Газ. «Кавказ», 1856, 11, 15, 18, 22, 29 марта: 1, 12, 15, 26, 29 апр.; 5, 10, 15, 17, 20, 24, 27, 31 мая. 4. *Садыхов М.* Кер-оглу в русской прессе 1856 г. — Докл. АН АзССР, 1959, т. 15, с. 973—976. 5. *Димитриади Н. Б.* К вопросу о первоисточнике «Персидского хора» из оперы «Руслан и Людмила». — Уч. зап. Азгосконсерватории им. У. Гаджибекова. Сер. XIII, 1968, № 1. 6. *Сарабский Г. К.* Старый Баку. — Баку: Изд-во АН АзССР, 1958, с. 74.

Институт архитектуры и искусства
АН АзССР

Поступило 9. VII 1986

Ә. Исазадә

АЗӘРБАЈЧАН ХАЛГ МУСИГИСИНИН НОТ ЈАЗЫ ТАРИХИНДӘН

Мәгалә Ходзконун 1840-чы илдә Лондонда чап едилән «Короғлу» дастаны китабына әлавә кими верилмиш нот нүмунәләринин тәдгигинә һәср олунуб. Нот әлавәсинә Антони Деконтскинин фортепиано үчүн ишләдији 9 халг мелодија нүмунәләри дахилдир. Илк үч нот нүмунәләри «Короғлу», «Азәрбајчан маһнысы» вә «Финчан» башлығы алтында, сонракылар исә рәгәм ишарәләри илә тәгдим едилмишдир. Бу мелодијаларын форма гурулушлары, мәзмунлары, һәмчинин лад әсасы бахымындан тәһлили, онлары Азәрбајчан халг маһны јарадычылығынын нүмунәләри кими гијмәтләндирмәјә әсас верир.

A. Isazade

SOME FACTS FROM THE HISTORY OF RECORDING AZERBAIJAN FOLK MUSIC

In this article the author makes some studies of note samples given in the supplement to the book of A. Chodzko about „Koroglu" published in London in 1840

In this supplement nine samples of folk music are given in improvisation of Antony Dekontsky for piano. The first three of these note samples have such titles as: „Koroglu", „The Azerbaijan song" and „Findjan", others are enumerated.

The results of analyses from the point of view of their structural peculiarities, and form, melody content, modal principles give us the possibility to consider them as the samples of Azerbaijan folk songs.

АЗӘРБАЈЧАН ССР ЕЛМЛӘР АКАДЕМИЈАСЫНЫН МӘ'РУЗӘЛӘРИ

ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ ССР

ТОМ XLIII ЧИЛД | № 8 | 1987

МУСИГИ

Е. Б. МАНСУРОВ

«АЗӘРБАЈЧАН МУСИГИСИНДӘ «САГИНАМӘ» ЖАНРЫ

(Азәрбајчан ССР ЕА академики М. Ч. Чәфәров тәгдим етмишдир)

Ән'әнәви Азәрбајчан мусигисиндә, дәсткаһ муғамларда—«дәрамәд», «тәснифү», «диринкә» вә «рәнкләр»лә јанашы «сагинамә» жанры да өзү-мәхсус јер тутур. «Сагинамә» әрәб вә фарс сөзләриндән әмәлә кәлнмишдир. Гәдим шаирләрин сагијә хитабән јаздыглары гәсидә, мәнзумә вә саир ше'рләр «Сагинамә» формасында өз әксини тапмышдыр. Бундан башга классик шәрг әдәбијјатында да «Сагинамә» адәтән поемаларын әввәлиндә верилир вә әсәрин прологу маһијјәтини дашыјыр. Низами, Шејх Ираги, Әмир Хосров Дәһләви, Хачу Кирмани, Хачә Һафиз Ширази, Әбдүррәһман Чами, Мәһәммәд Фүзули, Әлишир Нәваи вә саир мәшһур шәрг шаирләри «Сагинамә»ләрин классик нүмунәләрини гәләмә алмышлар. XII әсрдән е'тибарән фарс, әрәб, түрк дилли әдәбијјатда «Сагинамә»ләрә кениш тәсадүф едирик. «Сагинамә»ләрин илк, ән көзәл нүмунәләрини Низамидә тапырыг. Адәтән «Сагинамә»ләр ајры-ајры мәснәвиләрин әввәлләриндә верилир.

«Тәзкирәји-мејханә»дә XII—XIX әсрләрдә јашамыш онларча шаирин сагинамәси топланмышдыр. «Сагинамә»ләр әруз вәзнинин ән мухтәлиф бәһрәләриндә, еләчә дә мухтәлиф поетик формаларда јазылырды: мәснәви, гәзәл, гит'ә, рубаи вә саир формаларда.

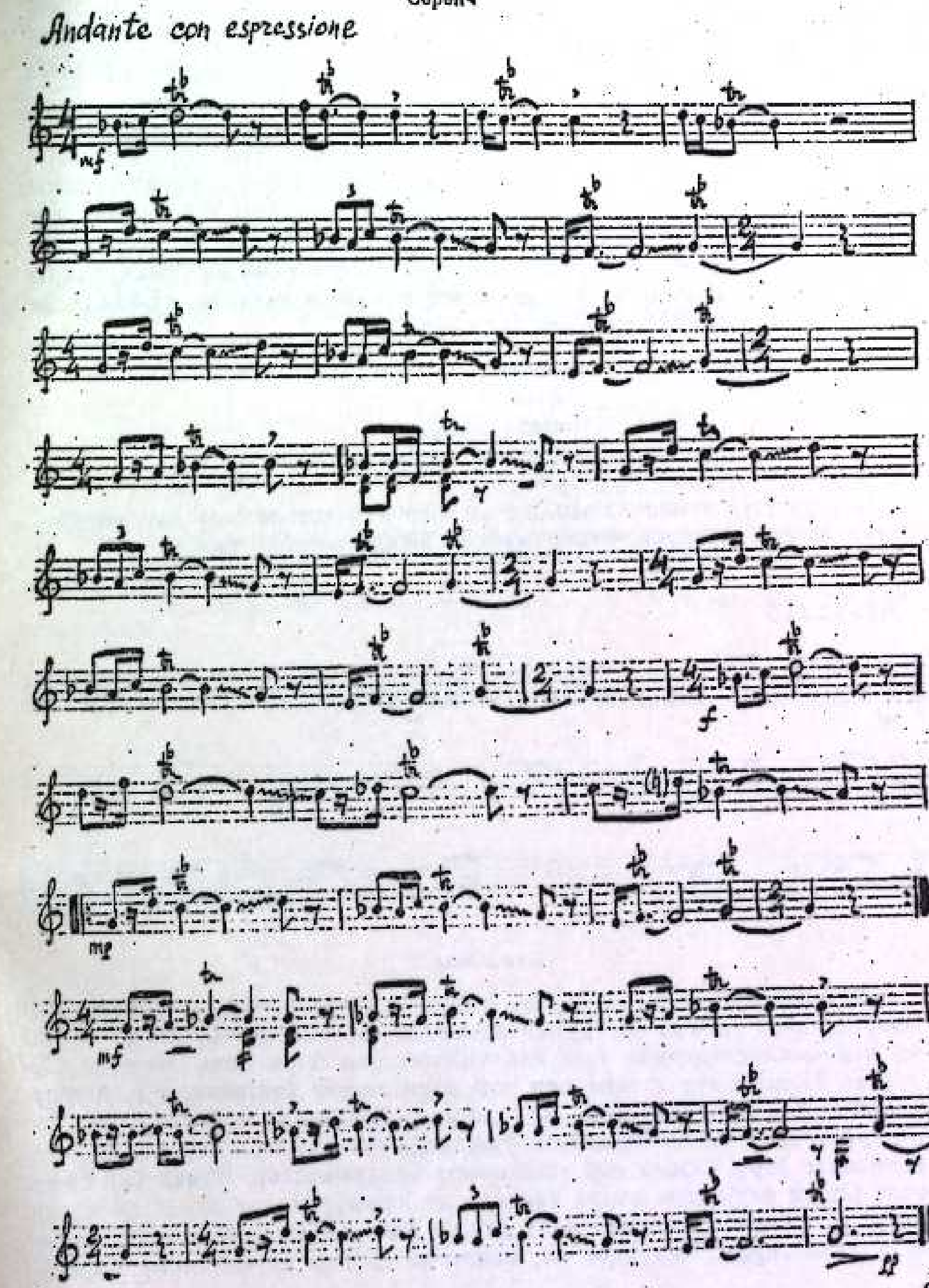
«Сагинамә»ләр адәтән сагијә мурачиәтлә башланыр. Анадилли ше'римиздә «сагинамә»нин классик нүмунәләрини Фүзулидә тапырыг. Анчаг «сагинамә»ләрдә меј, шәраб, бадә, саги ифадәләри реал мә'надан даһа чох символик характер дашыјырлар. Бу образлар тәсәввүр фәлсәфәси илә әлагәдар конкрет мә'налара маликдирләр. Орасы да вар ки, ајры-ајры суфи тәригәтләриндә мусиги бөјүк јер тутурду. Демәли, тәсәввүр поезијасы нүмунәләри олан «сагинамә»ләр дә ајры-ајры суфи тәригәтләриндә конкрет муғамларда ифа олунурду. «Сагинамә»ни илк дәфә поезијаја кәтирән Низами олмушдур. Һафиз Ширази сагинамә вә муғәннинамәләр јајмаг саһәсиндә даһа кениш фәалијјәт көстәрмишдир. Һафиз Ширази Низамидән ситатлар вермишдир, ондан муәјјән бејтләр кәтирмишдир. «Сагинамә»ләри шаирин бәдбинлик руһу илә әлагәдар јаранмасыны тәсдигләјән алимләр вар. Лакин башга бир груп тәдгигатчылар «Сагинамә»ләри оптимистик, никбин руһлу әсәрләр сајмышлар. «Сагинамә»ләр заман өтдүкчә даһа чох дүнјәви, реал әсас кәсб етмиш, бу ше'рләрдә зөвг, севинч, вәсф едилмишдир.

Әдәбијјатда олдуғу кими, мусигимиздә дә «Сагинамә» кечмиш заманлардан индики дөврүмүзә гәдәр муғамларымызын тәркибиндәки шө'бә вә кушәләрдә өз адыны горујуб сахламышдыр. Һал-һазырда Азәрбајчан мусигисиндә чәми ики «сагинамә» горунуб сахланмышдыр. Бу «сагинамә»ләрдән бири «Шур», дикәри исә «һүмајун» муғамына дахилдир.

«Шур» муғамында сәсләнән «Сагинамә»јә—«сагинамә-әчәми» дә дејирләр. Бу она көрәдир ки, «Шур» муғамында сәсләнән «сагинамә-

әчәми» мәһз Азәрбајчан муғамынын интонасија көкләриндә инкишаф едир. «Шур» муғамындакы «Сагинамә» әсасән «Симан-шәмс» шө'бәсинин пәрдәләриндә сәсләнир. «Сагинамә» «Шур» дәсткаһынын зилиндә, даһа дәгиг десәк ашағыдакы ардычыллыгда ифа олунур:

Шаһ—Хәтаи
Сагинамә
Мавәраннәһр
Сәрәнч



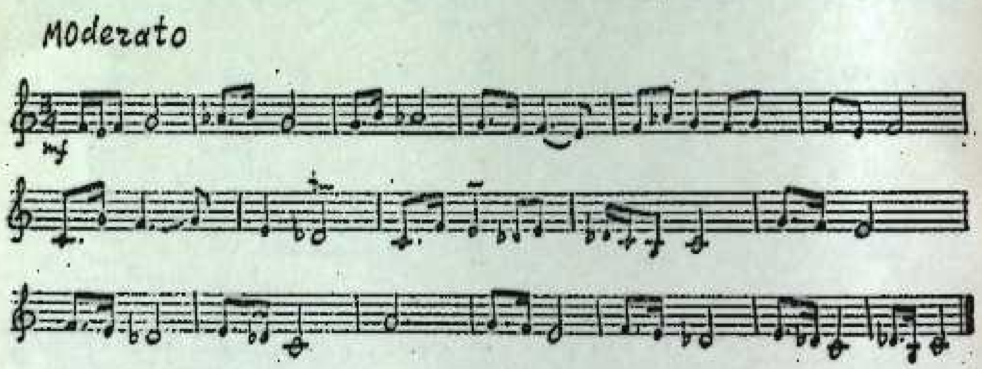
1-чи шәкил.

«Шур» муғамындакы «сагинамә»нин мелодијасы чох һәзин вә лирикдир. Мелодија әввәлдән ахыра гәдәр чох чидди үслубда инкишаф едир. Мелодијанын беләә бир инкишафы «сагинамә»нин өзүнәмәхсус хүсуси өлчүсү илә әлагәдардыр. Мәһз бу метро-ритмик хүсусијјәт—«сагинамә»ни дәсткаһ формасына дахил олан дикәр жанрлардан—дәрамәд, тәсниф вә саир ајырмаға имкан јарадыр. Метро-ритмик хүсусијјәтләринә көрә «сагинамә»нин тәсниф жанрына мүәјјән охшарлығы вар. Лакин бу ики жанры бир-бири илә гарышдырмаг олмаз. Она көрә ки, тәсниф мүәјјән өлчүјә малик олуб, үчлүк ифадә зәрб (дәф) аләтинин мүшајиәти илә чалыб охунур. «Сагинамә» исә еләә һәмин һеј'әтдә, амма зәрбсиз, јалныз тарын вә каманчанын мүшајиәти илә ифа олунур. (1-чи шәкил).

«Һүмајун» муғамында сәсләнән «сагинамә» бир сыра чәһәтләрдән—инкишаф принсипи, форма гурулушу, метро-ритмик хүсусијјәтинә көрә «Шур» дәсткаһындакы «сагинамә»јә јахындыр. «Шур» муғамындакы «сагинамә»дән фәргли олараг, «Һүмајун» муғамындакы «сагинамә»јә—«сагинамә-әрәби» дә дејирләр. Бу да ондан ирәли кәлир ки, «Һүмајун» муғамында чалыб охунан «сагинамә» әрәб мусигисинин интонасијалары илә зәнкиндир. «Һүмајун» «сагинамә»си муғамын зилиндә, «Бидад» вә «Үззал» шө'бәләринин арасында чалыныр:

Мәснәви
Тәркиб
Бидад
Сагинамә
Үззал

Ону да гејд етмәк лазымдыр ки, һәр ики «сагинамә» һәм инструментал вә һәм дә вокал-инструментал ифада сәсләнә биләр.



2-чи шәкил.

XIX әсрин икинчи јарысында, XX әсрин әввәлләриндә «сагинамә»ләр Азәрбајчанда јалныз инструментал ифадә сәсләнирди. Бу һагда «Бакы мусиги мәчлисләри»нин тәшкилатчыларындан бири олан Мәшәди Сүлејман Мәнсуровун хатирәләри чох марагдыдыр (әлјазмасы Б. Мәнсуровун шәхси архивиндәдир). О, јазыр:—«Кечмишдә муғамлар саат јарым, ики саат чалыб охунарды. Мәчлисдә әјләшәнләрә бир нөв фасилә вермәкдән өтрү, сазәндәләр «сагинамә» чалармышлар. Чүнки бир саат, саат јарым охујандан сонра ханәндә дә јорулур, гулаг асмаг да чәтин олур. «Сагинамә» чалынан вахт охујан боғазыны тәмизләјирди, нәфәсини дүзәлдирди. Көрүрдүн ки, мәчлисдә дә бир аз чанланма башланыб. Бу вахт гуллугчулар әлләриндә мәчмәј чамаат үчүн чај, шәрбәт, су кәтирирдиләр. «Сагинамә» чалыныб гуртаран кими, мәчлис јенә дә сакитләширди, ханәндә вә сазәндәләр дәскаһын ардыны чалыб-охумаға башлајырдылар». Сонралар «сагинамә»ләри сөзлә илк дәфә охујан Чаббар Гарјағды оғлу олмушдур. Бу барәдә Бәһрам Мәнсуров өз хатирәләриндә беләә јазыр:—«Мән, он ики ил Чаббар әми илә јолдаш олмушам, јә'ни, онун иштиракы илә олан бир чох тој мәчлисләриндә вә концертләрдә ону мүшајәт етмишәм. Чаббар әми о вахтлар бир сыра муғамларда «сагинамә»ләр охујурду. Мән она дејәндә ки,—«Чаббар әми, мән атамдан ешитмишәм ки, «сагинамә»ләри кечмишдә анчаг сазәндәләр чалыблар, охумајыблар». О да мәнә беләә чаваб верәрди:—«Бунларын мусигиси көзәлдир, чох хошума кәлир. Она көрә дә кәләчәкдә бу һавалар итмәсин дејә, онлара сөз гошмушам».

Бундан сонра «сагинамә»ләр дә бир чох шө'бә вә кушәләримиз кими јаддан чыхмаға башламышлар. Јахын кечмишдә классик ифачылар тәрәфиндән чалыб-охунан «сагинамә»ләр индики дөврдә јалныз тарзән Бәһрам Мәнсуровун јаддашында горуныб сахланмышдыр. Мәгаләдәки «сагинамә»ләрин нот јазысы мәһз онун ифасындан јазылмышдыр.

Азәрбајчан мусигисинин гәдим нөвләриндән бири олан «сагинамә» һаггында бу мәгалә илк тәдгиги ишдир.

Азәрб. ССР ЕА Архитектура вә Инчәсәнәт Институту *Алынмышдыр 5 XI 85*

Mansurov E. B.

„SAGINAMEH" GENRE IN AZERBAIJAN MUSIC

It is for the first time that one of the ancient parts of Azerbaijan mughams „Saginameh" is dwelt on in this article.

There existed numerous „Saginamehs" in Azerbaijan mughams in ancient times, but unfortunately, till our days there remained only two examples in such mughams as „Shur" and „Khumayun".

These two „Saginamehs" are analysed in the article. Note examples are gives in the article.

МҮНДӘРИҸАТ

СОДЕРЖАНИЕ

Сдано в набор 19. 08. 87. Подписано к печати 05. 01. 88. ФГ 00003. Формат бумаги $70 \times 100^1/_{16}$. Бумага типографская № 1. Гарнитура шрифта литературная. Печать высокая. Усл. печ. лист 8,12. Усл. кр.отт. 8,12. Уч.-изд лист 6,62. Тираж 600. Заказ 900. Цена 70 коп.

Издательство „Элм"
370143 Баку-143, проспект Нариманова, 31, Академгородок, Главное здание
Государственный комитет Азербайджанской ССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Производственное промышленное объединение по печати.
Типография „Красный Восток" Баку, ул. Ази Асланова, 80.

9. Текст статьи печатается на белой бумаге через два интервала на одной стороне листа стандартного размера, с полями с левой стороны (не более 28 сторк на одной странице по 58—60 знаков в строке). В тексте нельзя делать рукописные вставки и вклейки.

Статьи, напечатанные на портативной машинке, не принимаются.

10. Текст статьи должен быть изложен кратко, тщательно отредактирован и подписан авторами в печать. В математических статьях желательно избегать доказательств теорем, лемм и т. п. При использовании в тексте сокращенных названий (кроме общепринятых) необходимо давать их расшифровку.

11. Математические и химические формулы и символы в тексте должны быть вписаны четко. Следует избегать громоздких обозначений, применяя, например, дробные показатели степени вместо радикалов, а также exp. Занумерованные формулы обязательно включаются в красную строку, номер формулы ставится у правого края страницы. Желательно нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки. Подстрочные и надстрочные индексы и степени следует отмечать карандашом, дугами сверху и снизу:

$$k^n, r_n$$

Греческие буквы нужно обводить (в кружок) красным карандашом. Буквы готического шрифта и рукописные в рукописях не использовать, векторные величины — подчеркивать черным, буквы латинского рукописного шрифта следует отметить на полях (например, H рукоп.).

Во избежание ошибок следует четко обозначать прописные (заглавные) и строчные буквы латинского алфавита, имеющие сходное начертание (Cc; Kk; Pp; Oo; Ss; Uu; Vv; и т. д.), буквы I(i) и J(j) букву I и римскую единицу I, а также арабскую цифру 1 и римскую I', (вертикальная черта), I и штрих в индексах, l (латинское эль) и e. Прописные буквы подчеркивают карандашом двумя черточками снизу (C), а строчные — сверху (c.).

Следует избегать знаков типа ~ (волна), $\odot$, $\oplus$, $\otimes$; $\square$ $\boxed{\circ}$ $^{\circ}$, $\vee$ $\wedge$ (крышки) над и под буквами, а также знаков:

Латинские названия вписываются на машинке.

Слова «теорема», «лемма», «следствие», «определение», «замечание» и т. п. следует подчеркивать штриховой чертой, а текст утверждений типа теорем—волнистой чертой (исключая математические символы).

При выборе единиц измерения рекомендуется придерживаться международной системы единиц СИ.

12. При описании методики исследования следует ограничиваться оригинальной ее частью. При элементном анализе приводить только усредненные данные.

13. Необходимо тщательно проверить написание местных географических названий.

14. Цитированная литература проводится общим списком на отдельной странице: ссылки в тексте даются порядковым номером в круглых скобках над строкой (например,[1]). Список литературы оформляется следующим образом:

для книг: инициалы и фамилии авторов, полное название книги, место и год издания;

для журнальных статей: инициалы и фамилия авторов, название журнала, номер тома, номер выпуска, страница и год издания.

Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

15. Все статьи должны иметь резюме на английском языке, кроме того, статьи, написанные на русском и азербайджанском языках, должны иметь резюме на азербайджанском и на русском соответственно.

Публикация статьи в «Докладах» не препятствует напечатанию расширенного ее варианта в другом периодическом издании.

70 гэп.
коп.

Индекс
76355